Franciszek Dubert
Marek Guzik
Anna Helmin
Jolanta Holeczek
Stanisław Krawczyk
Władysław Zamachowski

Biologia na czasie 3

Podręcznik dla liceum ogólnokształcącego i technikum

Zakres rozszerzony

nowa era
Twoje mocne strony

Biologia na czasie

Podręcznik dopuszczony do użytku szkolnego przez ministra właściwego do spraw oświaty i wychowania i wpisany do wykazu podręczników przeznaczonych do kształcenia ogólnego do nauczania biologii, na podstawie opinii rzeczoznawców:
dr. hab. Andrzeja Rzepki, dr Małgorzaty Stępki, dr hab. Katarzyny Kłosińskiej.

Etap edukacyjny: III
Typ szkoły: liceum ogólnokształcące i technikum
Rok dopuszczenia: 2021

Numer ewidencyjny w wykazie MEiN: 1010/3/2021

Podręcznik został opracowany na podstawie *Programu nauczania biologii dla liceum ogólnokształcącego i technikum w zakresie rozszerzonym – Biologia na czasie.*

Nabyta przez Ciebie publikacja jest dziełem twórcy i wydawcy. Prosimy o przestrzeganie praw, jakie im przysługują. Zawartość publikacji możesz udostępnić nieodpłatnie osobom bliskim lub osobiście znanym, ale nie umieszczaj jej w internecie. Jeśli cytujesz jej fragmenty, to nie zmieniaj ich treści i koniecznie zaznacz, czyje to dzieło. Możesz skopiować część publikacji jedynie na własny użytek.

Szanujmy cudzą własność i prawo. Więcej na **www.legalnakultura.pl**

© Copyright by Nowa Era Sp. z o.o. 2024
ISBN 978-83-267-5086-1

Koordynacja prac i redakcja merytoryczna: Agnieszka Krotke.
Współpraca redakcyjna: Magdalena Bujnowska, Aleksandra Mazur, Ewa Mejlun, Aleksandra Kowalczyk-Pryczkowska.
Redakcja językowa: Roksana Blech.
Autorka zadań w części *Wiesz, umiesz, zdasz*: Anna Tyc.
Nadzór artystyczny: Kaia Pichler. **Opieka graficzna:** Ewa Kaletyn.
Projekt graficzny: Marcin Kołacz. **Projekt okładki:** Maciej Galiński.
Opracowanie graficzne: Marcin Kołacz, Marcin Oleksak, Piotr Rudź, Zuzanna Sri.
Ilustratorzy: Ewelina Baran, Katarzyna Borek-Polkowska, Elżbieta Buczkowska, Rafał Buczkowski, Marta Długokęcka, Zuzanna Dudzic, Justyna Dybala, Natalia Helman, Wioleta Herczyńska, Paulina Jarmusik, Przemysław Kłosin, Agata Knajdek, Michał Kosieradzki, Adam Król, Sławomir Maniak, Laura Maziewska, Małgorzata Motyka, Krzysztof Mrawiński, Marek Nawrocki, Marcin Oleksak, Joanna Ptak, Marcin Ptak, Daniel Rudnicki, Joanna Safranow, Wojciech Sendal, Marta Sieczkowska, Ewa Sowulewska, Monika Wiśniewska.
Fotoserwis: Bogdan Wańkowicz.
Realizacja projektu graficznego: Ewa Pietras, Piotr Socha.

Wydawnictwo dołożyło wszelkich starań, aby odnaleźć posiadaczy praw autorskich do wszystkich utworów zamieszczonych w publikacji. Pozostałe osoby prosimy o kontakt z Wydawnictwem.

Nowa Era Sp. z o.o.
Aleje Jerozolimskie 146 D, 02-305 Warszawa
www.nowaera.pl, e-mail: nowaera@nowaera.pl
Centrum Kontaktu: 58 721 48 00

Druk i oprawa: Quad/Graphics Europe Sp. z o.o.

O czym jest podręcznik?

W podręczniku *Biologia na czasie 3* znajdziesz informacje dotyczące anatomii i fizjologii człowieka oraz innych grup zwierząt. Dzięki tym wiadomościom odpowiesz na wiele pytań dotyczących ich budowy i funkcjonowania.



Do czego służą poszczególne elementy podręcznika?

Przypomnij sobie

Przypomnij sobie to treści, które zostały omówione w klasach 1 i 2, niezbędne do zrozumienia omawianego zagadnienia.

Zwróć uwagę na:

Wyszczególnienie głównych treści na początku tematu podpowie Ci, które wiadomości są najważniejsze.

To było w szkole podstawowej!

Informacje umieszczone w tym elemencie pomogą Ci przypomnieć sobie wiadomości ze szkoły podstawowej.

Te choroby warto znać

Opisy wybranych chorób pomogą Ci poznać ich objawy, przyczyny oraz sposoby profilaktyki i diagnostyki.

Dowiedz się więcej

Dodatkowe treści związane z danym tematem pozwolą Ci lepiej zrozumieć omawiane zagadnienia i pogłębić wiedzę biologiczną.

Czy wiesz, że...

Dzięki **ciekawostkom** zdobędziesz interesujące informacje związane z lekcją.

Polecenia kontrolne

Wykonanie poleceń umieszczonych na końcu tematu pozwoli Ci sprawdzić wiedzę i utrwalić zdobyte wiadomości.

Biologia w medycynie

Opisy **zastosowań wiedzy biologicznej w medycynie** umożliwią Ci poznanie praktycznego aspektu zdobywanych informacji.

Doświadczenie

Doświadczenia i **obserwacje** zostały opisane w sposób, który umożliwi Ci dokładne przeanalizowanie wszystkich ich etapów. **Obowiązkowe** doświadczenia i obserwacje zostały oznaczone symbolem .

WIESZ, UMIESZ, ZDASZ
Metoda kształcenia kluczowych umiejętności z biologii

Podsumowanie

Syntetyczne zestawienie kluczowych informacji z danego działu umożliwi Ci szybkie powtórzenie wiadomości przed sprawdzianem.

Zadania powtórzeniowe

Te **zadania** umożliwią Ci sprawdzenie wiedzy z danego działu oraz wykształcenie umiejętności rozwiązywania różnorodnych typów zadań.

Sposób na zadania

Szczegółowe wskazówki i podpowiedzi pozwolą Ci wykształcić umiejętność rozwiązywania zadań o różnej formie.

Spis treści

1. Organizm człowieka jako funkcjonalna całość

1.1. Miejsce człowieka w systemie klasyfikacji organizmów ... 6
1.2. Hierarchiczna budowa organizmu człowieka ... 10
1.3. Homeostaza ... 15
Podsumowanie ... 25
Sposób na zadania ... 27
Zadania powtórzeniowe ... 29

2. Układ powłokowy

2.1. Układ powłokowy u zwierząt ... 32
2.2. Budowa i funkcje skóry ... 38
2.3. Higiena i choroby skóry ... 47
Podsumowanie ... 55
Sposób na zadania ... 57
Zadania powtórzeniowe ... 58

3. Układ ruchu

3.1. Ruch u zwierząt ... 62
3.2. Budowa i funkcje szkieletu ... 68
3.3. Rodzaje połączeń kości ... 72
3.4. Elementy szkieletu ... 76
3.5. Budowa i funkcjonowanie układu mięśniowego ... 83
3.6. Higiena i choroby układu ruchu ... 95
Podsumowanie ... 102
Sposób na zadania ... 105
Zadania powtórzeniowe ... 107

4. Układ pokarmowy

4.1. Odżywianie się zwierząt ... 110
4.2. Organiczne składniki pokarmowe ... 116
4.3. Rola witamin. Nieorganiczne składniki pokarmowe ... 123
4.4. Budowa i funkcje układu pokarmowego ... 131
4.5. Procesy trawienia i wchłaniania ... 139
4.6. Zasady racjonalnego odżywiania się ... 148
4.7. Choroby układu pokarmowego ... 152
Podsumowanie ... 159
Sposób na zadania ... 165
Zadania powtórzeniowe ... 166

5. Układ oddechowy

5.1. Układ oddechowy u zwierząt ... 170
5.2. Budowa i funkcje układu oddechowego ... 180
5.3. Wentylacja płuc i wymiana gazowa ... 185
5.4. Zaburzenia funkcjonowania układu oddechowego ... 198
Podsumowanie ... 206
Sposób na zadania ... 210
Zadania powtórzeniowe ... 211

6. Układ krążenia. Odporność

6.1. Układ krążenia u zwierząt ... 214
6.2. Skład i funkcje krwi ... 220
6.3. Budowa i funkcje układu krwionośnego ... 228
6.4. Funkcjonowanie układu krwionośnego ... 234
6.5. Układ limfatyczny ... 244
6.6. Choroby układu krążenia ... 248
6.7. Budowa i funkcje układu odpornościowego ... 258
6.8. Rodzaje i mechanizmy odporności ... 265
6.9. Zaburzenia funkcjonowania układu odpornościowego ... 274
Podsumowanie ... 280
Sposób na zadania ... 287
Zadania powtórzeniowe ... 288

7. Układ moczowy

7.1. Osmoregulacja i wydalanie u zwierząt ... 292
7.2. Budowa i funkcjonowanie układu moczowego ... 298
7.3. Choroby układu moczowego ... 307
Podsumowanie ... 312
Sposób na zadania ... 314
Zadania powtórzeniowe ... 315

8. Układ nerwowy

8.1. Układ nerwowy u zwierząt ... 318
8.2. Budowa i działanie układu nerwowego ... 323
8.3. Ośrodkowy układ nerwowy ... 334
8.4. Obwodowy układ nerwowy ... 340
8.5. Autonomiczny układ nerwowy ... 350
8.6. Higiena i choroby układu nerwowego ... 353
Podsumowanie ... 360
Sposób na zadania ... 363
Zadania powtórzeniowe ... 364

9. Narządy zmysłów

9.1. Narządy zmysłów u zwierząt ... 368
9.2. Budowa i działanie narządu wzroku ... 374
9.3. Ucho – narząd słuchu i równowagi ... 384
9.4. Narządy smaku oraz węchu ... 392
Podsumowanie ... 395
Sposób na zadania ... 398
Zadania powtórzeniowe ... 399

10. Układ hormonalny

10.1. Układ hormonalny u zwierząt ... 402
10.2. Budowa i rola układu hormonalnego ... 404
10.3. Regulacja wydzielania hormonów ... 414
10.4. Nadczynność i niedoczynność gruczołów dokrewnych. Stres ... 419
Podsumowanie ... 427
Sposób na zadania ... 430
Zadania powtórzeniowe ... 431

11. Rozmnażanie i rozwój

11.1. Rozmnażanie i rozwój u zwierząt ... 434
11.2. Budowa i funkcje męskich narządów rozrodczych ... 442
11.3. Budowa i funkcje żeńskich narządów rozrodczych ... 447
11.4. Rozwój człowieka. Metody antykoncepcji ... 456
11.5. Higiena i choroby układu rozrodczego ... 467
Podsumowanie ... 475
Sposób na zadania ... 478
Zadania powtórzeniowe ... 480

Sposób na zadania – odpowiedzi ... 483
Doświadczenia i obserwacje – odpowiedzi ... 485
Przydatne terminy ... 486
Indeks ... 490
Literatura uzupełniająca ... 494

1. Organizm człowieka jako funkcjonalna całość

1.1. Miejsce człowieka w systemie klasyfikacji organizmów
1.2. Hierarchiczna budowa organizmu człowieka
1.3. Homeostaza

Fot. Klatka piersiowa człowieka (obraz tomograficzny).

1.1. Miejsce człowieka w systemie klasyfikacji organizmów

Zwróć uwagę na:
- podobieństwa między człowiekiem a innymi naczelnymi,
- cechy odróżniające człowieka od małp człekokształtnych,
- pokrewieństwo człowieka z innymi zwierzętami.

Człowiek rozumny (*Homo sapiens*) należy do królestwa zwierząt. Zajmuje on jednak w przyrodzie pozycję wyjątkową ze względu na unikatowe cechy, m.in. pionową postawę ciała, zredukowane owłosienie czy wysoki stopień rozwoju i zróżnicowania mózgowia.

Powiązania człowieka ze światem zwierząt

Miejsce człowieka w systemie klasyfikacji organizmów wyznaczył w XVIII w. Karol Linneusz. Usytuował on człowieka w **rzędzie naczelnych**, opierając się głównie na wspólnych cechach morfologicznych. Przynależność systematyczną człowieka w obecnie obowiązującym systemie klasyfikacji filogenetycznej ustalono, wykorzystując m.in. wyniki badań z paleontologii, biologii molekularnej i genetyki. Na ich podstawie stwierdzono, że człowiek ma wiele cech wspólnych z przedstawicielami **małp człekokształtnych**, zwłaszcza z szympansami, gorylami oraz orangutanami. Świadczą o tym m.in.:

- podobieństwo budowy anatomicznej – człekokształtne nie mają ogona, a szczątkowe kręgi ogonowe są u nich zrośnięte w jedną kość ogonową. Ponadto w kręgosłupie człekokształtnych znajduje się pięć masywnych kręgów lędźwiowych, przystosowanych do

Przynależność systematyczna człowieka

Takson	Charakterystyka
Królestwo: zwierzęta (Animalia)	Organizmy wielokomórkowe, cudzożywne, zdolne do aktywnego ruchu.
Typ: strunowce (Chordata)	Organizmy wykształcające strunę grzbietową.
Podtyp: kręgowce (Vertebrata)	Organizmy o kostnym lub chrzęstnym szkielecie wewnętrznym.
Gromada: ssaki (Mammalia)	Organizmy stałocieplne o ciele pokrytym włosami. Młode są karmione mlekiem matki.
Podgromada: ssaki łożyskowe (Placentalia)	Organizmy wytwarzające łożysko, za którego pomocą zachodzi wymiana substancji między organizmem matki a rozwijającym się płodem.
Rząd: naczelne (Primates)	Organizmy o dobrze rozwiniętym zmyśle wzroku, zazwyczaj chwytnym ogonie i przynajmniej jednej parze chwytnych kończyn.
Nadrodzina: człekokształtne (Hominoidea)	Organizmy o zredukowanym ogonie, długo opiekujące się potomstwem.
Rodzina: człowiekowate (Hominidae)	Organizmy o dobrze rozwiniętym mózgowiu, zdolne do wytwarzania i używania narzędzi, wykazujące złożone zachowania społeczne.
Rodzaj: człowiek (*Homo*)	Organizmy poruszające się wyłącznie na dwóch nogach, o całkowicie przeciwstawnym kciuku i dłoniach zdolnych do precyzyjnego chwytu.
Gatunek: człowiek rozumny (*Homo sapiens*)	Organizmy o zredukowanym owłosieniu ciała, zdolne do abstrakcyjnego myślenia, posługiwania się mową artykułowaną, tworzące bogatą kulturę.

poruszania się w pozycji pionowej. Zwierzęta te cechują się również zbliżoną budową i podobnym rozmieszczeniem narządów wewnętrznych (np. naczyń krwionośnych i nerwów);

- podobieństwo immunologiczne – u wszystkich małp człekokształtnych antygeny głównego układu grupowego krwi (AB0) wykazują wiele cech wspólnych;
- podobieństwo genetyczne – człekokształtne mają prawie identyczne geny (człowieka od szympansa różni jedynie 1,23% sekwencji wszystkich genów). W związku z tym ich białka są bardzo podobnie zbudowane (np. hemoglobina u ludzi i szympansów różni się zaledwie dwoma aminokwasami);
- podobieństwo w zachowaniu – wszystkie człekokształtne szybko się uczą, m.in. przez naśladownictwo. Potrafią wyrażać emocje (np. gestami), mają też samoświadomość (identyfikują swoje odbicie w lustrze). Używają narzędzi, np. patyków i kamieni, a także potrafią samodzielnie wytwarzać narzędzia.



Szympansy karłowate (*Pan paniscus*) używają różnych narzędzi, np. do picia wody mogą wykorzystywać naczynia w postaci pustych muszli.

Przeciwstawny kciuk

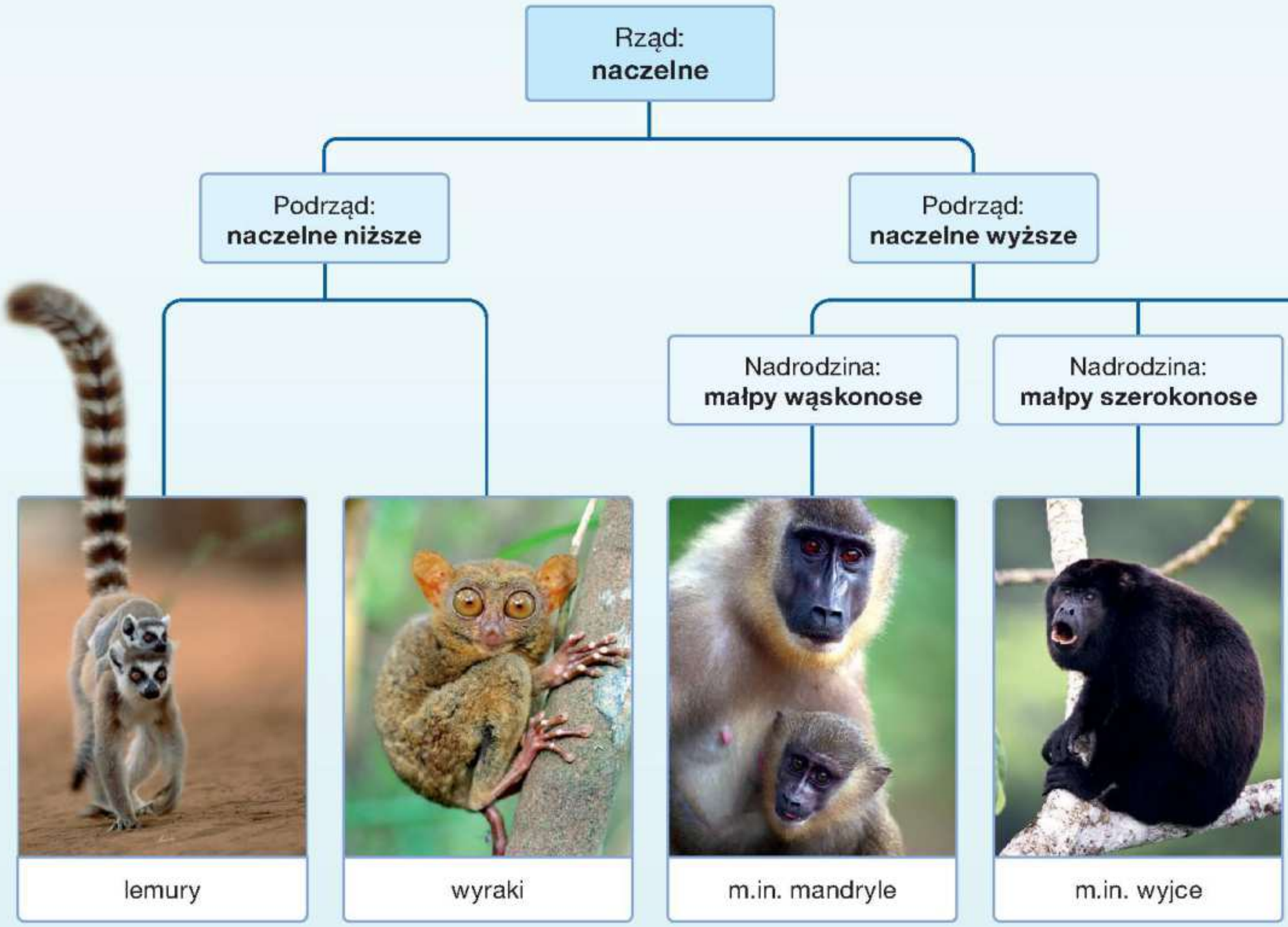
Większość naczelnych to zwierzęta ruchliwe, nadrzewne, często owocożerne. Niektóre z nich osiągają duże rozmiary oraz znaczną masę ciała. Duże i ciężkie zwierzęta nie potrafią utrzymać się na pniach i gałęziach drzew za pomocą pazurów, dlatego na wczesnym etapie ewolucji naczelnych wykształcił się **przeciwstawny kciuk** (pierwszy palec ręki) i – u większości – **przeciwstawny paluch** (pierwszy palec stopy). Jednocześnie zamiast ostrych pazurów powstały **paznokcie** o płaskich krawędziach, zabezpieczające dłonie i stopy przed zranieniem podczas ich zaciskania. Cechy te pozwoliły na precyzyjne chwytanie gałęzi oraz szybkie przemieszczanie się w koronach drzew, a także na sprawne chwytanie i zrywanie owoców. W dalszej ewolucji naczelnych przeciwstawny kciuk umożliwił posługiwanie się narzędziami, co znacznie przyspieszyło rozwój mózgu i pozwoliło na powstanie cywilizacji ludzkiej.



W wyniku wykształcenia przeciwstawnego kciuka pysk naczelnych przestał pełnić – jak u pozostałych ssaków – funkcję chwytną. Przejęły ją kończyny górne, które służą m.in. do noszenia pokarmu lub trzymania młodych.

Człowiek w systemie klasyfikacji

Człowiek należy do rzędu naczelnych. Ma on wiele cech wspólnych z przedstawicielami małp człekokształtnych, zwłaszcza z szympansami, gorylami oraz orangutanami, z którymi tworzy rodzinę człowiekowatych.



Unikatowe cechy człowieka

- Pionowa postawa ciała pojawiła się w ewolucji człowieka bardzo wcześnie. Umożliwia ona poruszanie się za pomocą kończyn dolnych, dzięki czemu kończyny górne pełnią inne, bardziej skomplikowane funkcje.
- Zredukowane owłosienie ułatwia pozbywanie się nadmiaru ciepła przez skórę.
- Wysoki stopień rozwoju mózgowia sprawia, że człowiek ma duże możliwości zapamiętywania i uczenia się. Potrafi również porozumiewać się za pomocą mowy artykułowanej oraz wykształcać silne więzi społeczne.



Jedne z najstarszych szczątków *Homo sapiens* odnaleziono w Etiopii. Na ich podstawie opracowano prawdopodobny wygląd zewnętrzny całego osobnika.

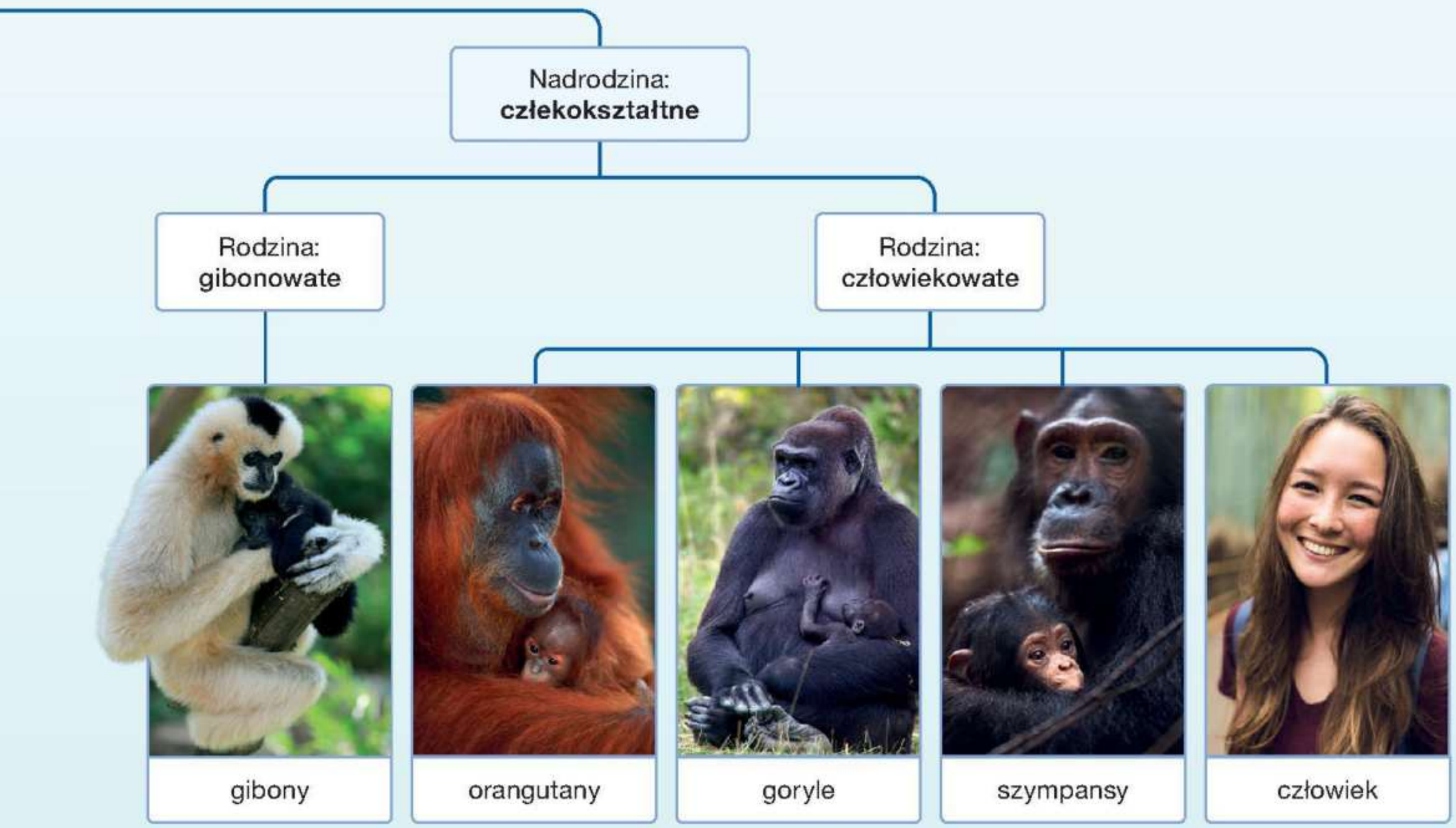
Rodzina człowiekowatych

Pod koniec lat 80. XX w. zsekwencjonowano pseudogen ψη-globiny (niefunkcjonalną wersję genu hemoglobiny), który pojawił się bardzo wcześnie w ewolucji naczelnych. Następnie porównano sekwencje nukleotydowe tego pseudogenu u człowieka, orangutana, goryla i szympansa. Na tej podstawie stwierdzono, że człowiek jest blisko spokrewniony z pozostałymi analizowanymi naczelnymi i tworzy wraz z nimi rodzinę człowiekowatych.

Różnice procentowe między sekwencjami nukleotydowymi pseudogenu ψη-globiny u wybranych naczelnych

Naczelne	Goryl	Szympans	Człowiek
Orangutan	3,39	3,42	3,30
Goryl		1,82	1,69
Szympans			1,56

Z analizy sekwencji wynika, że z człowiekiem najbliżej spokrewniony jest szympans (1,56% różnic), a najdalej – orangutan (3,30% różnic).



Polecenia kontrolne

1. Wymień wspólne cechy zwierząt należących do nadrodziny człekokształtnych.
2. Wymień unikatowe cechy człowieka oraz wyjaśnij ich ewolucyjne znaczenie.
3. Określ, jakie korzyści przyniosło naczelnym wykształcenie przeciwstawnego kciuka.
4. Korzystając z dostępnych źródeł, przygotuj prezentację dotyczącą zachowań społecznych u wybranego gatunku z rodziny człowiekowatych.

1.2. Hierarchiczna budowa organizmu człowieka

Zwróć uwagę na:

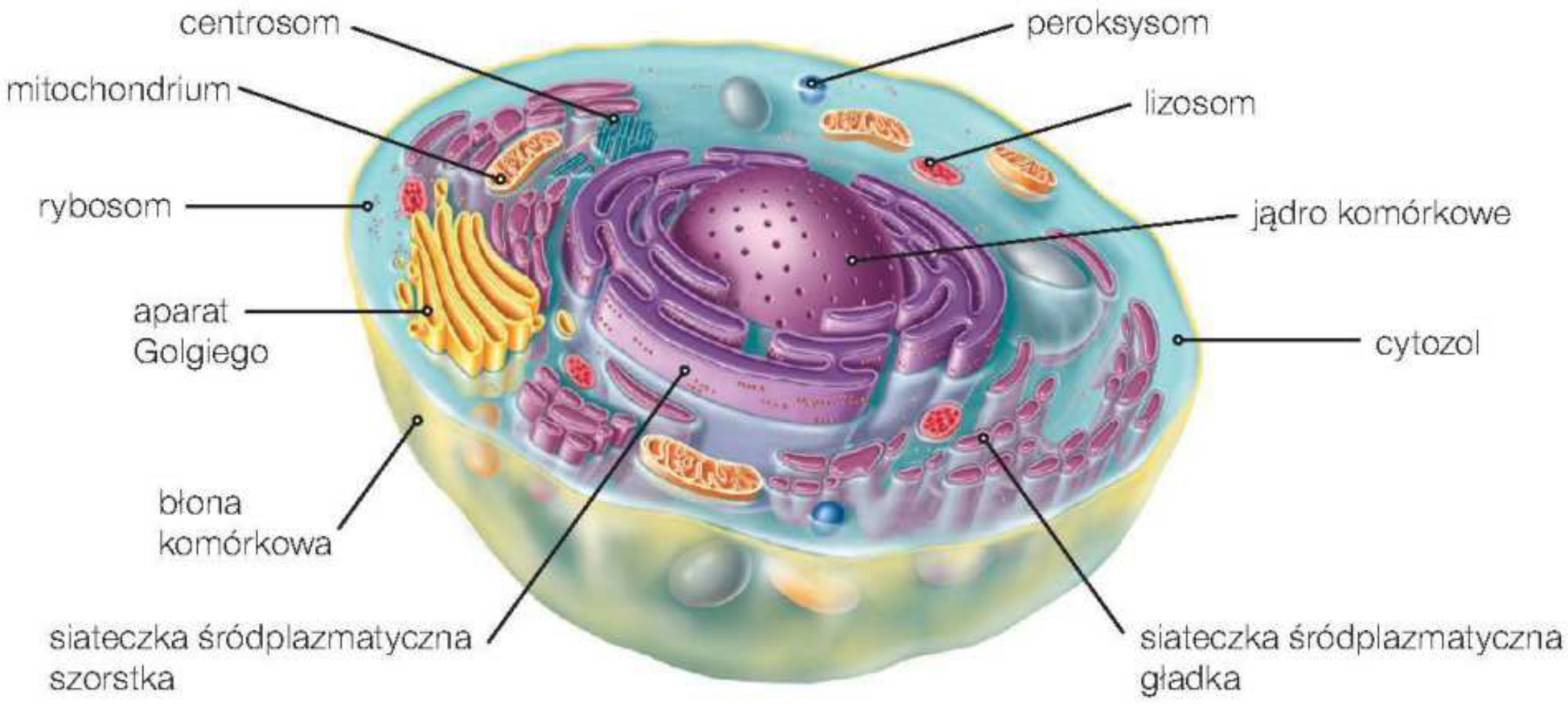
- poziomy organizacji budowy ciała człowieka,
- funkcje poszczególnych układów narządów,
- powiązanie funkcjonalne pomiędzy układami narządów.

Ciało człowieka stanowi wielopoziomową strukturę złożoną ze współpracujących ze sobą elementów. Podstawową jednostką budulcową i funkcjonalną jest **komórka**. Komórki o wspólnym pochodzeniu, a także podobnej budowie i funkcji łączą się w zespoły, czyli **tkanki**. W organizmie człowieka występują cztery główne rodzaje tkanek: nabłonkowa, łączna, mięśniowa i nerwowa. Tkanki tworzą **narządy** – struktury wyspecjalizowane w wykonywaniu określonych czynności, które mogą być zbudowane z jednego bądź kilku typów tkanek. Na przykład mózgowie składa się tylko z tkanki nerwowej, z kolei serce jest zbudowane głównie z tkanki mięśniowej, ale jego powierzchnię oraz jamy pokrywają tkanki nabłonkowa i łączna, a pracę kontroluje tkanka nerwowa. Narządy, które współuczestniczą w określonych czynnościach życiowych zwierząt, tworzą **układy narządów**. Niektóre narządy należą wyłącznie do jednego układu (np. żołądek jest częścią układu pokarmowego), inne stanowią elementy kilku układów (np. trzustka jest jednocześnie narządem układu pokarmowego i układu hormonalnego). W organizmie człowieka wyróżnia się zwykle 11 układów narządów: powłokowy, szkieletowy, mięśniowy, pokarmowy, oddechowy, krwionośny, limfatyczny, moczowy, hormonalny, nerwowy i rozrodczy. Część naukowców wyróżnia jeszcze jeden układ – odpornościowy – w którego skład wchodzą m.in. wszystkie narządy układu limfatycznego.

Przypomnij sobie

Budowa komórki zwierzęcej

Komórki człowieka, podobnie jak inne komórki zwierzęce, są oddzielone od środowiska wyłącznie błoną komórkową. We wnętrzu tych komórek znajdują się lizosomy, a materiałem zapasowym jest głównie glikogen.



Poziomy organizacji budowy ciała człowieka

Ciało człowieka rozwija się z zygoty (2n), która powstaje w wyniku zapłodnienia, czyli połączenia się komórki jajowej (1n) z plemnikiem (1n). Zygota dzieli się mitotycznie i różnicuje w ok. 200 rodzajów komórek budujących 4 główne rodzaje tkanek: mięśniową, nabłonkową, łączną i nerwową. Tkanki wchodzą w skład narządów, a te – w skład układów narządów tworzących organizm.

Komórka

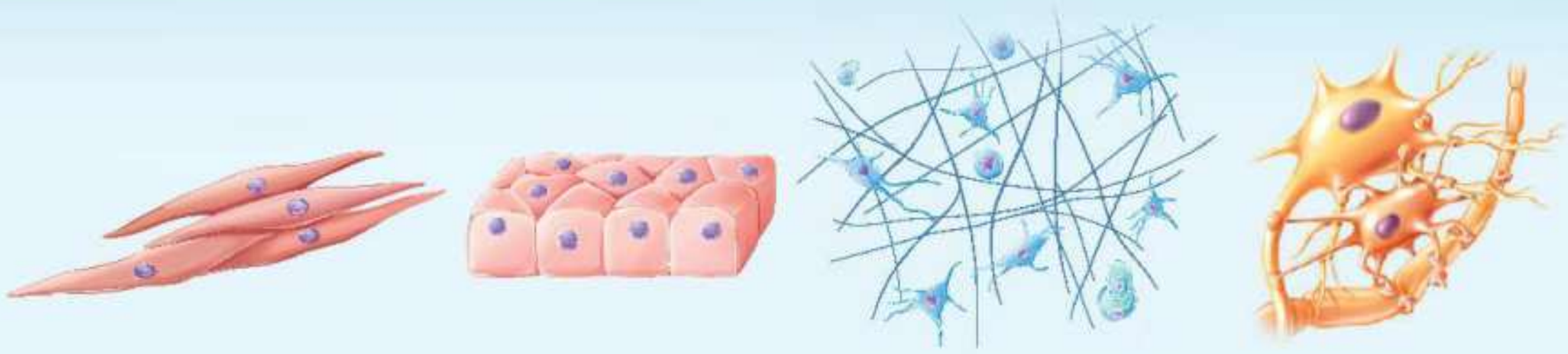
Podstawowa jednostka budulcowa i funkcjonalna organizmu.



komórka mięśniowa | komórka nabłonkowa | komórka tkanki łącznej | komórka nerwowa

Tkanka

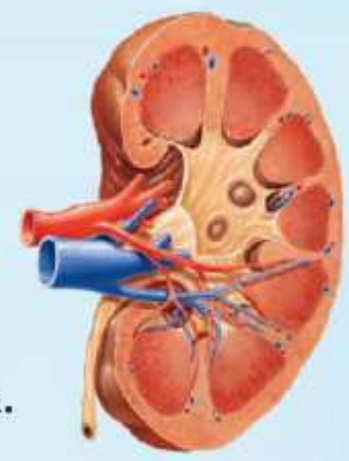
Zespół komórek o podobnej budowie i wspólnym pochodzeniu pełniący określone funkcje.



tkanka mięśniowa gładka | tkanka nabłonkowa | tkanka łączna | tkanka nerwowa

Narząd

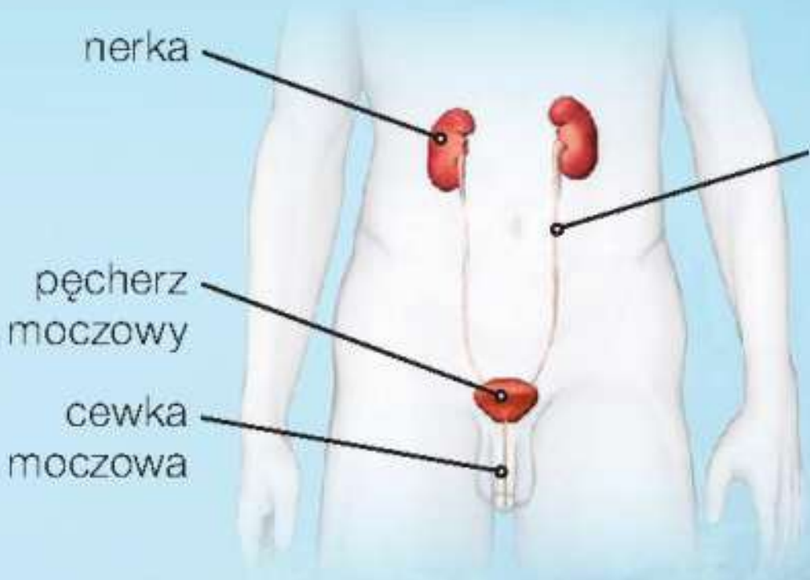
Zespół tkanek wyspecjalizowanych w pełnieniu określonych funkcji.



Nerka.

Układ narządów

Zespół narządów współdziałających przy wykonywaniu danej czynności.



Układ moczowy.

Organizm

Współdziałające układy narządów, które tworzą funkcjonalną całość.

Układy narządów człowieka

W organizmie człowieka wyróżnia się zwykle 11 układów narządów. Niekiedy układy łączy się w większe grupy. Na przykład układ krwionośny i układ limfatyczny tworzą razem układ krążenia, a układy szkieletowy i mięśniowy – układ ruchu.



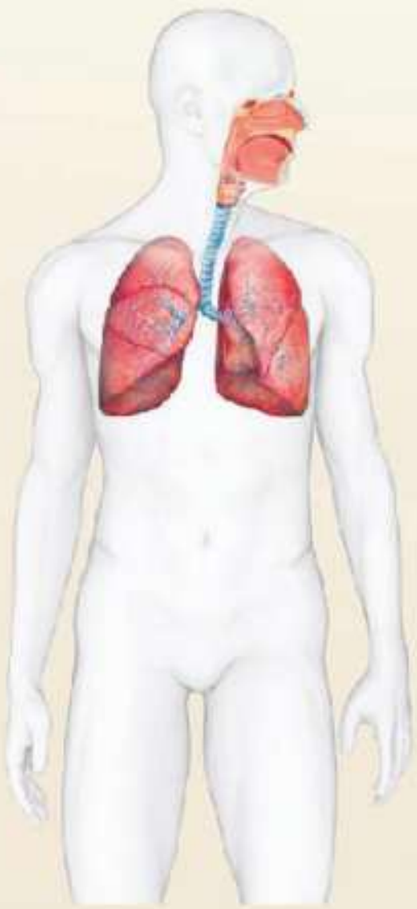
Układ mięśniowy

Jest czynną częścią układu ruchu. Umożliwia poruszanie się oraz pracę narządów wewnętrznych.



Układ szkieletowy

Jest bierną częścią układu ruchu. Utrzymuje ciężar ciała, nadaje ciału kształt, chroni narządy wewnętrzne oraz stanowi magazyn soli mineralnych.



Układ oddechowy

Zapewnia wymianę gazową, czyli dostarczanie do organizmu tlenu i usuwanie z organizmu dwutlenku węgla.



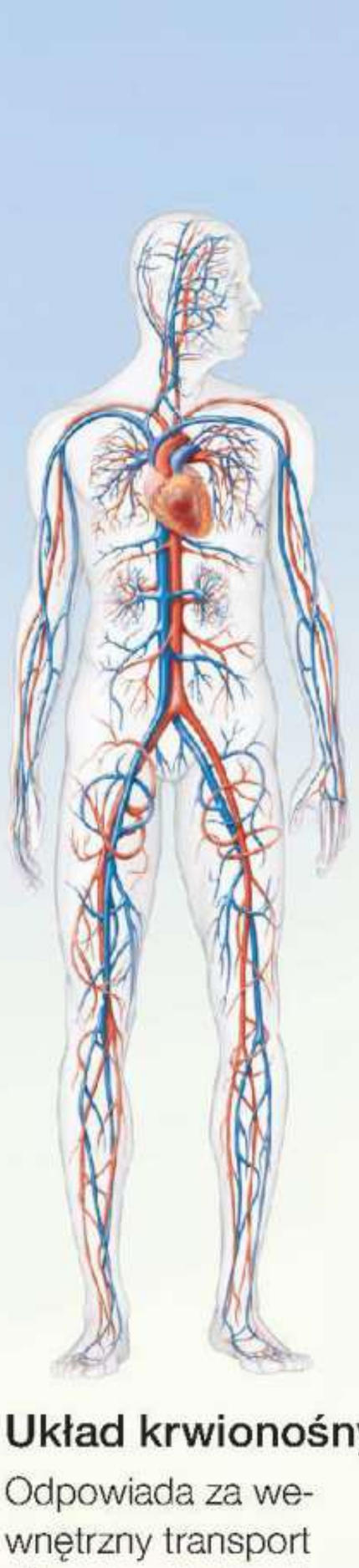
Układ powłokowy (skóra)

Chroni wnętrze ciała przed infekcjami i urazami mechanicznymi. Ponadto pośredniczy w odbieraniu bodźców ze środowiska zewnętrznego oraz bierze udział w termoregulacji.



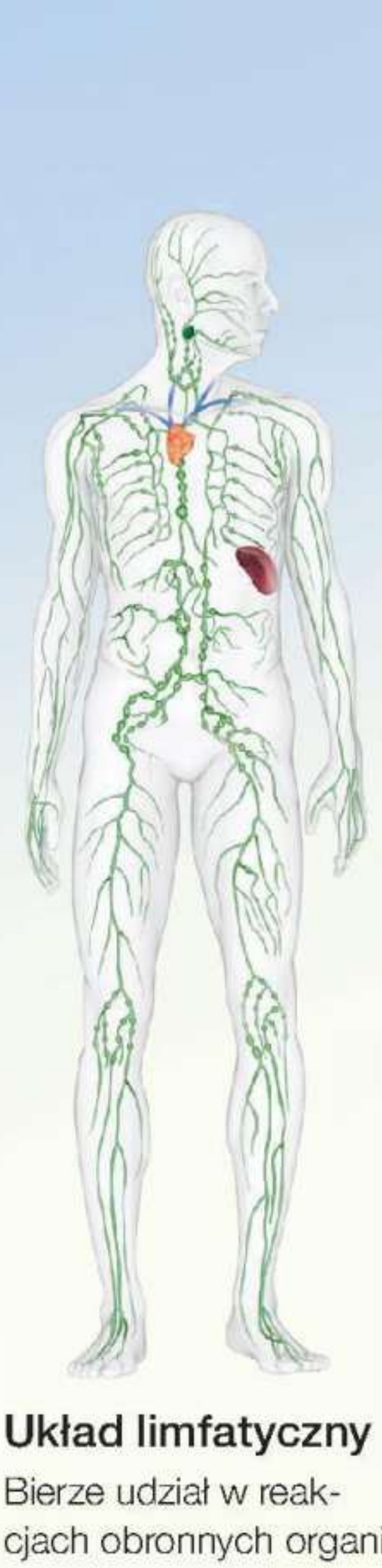
Układ pokarmowy

Umożliwia pobieranie, trawienie i wchłanianie składników pokarmowych oraz usuwanie niestrawionych resztek pokarmu.



Układ krwionośny

Odpowiada za wewnętrzny transport różnych substancji, a także za reakcje obronne organizmu.



Układ limfatyczny

Bierze udział w reakcjach obronnych organizmu, transportuje niektóre substancje, np. tłuszcze.



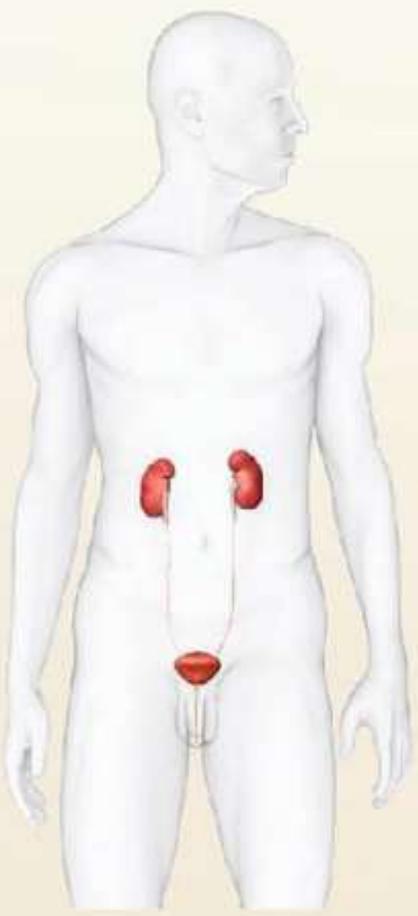
Układ nerwowy

Umożliwia reagowanie na bodźce odbierane ze środowiska. Koordynuje pracę narządów wewnętrznych.



Układ hormonalny

Bierze udział w regulowaniu procesów życiowych za pomocą hormonów.



Układ moczowy

Zapewnia wydalanie niektórych produktów metabolizmu, np. mocznika.



Układ rozrodczy

Umożliwia rozmnażanie się, wytwarza komórki płciowe oraz odpowiada za wykształcenie zewnętrznych cech płciowych.

Współpraca układów narządów

Układy narządów współpracują ze sobą – dzięki temu cały organizm funkcjonuje prawidłowo. Na przykład do poruszania się potrzebna jest energia uzyskiwana głównie podczas oddychania tlenowego. Za pobieranie niezbędnych do tego procesu związków organicznych oraz ich trawienie i wchłanianie odpowiada układ pokarmowy. Do oddychania tlenowego jest także potrzebny tlen dostarczany z atmosfery przez układ oddechowy. Tlen oraz związki organiczne są następnie transportowane do komórek ciała przez układ krwionośny. Układ ten odbiera również z komórek zbędne produkty przemiany materii, m.in. dwutlenek węgla, wodę i mocznik, oraz przenosi je do miejsc wydalania – płuc, skóry i nerek. Energia uzyskana w wyniku oddychania tlenowego jest wykorzystywana przez układ mięśniowy, który dzięki współpracy z układem szkieletowym umożliwia poruszanie się. Pracę wszystkich układów narządów regulują układy nerwowy oraz hormonalny.

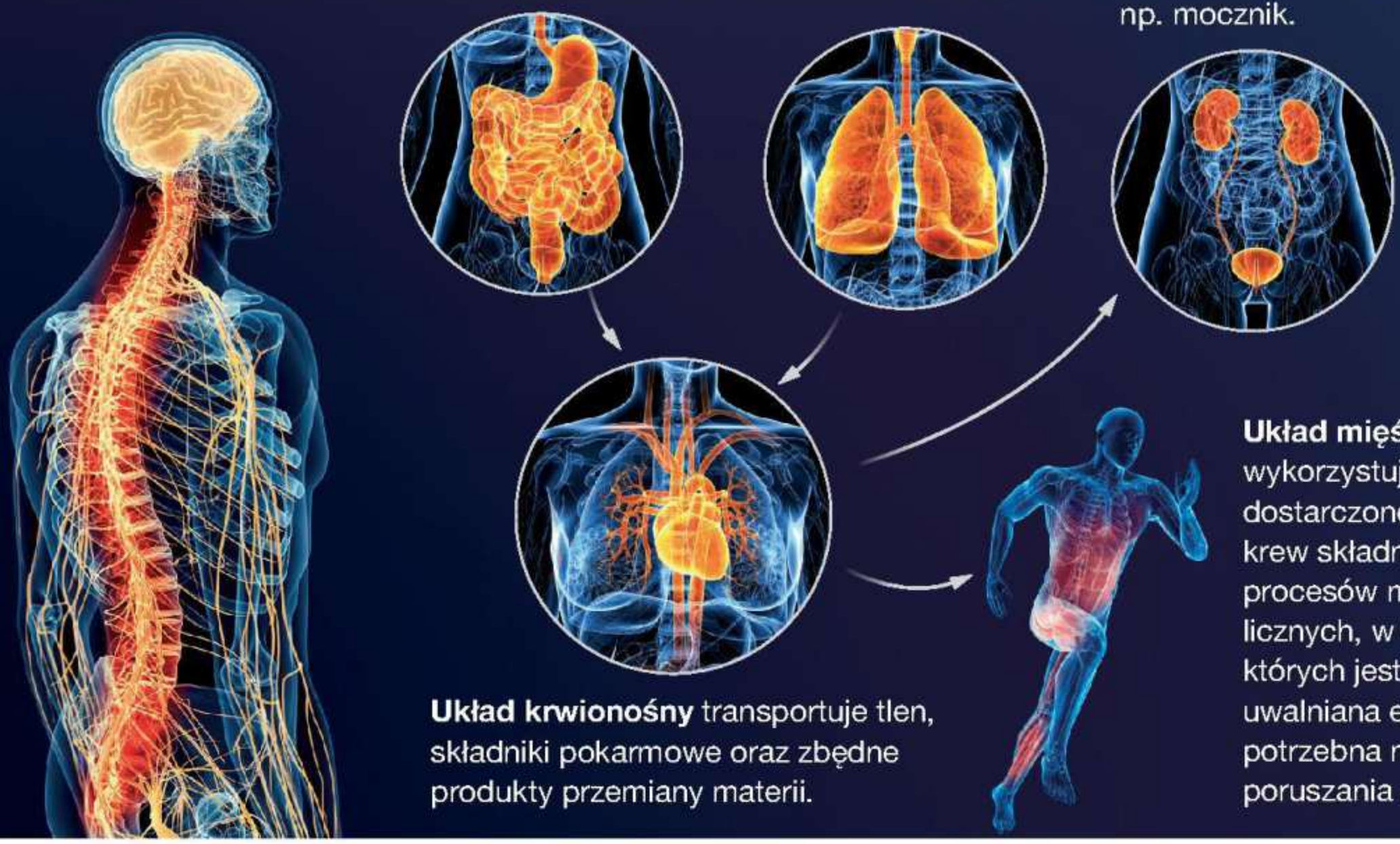
Przykład współpracy pomiędzy układami narządów

Układ nerwowy koordynuje i kontroluje pracę pozostałych układów narządów.

Układ pokarmowy umożliwia pobieranie, trawienie i wchłanianie składników pokarmowych.

Układ oddechowy dostarcza do organizmu tlen i usuwa z niego dwutlenek węgla.

Układ moczowy usuwa z organizmu nadmiar wody oraz zbędne produkty przemiany materii, np. mocznik.



Układ krwionośny transportuje tlen, składniki pokarmowe oraz zbędne produkty przemiany materii.

Układ mięśniowy wykorzystuje dostarczone przez krew składniki do procesów metabolicznych, w wyniku których jest uwalniana energia potrzebna np. do poruszania się.

Polecenia kontrolne

1. Podaj dwa przykłady obrazujące kolejne stopnie organizacji ciała człowieka. Rozpocznij od najniższego poziomu, np.: komórka nerwowa → tkanka nerwowa → mózg → układ nerwowy.
2. Wybierz dowolny narząd, inny niż narządy opisane w podręczniku, i na podstawie dostępnych źródeł wymień, z jakich rodzajów tkanek jest on zbudowany.
3. Wyjaśnij na przykładzie dowolnych układów narządów, na czym polega współpraca między nimi.

1.3. Homeostaza

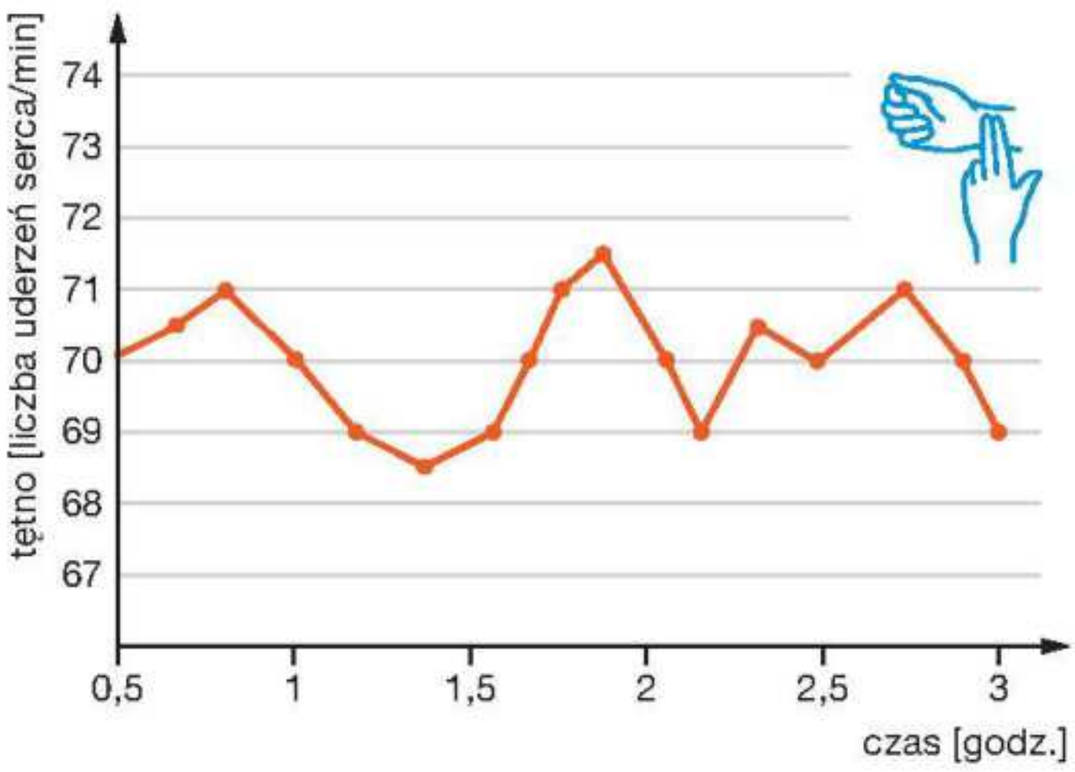
Zwróć uwagę na:
- definicję homeostazy,
- mechanizmy warunkujące homeostazę,
- termoregulację i regulację ciśnienia krwi,
- rytmy dobowe i ich znaczenie.

Środowisko zewnętrzne charakteryzuje się dużą zmiennością warunków. Występują w nim m.in. wahania temperatury, zmiany w dostępności wody i pokarmu oraz zróżnicowane warunki świetlne. Dlatego organizm wykształcił mechanizmy, które umożliwiają mu adaptację do zmieniających się warunków środowiska i pozwalają na utrzymanie homeostazy.

Czym jest homeostaza?

Homeostaza (równowaga wewnętrzna organizmu) to **zdolność organizmu do utrzymania względnie stałych warunków środowiska wewnętrznego**. Polega ona na stabilizowaniu takich parametrów, jak: temperatura ciała, ciśnienie krwi, skład płynów ustrojowych czy stopień uwodnienia komórek. Za utrzymanie równowagi wewnętrznej organizmu odpowiadają **mechanizmy homeostatyczne**.

Zachowanie równowagi wewnętrznej organizmu w stale zmieniającym się środowisku jest bardzo trudne. Z tego względu parametry fizjologiczne nie mają dokładnie wyznaczonych wartości, lecz w niewielkim zakresie ciągle się zmieniają. Na przykład tętno spoczynkowe człowieka oscyluje wokół średniej optymalnej wartości, ale nie zawsze jest jej równe. Podobnie z innymi parametrami – ich wartości są utrzymywane na względnie stałym poziomie. Z tego powodu homeostazę określa się mianem **stanu równowagi dynamicznej**.



Zmiany tętna człowieka mierzone w czasie spoczynku.



Mechanizmy homeostatyczne

Czynnikami zaburzającymi homeostazę mogą być m.in.: stres, używki, niewłaściwa dieta czy drobnoustroje chorobotwórcze. Na przykład alkohol daje złudne poczucie ciepła w niskiej temperaturze środowiska – oszukuje w ten sposób mechanizmy homeostazy, co może prowadzić do wychłodzenia organizmu. Z kolei cukrzyca jest zaburzeniem równowagi poziomu glukozy we krwi.

Każde gwałtowne zachwianie równowagi jest rejestrowane przez **receptory**. Działają one jak czujniki, które przekazują informacje do specjalnego **ośrodka kontroli** znajdującego się w centralnym układzie nerwowym, najczęściej w mózgowiu. Ośrodek kontroli uruchamia mechanizmy regulacyjne, które pobudzają do pracy **efektory** – różne narządy dostosowujące procesy wewnętrzne do zmieniających się warunków środowiska. Większość mechanizmów homeostatycznych działa na zasadzie **ujemnego sprzężenia zwrotnego**. Oznacza to, że efekt końcowy hamuje proces, który doprowadził do powstania tego efektu. Na przykład przywrócenie stanu równowagi powoduje, że efektory przestają działać.

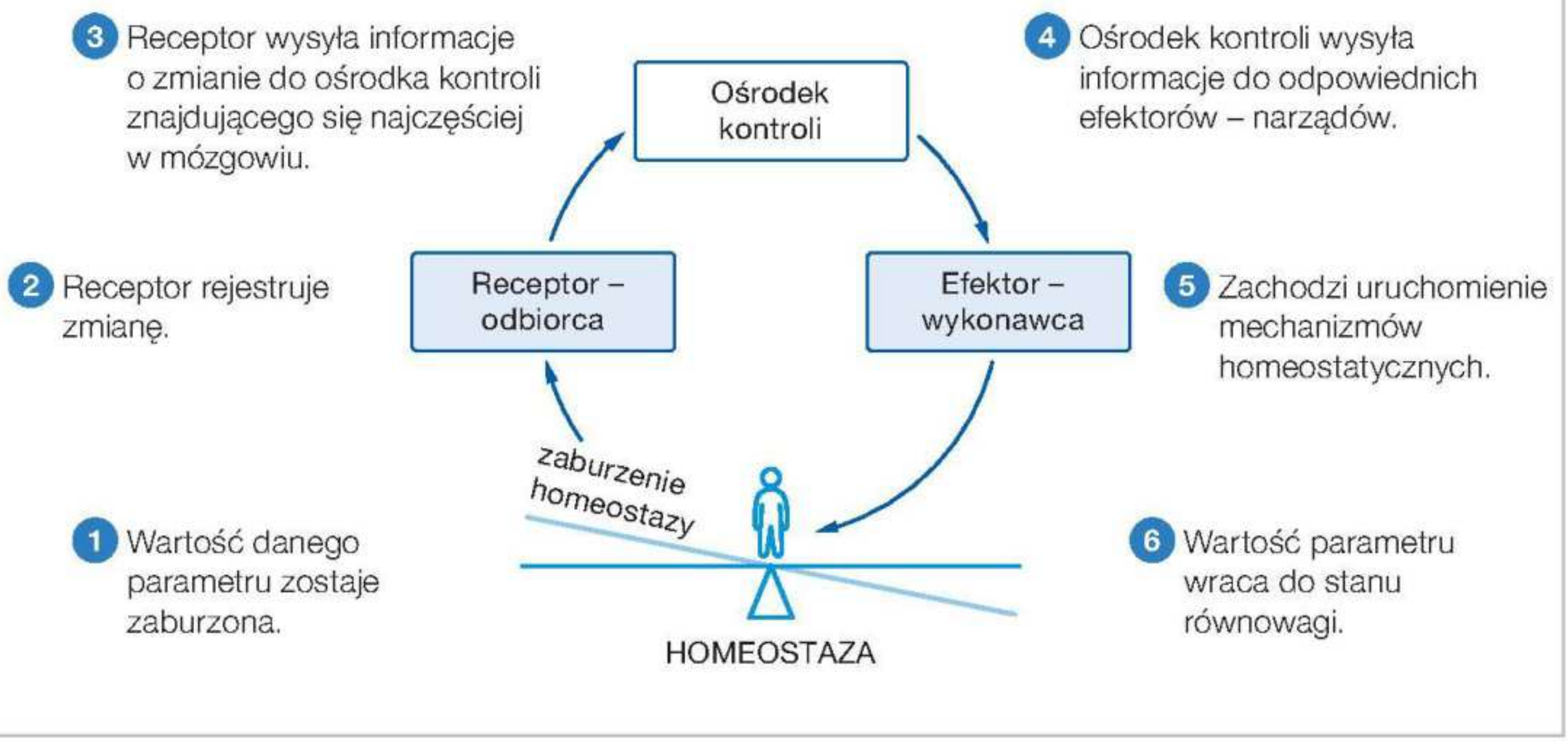
Jak działa system kontroli homeostazy?

Kontrolowanie homeostazy przypomina regulację temperatury w domu w okresie jesienno-zimowym. Wartość temperatury w pomieszczeniach jest odczytywana przez czujniki ciepła. Informacje z czujników są przekazywane do ośrodka kontroli, czyli termostatu. Gdy poziom temperatury jest za niski, termostat włącza piec. Praca pieca powoduje uwalnianie ciepła z grzejników i powrót do ustawionej wcześniej temperatury.



Temperatura w domu ustawiona na stałą wartość.

Regulacja względnie stałych parametrów fizjologicznych



Termoregulacja

Człowiek należy do gromady ssaków, które wspólnie z gromadą ptaków tworzą grupę zwierząt:

- **stałocieplnych**, wykazujących zdolność utrzymania stałej temperatury ciała niezależnie od wahań temperatury otoczenia,
- **endotermicznych**, dla których źródłem ciepła są procesy metaboliczne zachodzące wewnątrz organizmu.

Utrzymanie stałej temperatury ciała jest możliwe dzięki istnieniu skomplikowanych mechanizmów regulacji fizjologicznej, opartych na utrzymaniu równowagi między ciepłem wytwarzanym przez organizm a ciepłem oddawanym do otoczenia. Mechanizm ten jest koordynowany przez **ośrodek termoregulacji** znajdujący się w części mózgowia zwanej **podwzgórzem**. Precyzyjnej oceny stanu termicznego organizmu dokonują **termoreceptory**, czyli receptory reagujące na zmianę temperatury. Są one rozmieszczone głównie w skórze, a także w naczyniach krwionośnych, mózgowiu i przewodzie pokarmowym. Obniżenie temperatury otoczenia sprawia, że organizm uruchamia procesy prowadzące do wytworzenia ciepła, zwane **termogenezą**. Wyróżnia się dwa rodzaje termogenezy: termogenezę drżeniową (zachodzącą z udziałem mięśni szkieletowych) oraz bezdrżeniową (zachodzącą z udziałem tkanki tłuszczowej brunatnej). Równocześnie ograniczona zostaje utrata ciepła przez skórę (zmniejszenie przepływu krwi przez skórne naczynia krwionośne oraz ograniczenie wydzielania potu). Zewnętrznym objawem stanu wychłodzenia organizmu jest tzw. gęsia skórka, powstająca na skutek skurczu mięśni stroszących włosy. U zwierząt pokrytych futrem jest to doskonały mechanizm zapewniający zwiększenie zewnętrznej warstwy izolacyjnej, ponieważ nastroszone włosy utrzymują ciepłe powietrze przy skórze. U człowieka, ze względu na skąpe owłosienie, mechanizm ten nie pełni już swojej funkcji.

Obniżenie temperatury ciała odbywa się przez: zwiększenie przepływu krwi przez skórne naczynia krwionośne, zwiększenie wydzielania potu oraz szybką wentylację płuc. Intensywny przepływ krwi przez naczynia krwionośne położone blisko powierzchni ciała sprawia, że nadmiar ciepła jest wypromieniowywany z organizmu. Woda, która stanowi główny składnik potu, charakteryzuje się dużym ciepłem parowania. Dzięki temu, parując z powierzchni skóry, pochłania znaczne ilości ciepła i w efekcie przyczynia się do ochłodzenia organizmu. Parowanie odbywa się nie tylko przez powierzchnię skóry, lecz także przez drogi oddechowe. Uważa się, że w ten sposób człowiek traci ok. 1 dm^3 wody na dobę. Straty wody i soli mineralnych powinny być regularnie uzupełniane. Należy pamiętać, że człowiek może również świadomie wpływać na regulację temperatury swojego ciała, np. przez ubiór czy unikanie ekspozycji na słońce.

Utrzymywanie prawidłowego ciśnienia krwi

Prawidłowe ciśnienie krwi umożliwia dostarczanie do komórek wszystkich niezbędnych do życia składników (m.in. tlenu i glukozy), a także ciepła. Zbyt niskie ciśnienie krwi prowadzi do niedotlenienia i niedożywienia komórek, natomiast zbyt wysokie ciśnienie krwi grozi m.in. pękaniem naczyń krwionośnych mózgowia (udarem). Najprostszy mechanizm regulacji ciśnienia krwi polega na modyfikacji tempa pracy serca.

Termogeneza	
drżeniowa	bezdrżeniowa
polega na produkcji ciepła w wyniku mimowolnych skurczów mięśni szkieletowych zlokalizowanych w obrębie głowy, tułowia i kończyn	polega na produkcji ciepła w wyniku utleniania tłuszczu zgromadzonego w tkance tłuszczowej brunatnej

Przypomnij sobie

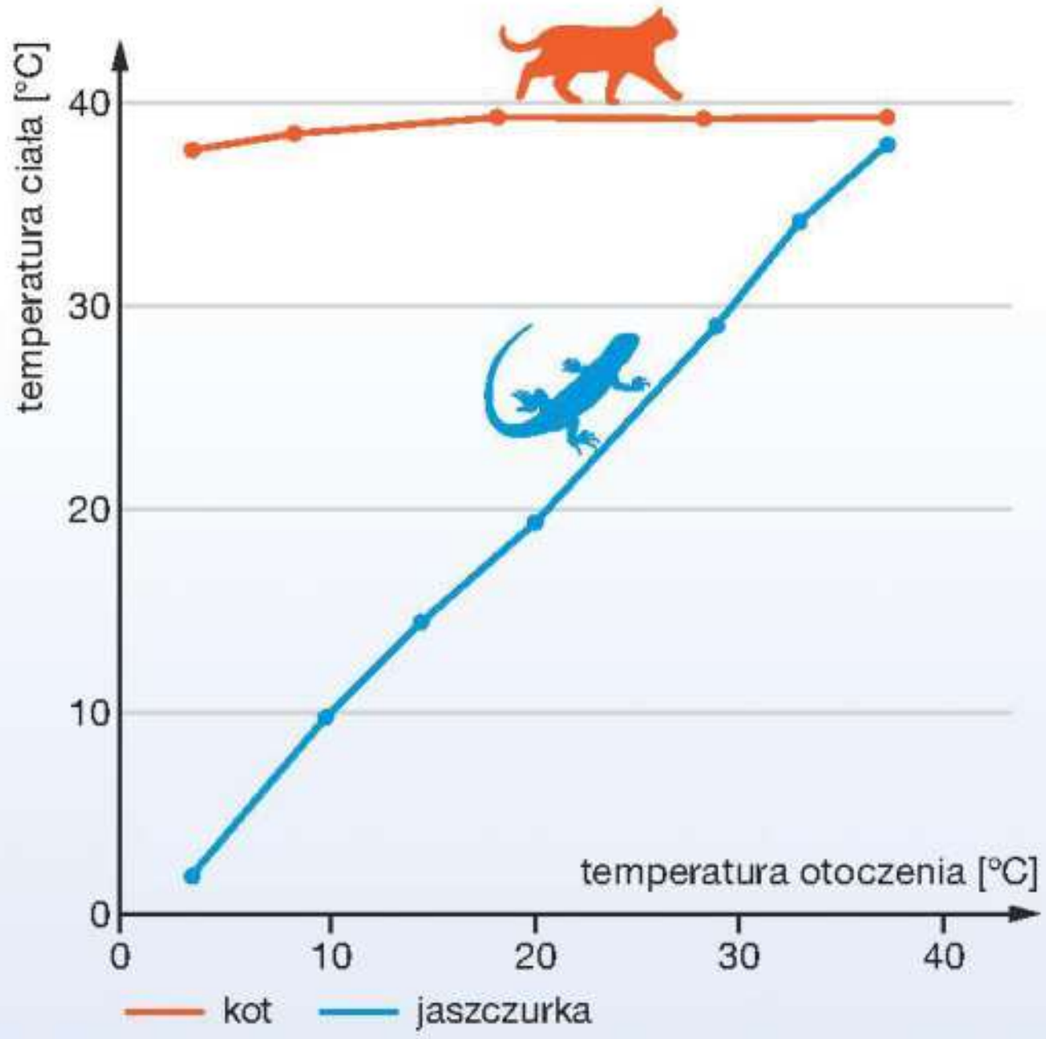
Wpływ temperatury otoczenia na temperaturę ciała i funkcjonowanie zwierząt

Temperatura środowiska zewnętrznego nieustannie wpływa na organizmy, dlatego wiele z nich wykształciło mechanizmy termoregulacji, czyli utrzymywania optymalnej dla życia temperatury ciała.

Zwierzęta ektotermiczne i endotermiczne

Funkcjonowanie organizmów zależy od temperatury. Zbyt niska temperatura powoduje m.in. spadek tempa metabolizmu oraz zamarzanie tkanek, dlatego do życia niezbędne jest ciepło. W zależności od źródła ciepła wykorzystywanego przez organizm zwierzęta dzieli się na:

- ektotermiczne – pochłaniają ciepło niezbędne do prawidłowego funkcjonowania z otoczenia; są one również organizmami zmiennocieplnymi – cechują się zmienną temperaturą ciała. Do zwierząt ektotermicznych i zmiennocieplnych należą: bezkręgowce, krągłouste, ryby, płazy oraz gady;
- endotermiczne – uzyskują ciepło niezbędne do ogrzania ciała z procesów metabolicznych, głównie z oddychania tlenowego; są one również organizmami stałocieplnymi – cechują się względnie stałą temperaturą ciała. Do zwierząt endotermicznych i stałocieplnych należą ptaki oraz ssaki.



Zależność między temperaturą ciała kota (zwierzę endotermiczne) i temperaturą ciała jaszczurki (zwierzę ektodermiczne) a temperaturą otoczenia.

Jak zwierzęta zmieniają źródło ciepła?

Podział zwierząt na ektotermiczne i endotermiczne nie jest ścisły. Niektóre zwierzęta ektotermiczne, np. trzmiele, potrafią znacznie podnieść temperaturę ciała dzięki procesom metabolicznym. Z kolei wiele zwierząt endotermicznych, np. makaki japońskie, korzysta okresowo z zewnętrznych źródeł ciepła.



Makaki japońskie podczas mroźnych zim ogrzewają się w gorących źródłach. Dzięki temu ograniczają metaboliczną produkcję ciepła, wymagającą dużej ilości substratów energetycznych.



Trzmiele produkują w czasie chłodów ciepło metaboliczne w procesie podobnym do termogenezy drżeniowej. Dzięki skurczom mięśni podwyższają temperaturę ciała do ok. 30°C, co pozwala im na aktywny lot.

Znaczenie hibernacji i estywacji w funkcjonowaniu zwierząt

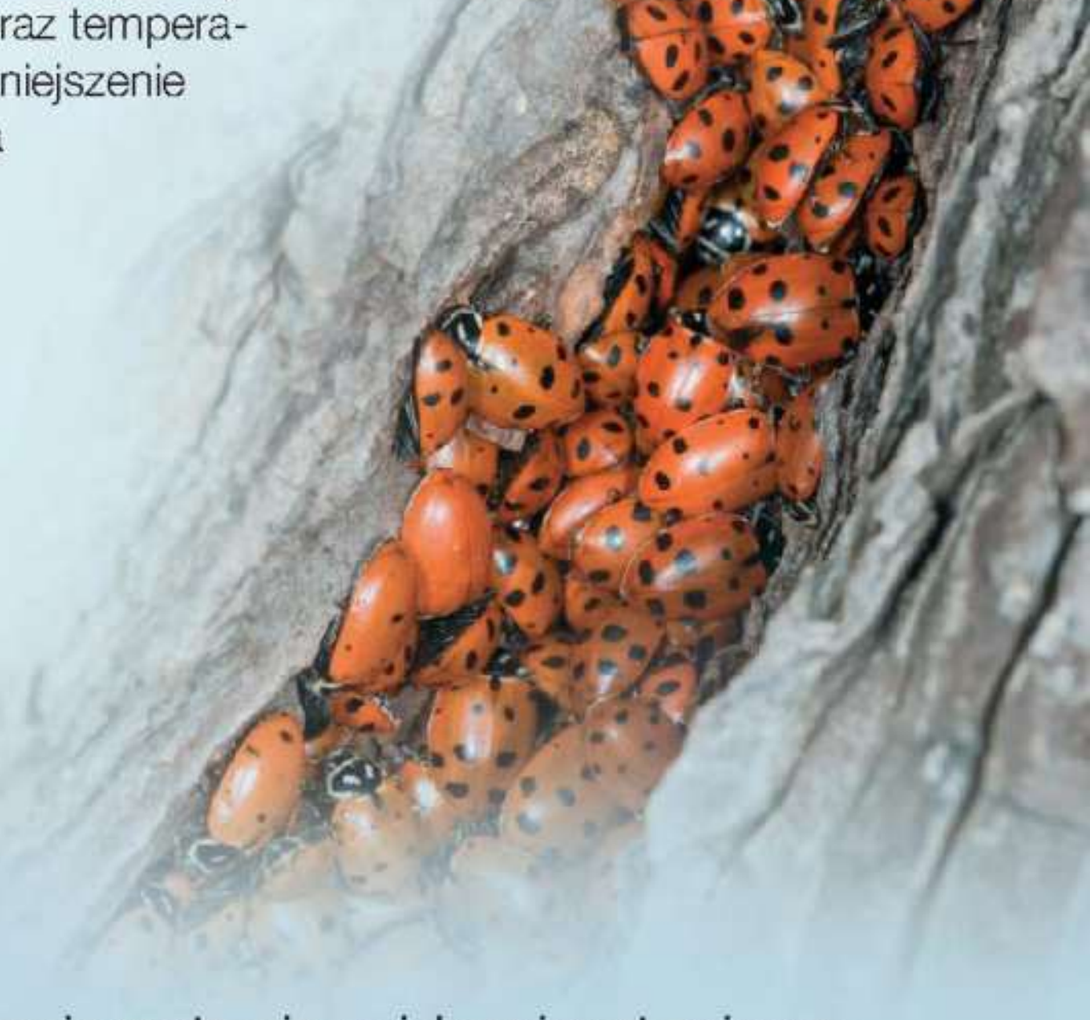
Hibernacja oraz estywacja są fizjologicznymi stanami polegającymi na obniżeniu metabolizmu i temperatury ciała, a także ograniczeniu większości czynności życiowych (m.in. oddychania czy odżywiania się). Stany te występują u niektórych gatunków zwierząt, umożliwiając im przetrwanie w niekorzystnych warunkach środowiska.

Hibernacja – sen zimowy

Występuje u wielu zwierząt, które zasiedlają strefy klimatyczne cechujące się surowymi zimami. W okresie chłodów tempo ich metabolizmu oraz temperatura ciała ulegają znacznemu obniżeniu, co pociąga za sobą zmniejszenie zużycia substratów energetycznych oraz zmniejszenie usuwania ciepła do otoczenia.



W stan hibernacji zapadają niektóre zwierzęta względnie stałocieplne, np. orzesznice. Przez większość roku utrzymują one temperaturę ciała na stałym poziomie, a zimą znacznie ją obniżają.



Hibernacja występuje u wielu zwierząt zmiennocieplnych – zarówno bezkręgowców, np. owadów, jak i kręgowców, np. płazów.

Estywacja – sen letni

Występuje u wielu zwierząt, które zasiedlają obszary charakteryzujące się długotrwałą suszą, i stanowi przystosowanie do okresowego braku pokarmu oraz wody. Pod względem fizjologicznym estywacja nie różni się od hibernacji – również w tym stanie znacznemu obniżeniu ulegają tempo metabolizmu oraz temperatura ciała. Następuje także ograniczenie większości czynności życiowych.



Estywacja występuje u wielu bezkręgowców, np. u pustynnych ślimaków. Zwierzęta te podczas upałów chowają się w muszlach, które zamykają błoną z suchego śluzu. Dzięki temu ich ciało nie traci wody.



W stan estywacji zapadają m.in. małe ssaki pustynne, np. skocznik długouchy.

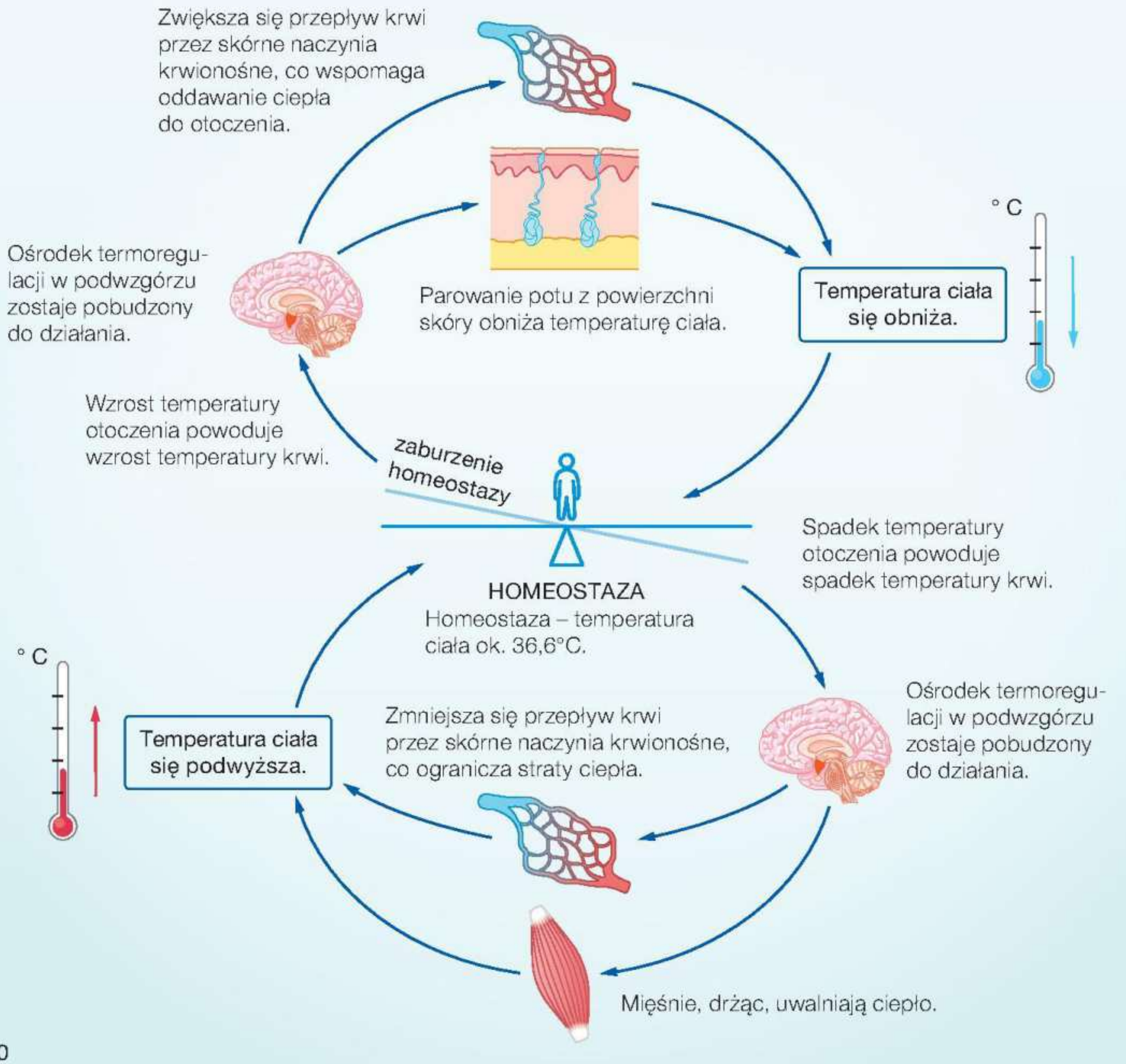
Regulacja podstawowych parametrów organizmu człowieka

Do podstawowych parametrów organizmu człowieka należą: temperatura ciała, ciśnienie krwi oraz stan uwodnienia tkanek.

Termoregulacja

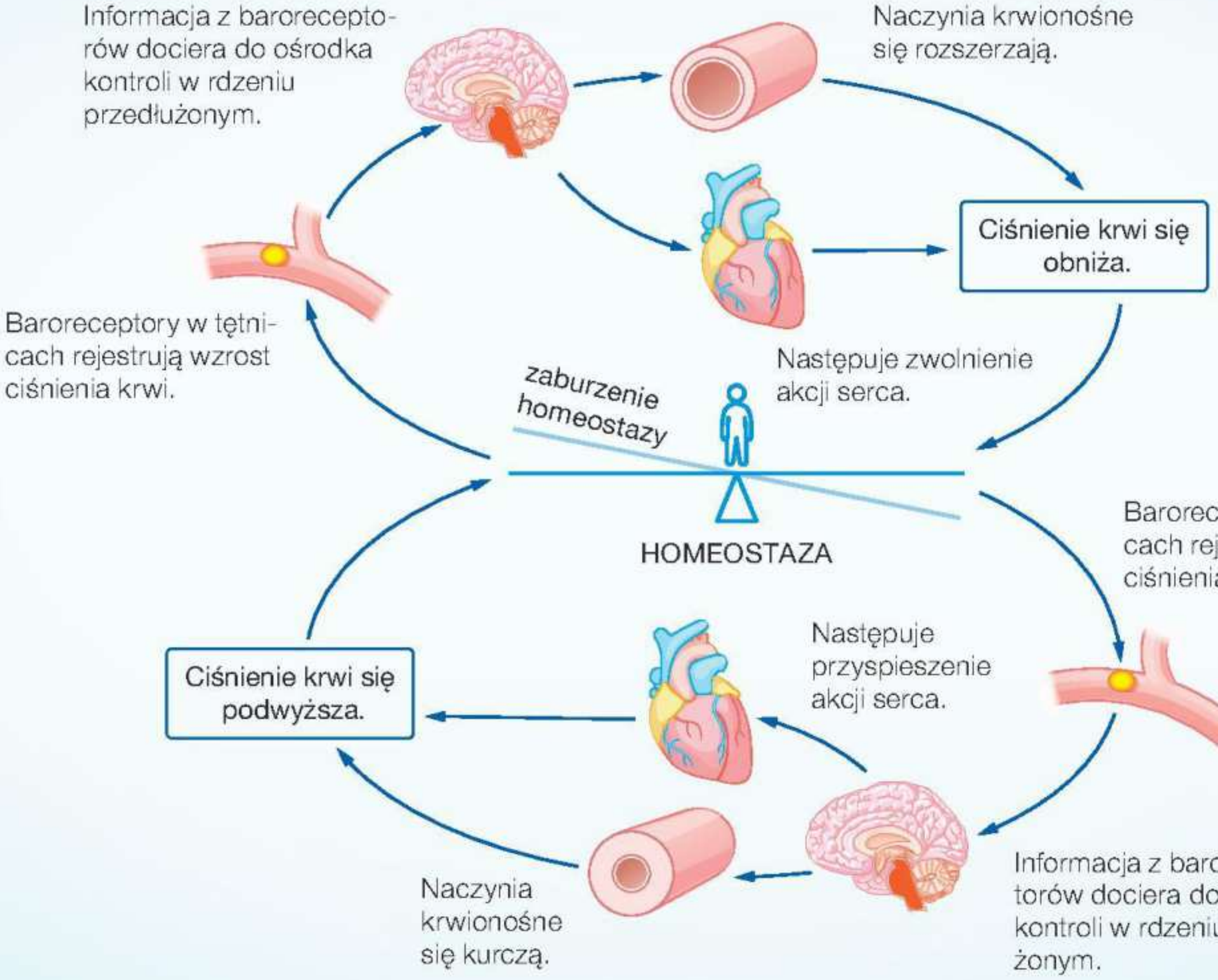
Proces ten polega na utrzymaniu względnie stałej temperatury ciała (ok. 36,6°C) niezależnie od aktualnej temperatury otoczenia. Obniżenie lub podwyższenie temperatury ciała (najczęściej na skutek zmian w środowisku) wywołuje reakcje odpowiednich narządów. Zmiany te są rejestrowane przez **receptory ciepła i zimna** rozmieszczone w skórze, a następnie przesyłane do **ośrodka termoregulacji** zlokalizowanego w podwzgórzu. Ośrodek termoregulacji uruchamia odpowiednie **mechanizmy homeostatyczne**:

- gdy **temperatura jest zbyt wysoka**, gruczoły potowe zostają pobudzone do wydzielania potu, zwiększa się również przepływ krwi przez skórne naczynia krwionośne. Dzięki temu nadmiar ciepła jest usuwany na zewnątrz przez powierzchnię skóry;
- gdy **temperatura jest zbyt niska**, zmniejsza się przepływ krwi przez skórne naczynia krwionośne, co ogranicza ochładzanie krwi w powierzchniowych warstwach ciała. Ponadto zaczynają drżeć mięśnie, dzięki czemu zachodzi wzmożona produkcja ciepła.



Regulacja poziomu ciśnienia krwi

U dorosłego człowieka prawidłowe ciśnienie krwi utrzymuje się na poziomie ok. 120/80 mm Hg. Zmiany poziomu ciśnienia krwi są rejestrowane przez baroreceptory umiejscowione w dużych tętnicach. Receptory te wysyłają informacje do ośrodka naczynioruchowego znajdującego się w rdzeniu przedłużonym. Gdy ciśnienie krwi jest zbyt wysokie, naczynia krwionośne rozszerzają się i serce zwalnia pracę. W sytuacji odwrotnej następuje kurczenie się naczyń krwionośnych i przyspieszenie pracy serca.



Na czym polega osmoregulacja?

Osmoregulacja polega na utrzymaniu równowagi wodno-mineralnej organizmu, w tym właściwego składu płynów ustrojowych – np. krwi i limfy. Do zaburzenia tej równowagi dochodzi m.in. w przypadku nadmiernego pocenia się podczas wysiłku fizycznego. Regulacja poziomu wody we krwi odbywa się głównie z udziałem układu moczowego.



Zawodnicy podczas biegów na długich dystansach muszą pamiętać o regularnym uzupełnianiu płynów i soli mineralnych.

Rytmy biologiczne

Na utrzymanie homeostazy mają również wpływ cykliczne zmiany zachodzące w organizmie, czyli tzw. rytmy biologiczne. Jednym z nich jest **rytm dobowy**, spowodowany ruchem obrotowym Ziemi i wynikającymi z niego okresami światła (dzień) i ciemności (noc). Rytm ten wyznacza zmiany zachodzące w organizmie w ciągu doby. U człowieka rytmowi dobowemu podlegają m.in.:

- temperatura ciała,
- ciśnienie krwi,
- wydzielanie hormonów,
- działanie autonomicznego układu nerwowego,
- sekwencja snu i czuwania.

W organizmie, oprócz zmian wynikających z rytmu dobowego, zachodzą też inne cykliczne zmiany, np.: cykl miesiączkowy u kobiet, rytm skurczów serca czy rytm oddechowy. Również poszczególne narządy ciała mają własne rytmy, np. wątroba najintensywniej pracuje między godz. 1.00 a 3.00 w nocy, z kolei nerki wykazują największą aktywność w godzinach wieczornych.

Zegar biologiczny

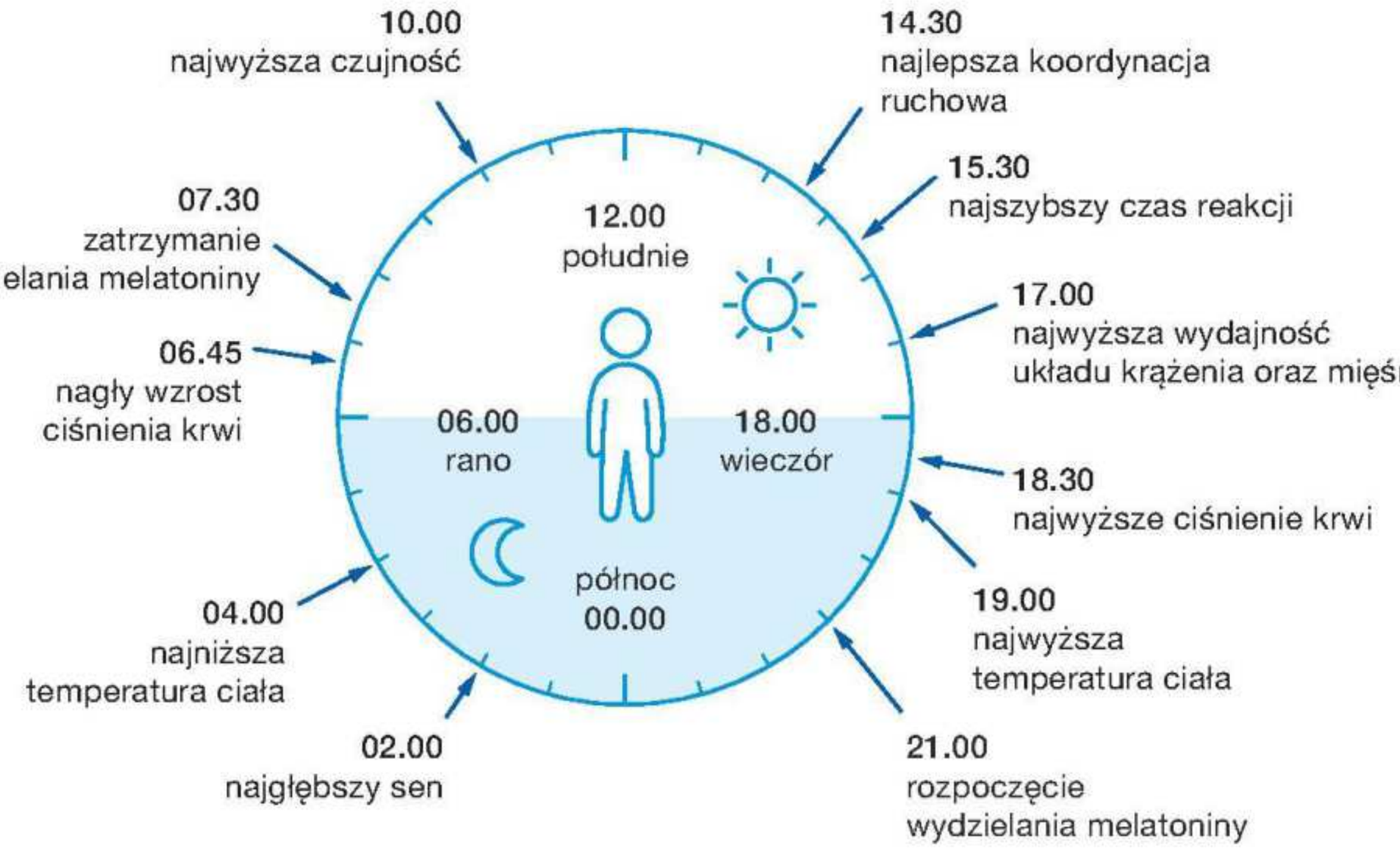
W organizmie występuje wewnętrzny mechanizm sterujący rytmem procesów życiowych, zwany zegarem biologicznym. Jest on zlokalizowany w **podwzgórzu** i zsynchronizowany z rytmem dobowym – im bardziej się z nim zgadza, tym lepiej się czujemy.

Jak działa zegar biologiczny? Okresy światła i ciemności są rejestrowane przez siatkówkę oka, a informacje o nich docierają do mózgowia. Wieczorem światła jest mniej, co powoduje wydzielenie hormonu **melatoniny** przez szyszynkę (gruczoł dokrewny). Melatonina reguluje dobowy rytm snu i czuwania oraz metabolizm organizmu. Wzrost jej poziomu jest sygnałem do rozpoczęcia snu. Z kolei rano, kiedy światła jest więcej, wydzielanie melatoniny zostaje zmniejszone.

Czy wiesz, że...

Progeria to choroba genetyczna polegająca na zaburzeniu cyklu całego życia. W jej wyniku organizm starzeje się w przyspieszonym tempie. Na przykład wiek organizmu chorej 15-letniej osoby oblicza się na 120–150 lat.

Zegar biologiczny człowieka



Zaburzenia rytmu dobowego

Największe znaczenie w rytmie dobowym ma odpowiedni stosunek długości okresu światła do długości okresu ciemności. Gdy jest za mało naturalnego światła dziennego, wewnętrzny zegar się rozregulowuje, co negatywnie wpływa na funkcjonowanie organizmu. Niekorzystnie oddziałuje na niego również zbyt duża ilość sztucznego oświetlenia.

Jesienna depresja

Niektóre osoby jesienią odczuwają spadek nastroju, który określa się mianem jesiennej depresji. Często towarzyszą mu: ciągłe uczucie zmęczenia, apatia, niechęć do spotkań towarzyskich oraz senność.

Brak naturalnego światła jesienią może prowadzić do jesiennej depresji.

Jet lag

Długotrwały lot samolotem przez kilka stref czasowych powoduje często objawy nazywane jet lagiem. Należą do nich m.in.: zmęczenie, brak koncentracji i wahania nastroju.

W przypadku lotu na zachód dostosowanie do zmian jest łatwiejsze niż w przypadku lotu na wschód. Dzieje się tak, ponieważ podczas podróży do zachodniej strefy czasowej dzień się wydłuża, a podczas podróży do wschodniej strefy czasowej – skraca, co bardziej zaburza rytm dobowy.



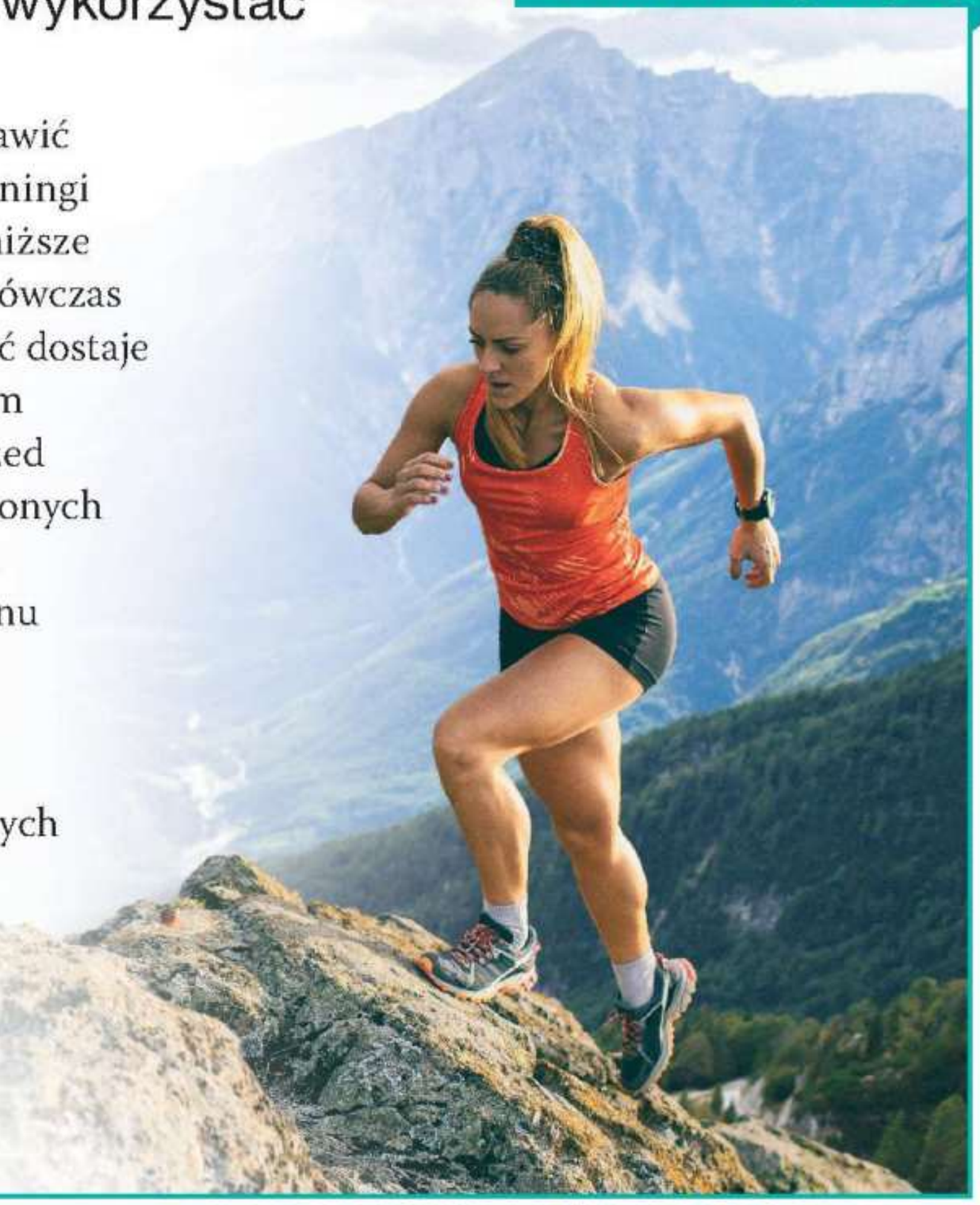
Wpływ jasnego ekranu na sen

Korzystanie z urządzeń elektronicznych bezpośrednio przed snem może zakłócać odpowiedni odpoczynek, ponieważ jasny ekran emituje duże ilości światła blokującego wydzielanie melatoniny. Największe znaczenie dla produkcji tego hormonu ma niebieska część widma świetlnego. Dlatego w telefonach komórkowych są dostępne aplikacje, które wieczorami blokują albo ograniczają emitowanie tego rodzaju światła. Coraz popularniejsze są również programy, które w odpowiednim czasie włączają w monitorach tryb pracy nocnej.

Dowiedz się więcej

Trening wysokogórski, czyli jak wykorzystać zaburzenie homeostazy

W sportach wytrzymałościowych, aby poprawić kondycję organizmu, często prowadzi się treningi w górach. Na dużych wysokościach panuje niższe ciśnienie atmosferyczne – trudniejsze jest wówczas pobieranie tlenu, przez co mniejsza jego ilość dostaje się do tkanek. W takich warunkach organizm musi wypracować mechanizmy obronne przed niedotlenieniem, np. zwiększyć liczbę czerwonych krwinek oraz mitochondriów w komórkach. Ponadto mięśnie gromadzą wtedy więcej tlenu w białku mioglobinie, a mniej go zużywają. Z powodu trudniejszych warunków trening wysokogórski jest jednak mało intensywny, dlatego sportowcy najczęściej nocują na dużych wysokościach, a trenują na nizinach lub wykorzystują sztucznie stworzone warunki wysokogórskie.



Kiedy organizm przystosowuje się (aklimatyzuje) do trudniejszych warunków środowiska, zwiększa się jego wydolność.

Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij, na czym polega homeostaza.
2. Wyjaśnij na dowolnie wybranym przykładzie, dlaczego homeostazę określa się mianem stanu równowagi dynamicznej.
3. Określ, w jaki sposób wirusy i bakterie chorobotwórcze zaburzają homeostazę organizmu człowieka.
4. Wyjaśnij, jak dieta oparta na słonych chipsach wpływa na homeostazę.
5. Zaproponuj harmonogram dnia, który będzie najbardziej zgodny z rytmem dobowym człowieka.
6. Korzystając z różnych źródeł, opisz dowolny proces, który zachodzi cyklicznie w organizmie człowieka.
7. Ustal, jakie mechanizmy homeostatyczne zachodzą u człowieka w sytuacjach spadku i wzrostu temperatury ciała. Wpisz litery A–F w odpowiednich miejscach tabeli.

A. Zwiększenie przepływu krwi przez skórne naczynia krwionośne.
B. Pobudzenie drżenia mięśni szkieletowych.
C. Pobudzenie ośrodka regulacji temperatury w podwzgórzu.
D. Zmniejszenie przepływu krwi przez skórne naczynia krwionośne.
E. Pobudzenie gruczołów potowych do wydzielania potu.
F. Rejestracja zmian przez receptory skórne.

Zaburzenie homeostazy – temperatura spada	Zaburzenie homeostazy – temperatura wzrasta
?	?

Podsumowanie

1 Unikatowe cechy człowieka:

- pionowa postawa ciała,
- zredukowane owłosienie,
- wysoki stopień rozwoju i zróżnicowania mózgowia.

2 Poziomy organizacji budowy organizmu człowieka

KOMÓRKA	TKANKA	NARZĄD	UKŁAD NARZĄDÓW	ORGANIZM
podstawowa jednostka budulcowa i funkcjonalna organizmu	zespół komórek o podobnej budowie i wspólnym pochodzeniu, pełniący określone funkcje	zespół tkanek wyspecjalizowanych w pełnieniu określonych funkcji	zespół narządów współdziałających przy wykonywaniu danej czynności	współdziałające układy narządów, tworzące funkcjonalną całość

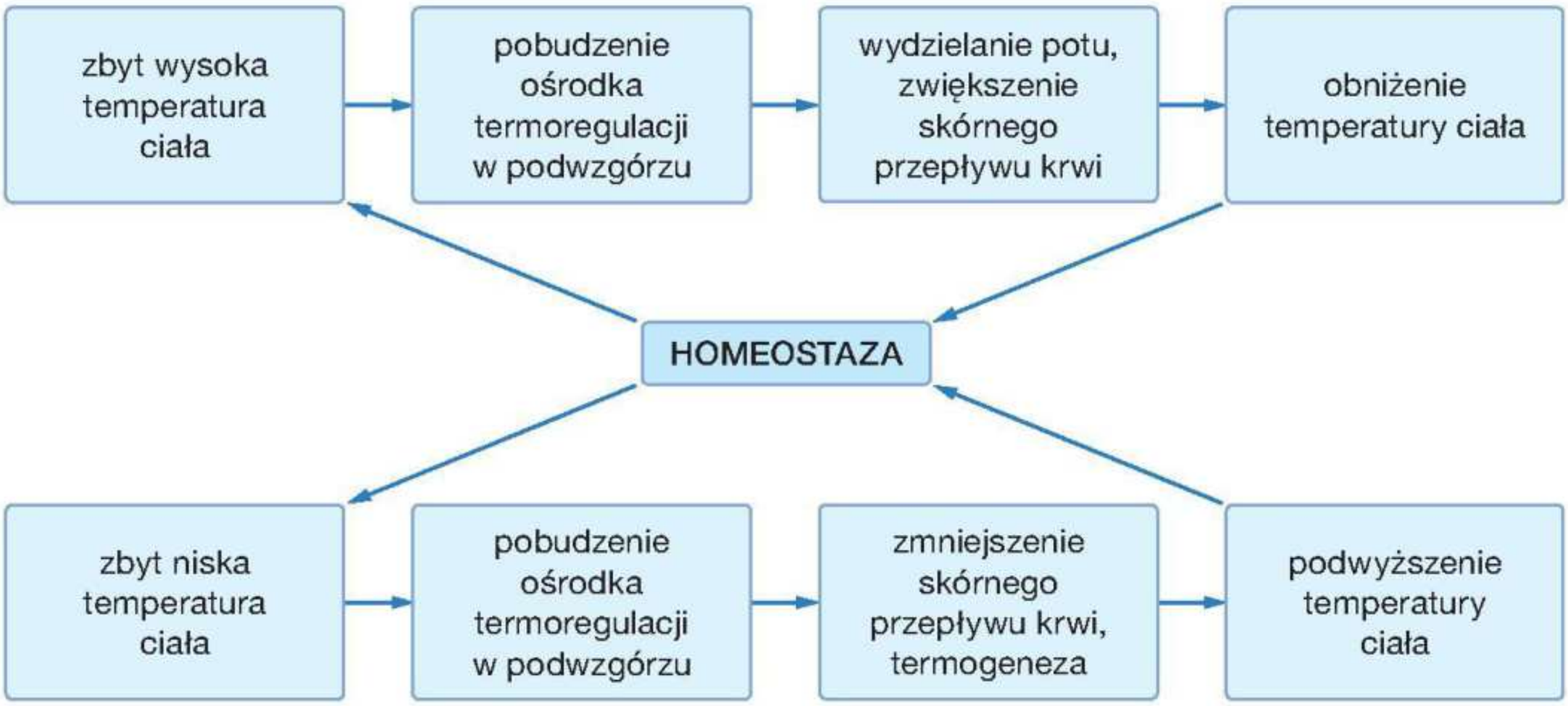
3 Układy narządów człowieka i ich funkcje

Rodzaj układu narządów	Funkcje
Układ powłokowy (skóra)	• Chroni przed infekcjami i urazami mechanicznymi. • Odpowiada za odbieranie bodźców ze środowiska zewnętrznego. • Uczestniczy w termoregulacji.
Układ szkieletowy (bierna część układu ruchu)	• Utrzymuje ciężar ciała i nadaje ciału kształt. • Stanowi przyczep dla mięśni. • Ochrania narządy wewnętrzne. • Magazynuje sole mineralne.
Układ mięśniowy (czynna część układu ruchu)	• Odpowiada za poruszanie się. • Umożliwia pracę narządów wewnętrznych.
Układ pokarmowy	• Odpowiada za pobieranie, trawienie i wchłanianie pokarmu. • Umożliwia usuwanie niestrawionych resztek pokarmu.
Układ oddechowy	• Zapewnia wymianę gazową.
Układ krwionośny	• Transportuje różne substancje. • Pomaga w utrzymaniu temperatury ciała. • Odpowiada za reakcje obronne organizmu.
Układ limfatyczny	• Odpowiada za reakcje obronne organizmu. • Transportuje tłuszcze.
Układ moczowy	• Odpowiada za wydalanie niektórych produktów przemiany materii, np. mocznika. • Odpowiada za osmoregulację.
Układ nerwowy	• Zapewnia reakcję na bodźce odbierane ze środowiska. • Koordynuje pracę narządów wewnętrznych.
Układ hormonalny	• Reguluje procesy życiowe za pomocą hormonów.
Układ rozrodczy	• Umożliwia rozmnażanie się. • Zapewnia wytwarzanie komórek płciowych. • Odpowiada za wykształcenie zewnętrznych cech płciowych.

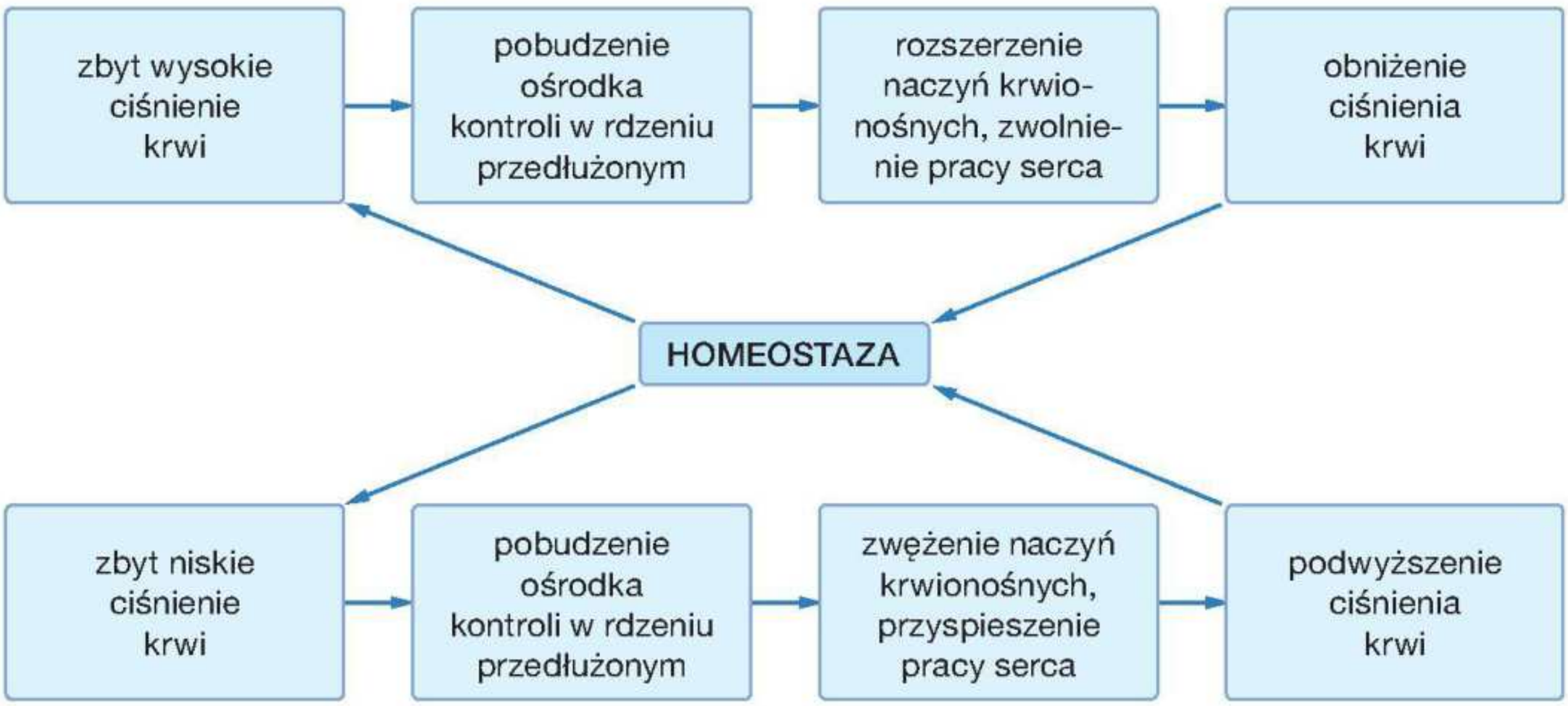
4 **Homeostaza** – zdolność organizmu do utrzymywania względnie stałych warunków środowiska wewnętrznego. Za homeostazę odpowiadają mechanizmy homeostatyczne.

5 **Przykłady działania mechanizmów homeostatycznych**

Termoregulacja



Regulacja poziomu ciśnienia krwi



Osmoregulacja

Osmoregulacja polega na utrzymywaniu równowagi wodno-mineralnej w organizmie oraz właściwego składu płynów ustrojowych, np. krwi i limfy.

6 **Rytm dobowy** – rytm biologiczny spowodowany ruchem obrotowym Ziemi i wynikającymi z niego okresami światła i ciemności. Wyznacza on zmiany zachodzące w organizmie w ciągu doby – takie jak zmiany: temperatury ciała, ciśnienia krwi, wydzielania hormonów, działania autonomicznego układu nerwowego – a także sekwencje snu i czuwania.

Sposób na zadania

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Diagram przedstawia klasyfikację rzędu naczelnych, do którego należy m.in. człowiek.



a) Określ, czy rodzina człowiekowatych jest taksonem monofiletycznym czy taksonem parafiletycznym. Odpowiedź uzasadnij, odnosząc się do informacji zawartych na diagramie.

b) Poniższe stwierdzenia dotyczą cech charakterystycznych naczelnych. Zaznacz T, jeśli dana cecha występuje u wszystkich grup naczelnych, lub N – jeśli pojawia się tylko u niektórych z nich.

1.	Obecność kości ogonowej.	T	N
2.	Dobrze rozwinięty zmysł wzroku.	T	N
3.	Zdolność abstrakcyjnego myślenia.	T	N

c) Spośród podanych cech człowieka wybierz i zaznacz tę, która nie występuje u innych naczelnych. Podaj znaczenie przystosowawcze tej cechy.

A. Masywne kręgi lędźwiowe.
B. Zredukowane owłosienie.
C. Przeciwstawny kciuk.
D. Palce osłonięte paznokciami.

d) Oceń prawdziwość stwierdzenia: „Pazury lemura i paznokcie człowieka są tworami analogicznymi". Odpowiedź uzasadnij.

Wskazówki

Podpunkt a)

1. Przypomnij sobie, jakie rodzaje taksonów wyróżnia się w obecnie obowiązującej systematyce. Informację na ten temat znajdziesz w podręczniku do klasy 2 na s. 29.
2. Zastanów się, jakie są różnice między poszczególnymi taksonami. Informacja ta znajduje się w podręczniku do klasy 2 na s. 29.
3. Określ kryterium wyodrębniania poszczególnych rodzajów taksonów.
4. Porównaj schematy, które znajdują się w podręczniku do klasy 2 na s. 29, z diagramem przedstawionym we wstępie do zadania.
5. Zastanów się, do którego taksonu należy rodzina człowiekowatych. Weź pod uwagę kryterium określone przez Ciebie w punkcie 3.
6. Sformułuj odpowiedź.

Podpunkt b)

1. Przypomnij sobie wiadomości dotyczące cech charakterystycznych rzędu naczelnych oraz taksonów wyodrębnianych w obrębie tego rzędu. Informacje na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 6–9.
2. Na podstawie zgromadzonych informacji oceń, które z wymienionych w tabeli cech występują u wszystkich grup należących do rzędu naczelnych, a które – tylko u części z nich. Zaznacz odpowiednią literę w każdym wierszu tabeli.

Podpunkt c)

1. Przypomnij sobie unikatowe cechy człowieka, które wyróżniają go spośród innych przedstawicieli rzędu naczelnych. Informacje na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 8.
2. Przeanalizuj cechy wymienione w zadaniu. Na podstawie zgromadzonych informacji wskaż tę cechę, która występuje tylko u człowieka.
3. Zaznacz poprawną odpowiedź.
4. Zastanów się, jakie jest znaczenie wskazanej przez Ciebie cechy. Pomocne w udzieleniu odpowiedzi na to pytanie będą wiadomości, które znajdziesz w podręczniku na s. 8.
5. Sformułuj odpowiedź.

Podpunkt d)

1. Przypomnij sobie wiadomości dotyczące ewolucji kończyn u naczelnych. Informację na ten temat znajdziesz w podręczniku s. 7.
2. Przypomnij sobie wiadomości dotyczące narządów analogicznych i narządów homologicznych. Informacje na ten temat znajdziesz w podręczniku do klasy 2 na s. 26 i 28.
3. Na podstawie zgromadzonych informacji oceń, czy pazury i paznokcie są narządami analogicznymi czy narządami homologicznymi.
4. Sformułuj odpowiedź.

Zadania powtórzeniowe

WYKONAJ W ZESZYCIE

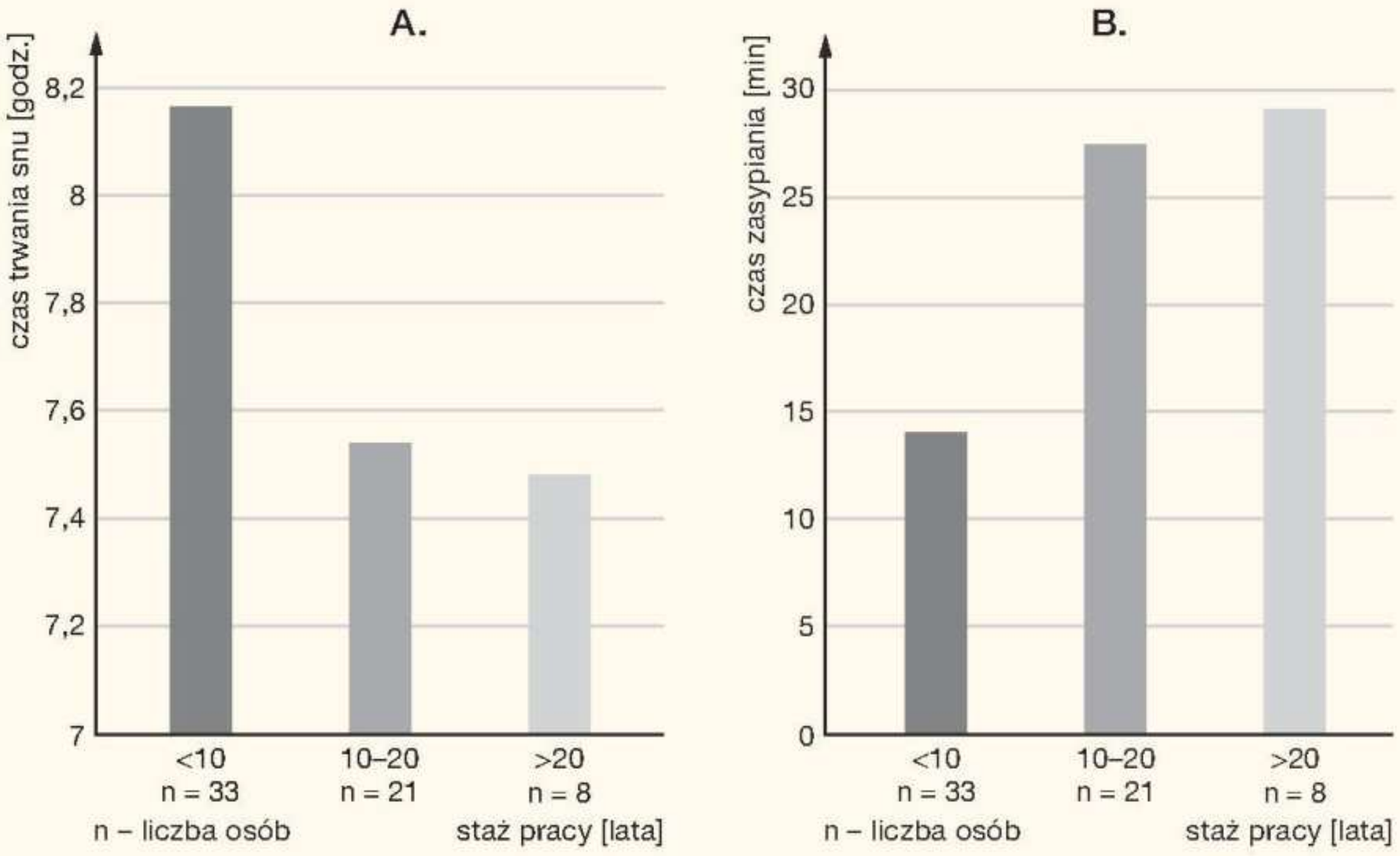
1 Mięśnie potrzebują do pracy energii, która jest uwalniana głównie podczas oddychania tlenowego. Substratami tego procesu są związki organiczne, przede wszystkim glukoza, oraz tlen. Aby trafiły one do komórek mięśniowych, niezbędna jest współpraca trzech różnych układów narządów.

a) Wymień nazwy <u>trzech</u> układów narządów współpracujących przy pobieraniu i dostarczaniu substratów oddychania tlenowego do komórek mięśniowych.

b) Podaj nazwę produktu oddychania tlenowego, który stanowi nośnik energii niezbędnej do pracy mięśni.

c) Podaj nazwy <u>dwóch</u> układów narządów, które regulują pracę wszystkich innych narządów ciała.

2 Praca zmianowa wiąże się z wykonywaniem regularnych zajęć poza zwyczajowo przyjętymi godzinami pracy dziennej (między 7.00 a 18.00). Wykresy przedstawiają czas trwania snu (A) i czas zasypiania (B) u 62 kontrolerów ruchu lotniczego w zależności od stażu pracy zmianowej. Są one efektem badań przeprowadzonych metodą ankietową.



Na podstawie: K. Kwarecki, K. Zużewicz, *Charakterystyka snu i dobowego wzoru aktywności lokomotorycznej u pracowników zmianowych, nocnych*, „Medycyna Pracy" 2002, 53 (1), s. 79–84.

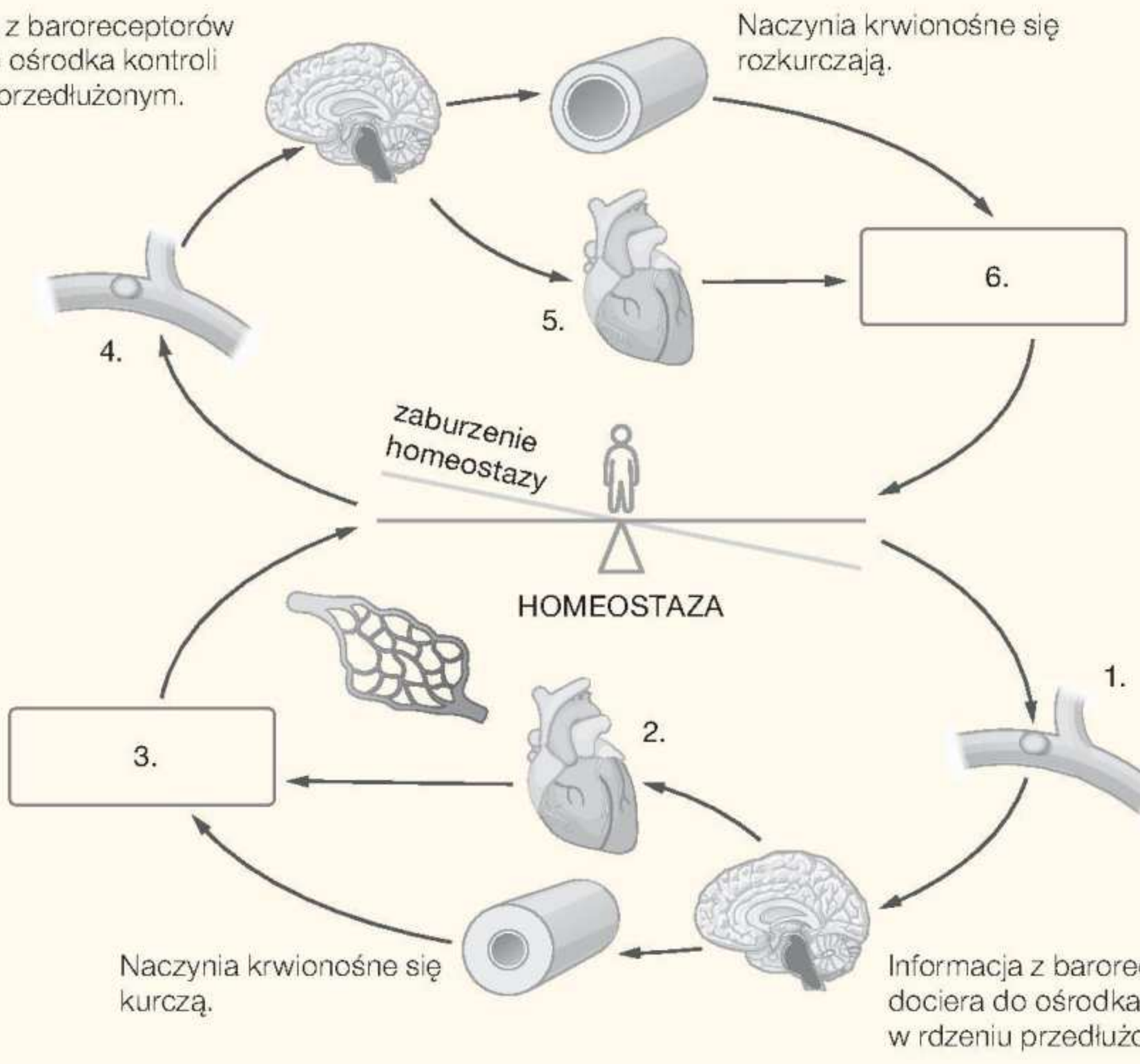
a) Sformułuj problem badawczy do badania, którego wyniki przedstawiono na wykresie A.

b) Sformułuj wniosek dotyczący wpływu długości stażu pracy na czas zasypiania kontrolerów ruchu lotniczego, którzy pracują w systemie zmianowym.

c) Wyjaśnij, dlaczego pracownicy zmianowi mają problemy z zasypianiem. W odpowiedzi uwzględnij działanie mechanizmu zegara biologicznego oraz nazwę hormonu, który koordynuje jego pracę.

d) Podaj lokalizację zegara biologicznego w organizmie człowieka.

3 Schemat przedstawia regulację ciśnienia krwi na zasadzie ujemnego sprzężenia zwrotnego.



a) Uzupełnij poniższe opisy tak, aby zawierały prawdziwe informacje dotyczące przedstawionych na schemacie etapów regulacji ciśnienia krwi. Wybierz właściwe określenia spośród podanych.

1. Baroreceptory w tętnicach rejestrują *spadek / wzrost* ciśnienia krwi.
2. *Spada / wzrasta* tempo pracy serca.
3. Ciśnienie krwi *podwyższa / obniża* się.
4. Baroreceptory w tętnicach rejestrują *spadek / wzrost* ciśnienia krwi.
5. *Spada / wzrasta* tempo pracy serca.
6. Ciśnienie krwi *podwyższa / obniża* się.

b) Na przykładzie schematu wyjaśnij, na czym polega ujemne sprzężenie zwrotne w mechanizmach homeostatycznych.

c) Wyjaśnij, dlaczego zarówno zbyt niskie, jak i zbyt wysokie ciśnienie krwi wpływa niekorzystnie na funkcjonowanie organizmu człowieka.

2. Układ powłokowy

2.1. Układ powłokowy u zwierząt
2.2. Budowa i funkcje skóry
2.3. Higiena i choroby skóry

Fot. Skóra człowieka (mikrofotografia elektronowa).



2.1. Układ powłokowy u zwierząt

Zwróć uwagę na:
- rodzaje i funkcje pokrycia ciała u zwierząt,
- związek między budową a funkcją skóry kręgowców.

Powłoka ciała stanowi zewnętrzną warstwę organizmu zwierzęcia. Oddziela tkanki i narządy wewnętrzne od otoczenia, a jednocześnie zapewnia wnętrzu ciała kontakt ze środowiskiem zewnętrznym.

Funkcje powłoki ciała

Powłoka ciała pełni następujące funkcje:
- umożliwia utrzymanie homeostazy, czyli względnie stałych warunków środowiska wewnętrznego organizmu, ponieważ izoluje wnętrze ciała od wpływu czynników zewnętrznych,
- zabezpiecza przed urazami mechanicznymi,
- chroni przed wnikaniem do organizmu substancji chemicznych,
- zapobiega wnikaniu do organizmu drobnoustrojów chorobotwórczych,
- chroni przed szkodliwym promieniowaniem (np. UV),
- pozwala na odbiór informacji – dzięki obecności receptorów,
- uczestniczy w formowaniu kształtu zwierząt – zwłaszcza u tych grup, które mają szkielet hydrauliczny (m.in. pierścienice) lub zewnętrzny (m.in. stawonogi).

Powłoki ciała zwierząt bezkręgowych

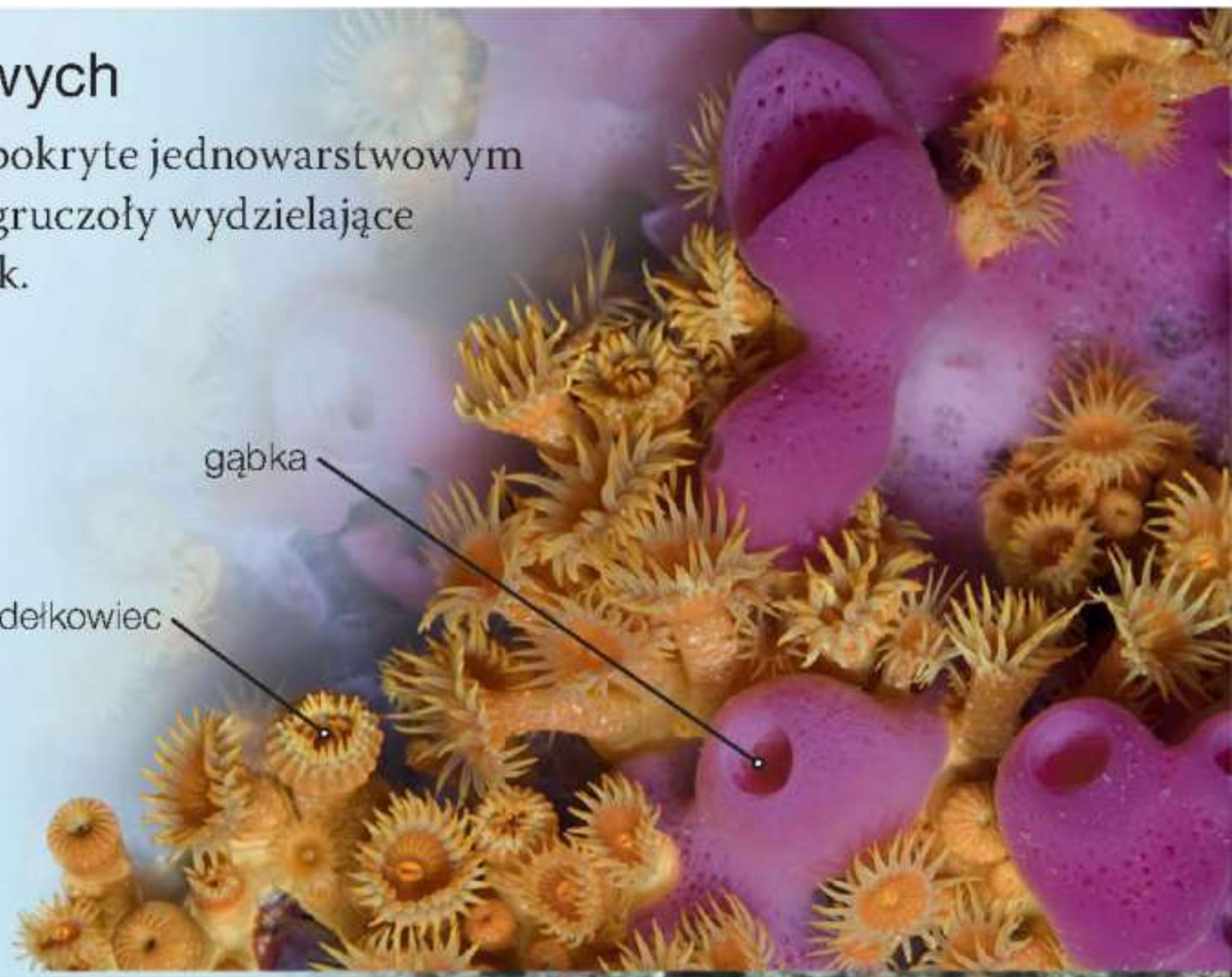
Ciało większości zwierząt bezkręgowych jest pokryte jednowarstwowym nabłonkiem. W nabłonku znajdują się często gruczoły wydzielające śluz lub substancje, z których powstaje oskórek.

Pinakoderma

Występuje u **gąbek**. Jest zbudowana z komórek okrywających – pinakocytów. Są one wieloboczne, płaskie i mają zdolność kurczenia się.

Epiderma

Występuje u **parzydełkowców**. Jest zbudowana głównie z komórek nabłonkowo-mięśniowych. Ponadto występują w niej komórki nerwowe, zmysłowe, interstycjalne i parzydełkowe.



Wór powłokowo-mięśniowy

Występuje u **płazińców**, **nicieni**, **pierścienic** oraz **mięczaków**. Składa się z nabłonka oraz mięśni, które mogą tworzyć kilka warstw o odmiennym ułożeniu włókien. U wolno żyjących płazińców nabłonek ma liczne rzęski, które ułatwiają poruszanie się. U nicieni i pierścienic wytworem nabłonka jest białkowy oskórek o funkcji ochronnej. Z kolei u wielu gatunków mięczaków nabłonek wytwarza wapienną muszlę – stanowi ona szkielet zewnętrzny oraz pełni funkcję ochronną.



Niektóre funkcje powłoki ciała zależą od środowiska życia zwierzęcia. U zwierząt słodkowodnych powłoka ta ogranicza wnikanie wody do wnętrza ciała, a u zwierząt morskich i lądowych – chroni organizm przed odwodnieniem.

U części zwierząt, przede wszystkim pasożytniczych, powłoka ciała jest na tyle cienka, że umożliwia pobieranie ze środowiska składników odżywczych oraz usuwanie z organizmu zbędnych i szkodliwych produktów przemiany materii. Z kolei u pewnych zwierząt wodnych (np. wieloszczetów i rozgwiazd) wyrostki powłoki ciała służą do wymiany gazowej.

U niektórych zwierząt, zwłaszcza owadów, powłoka ciała wytwarza narządy świetlne, które służą m.in. do wabienia ofiar lub partnerów do rozrodu. Narządy te mają zwykle postać gruczołów wytwarzających związek chemiczny – lucyferynę. W procesie utleniania lucyferyny powstaje światło. Powłoka ciała pełni także funkcje obronne (u wirkokształtnych wytwarza rabdity) oraz ochronne (chroni pasożyty przewodu pokarmowego przed strawieniem). Natomiast u ptaków i ssaków umożliwia zachowanie stałej temperatury ciała.



Do owadów wykazujących bioluminescencję należą m.in. chrząszcze z rodzaju *Pyrophorus*.



Nabłonek pokryty oskórkiem

Występuje u wrotków i stawonogów.

- **U wrotków** syncytialny nabłonek pokryty jest od zewnątrz elastycznym oskórkiem. U wielu gatunków oskórek wytwarza w części tułowiowej sztywny pancerz, do którego mogą być wciągane pozostałe, miękkie części ciała. Niektóre wrotki osiadłe są dodatkowo okryte galaretowatymi otoczkami.



- **U stawonogów** wytworem nabłonka jest gruby, sztywny oskórek, zbudowany przede wszystkim z chityny. Oskórek jest niemal nieprzepuszczalny dla wody i gazów, odznacza się również dużą odpornością na urazy mechaniczne oraz działanie substancji chemicznych. Poza funkcją ochronną pełni też funkcję szkieletu zewnętrznego, ponieważ od wewnątrz przyczepione są do niego mięśnie.



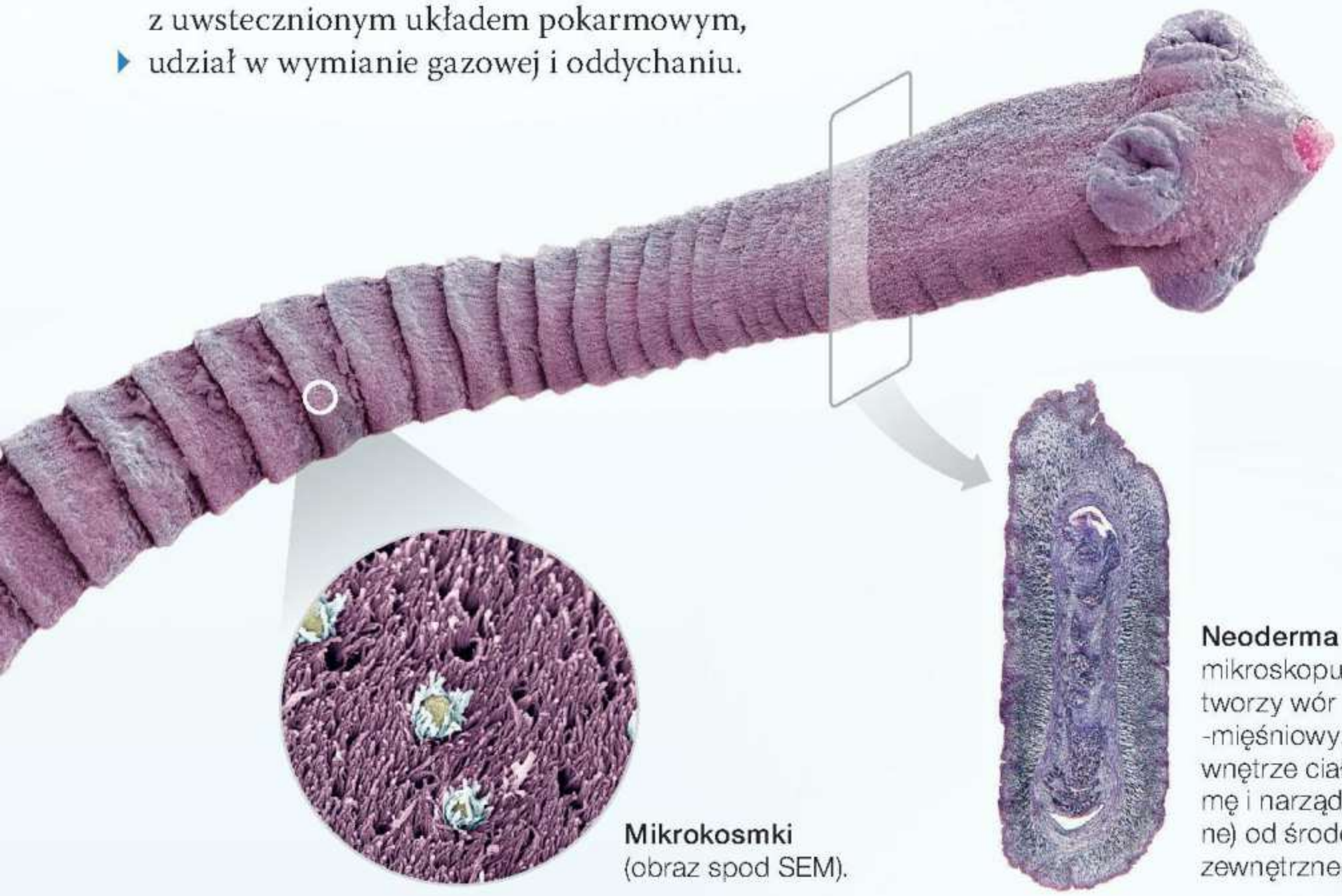
Powłoka ciała u szkarłupni

Ciało szkarłupni jest pokryte nabłonkiem o budowie komórkowej lub syncytialnej. Pod nim znajduje się warstwa tkanki łącznej, w której rozwinął się mezodermalny szkielet wewnętrzny, zbudowany z wapiennych płytek. Kolejnymi warstwami są słabo rozwinięte mięśnie oraz orzęsiony nabłonek celomatyczny.

Neoderma

Neoderma, zwana również integumentem, to powłoka ciała występująca u pasożytniczych płazińców, np. tasiemców i przywr. Cechuje się ona skomplikowaną budową, a do jej funkcji należą m.in.:

- ochrona przed enzymami trawiennymi gospodarza,
- pobieranie pokarmu, zwłaszcza u gatunków z uwstecznionym układem pokarmowym,
- udział w wymianie gazowej i oddychaniu.

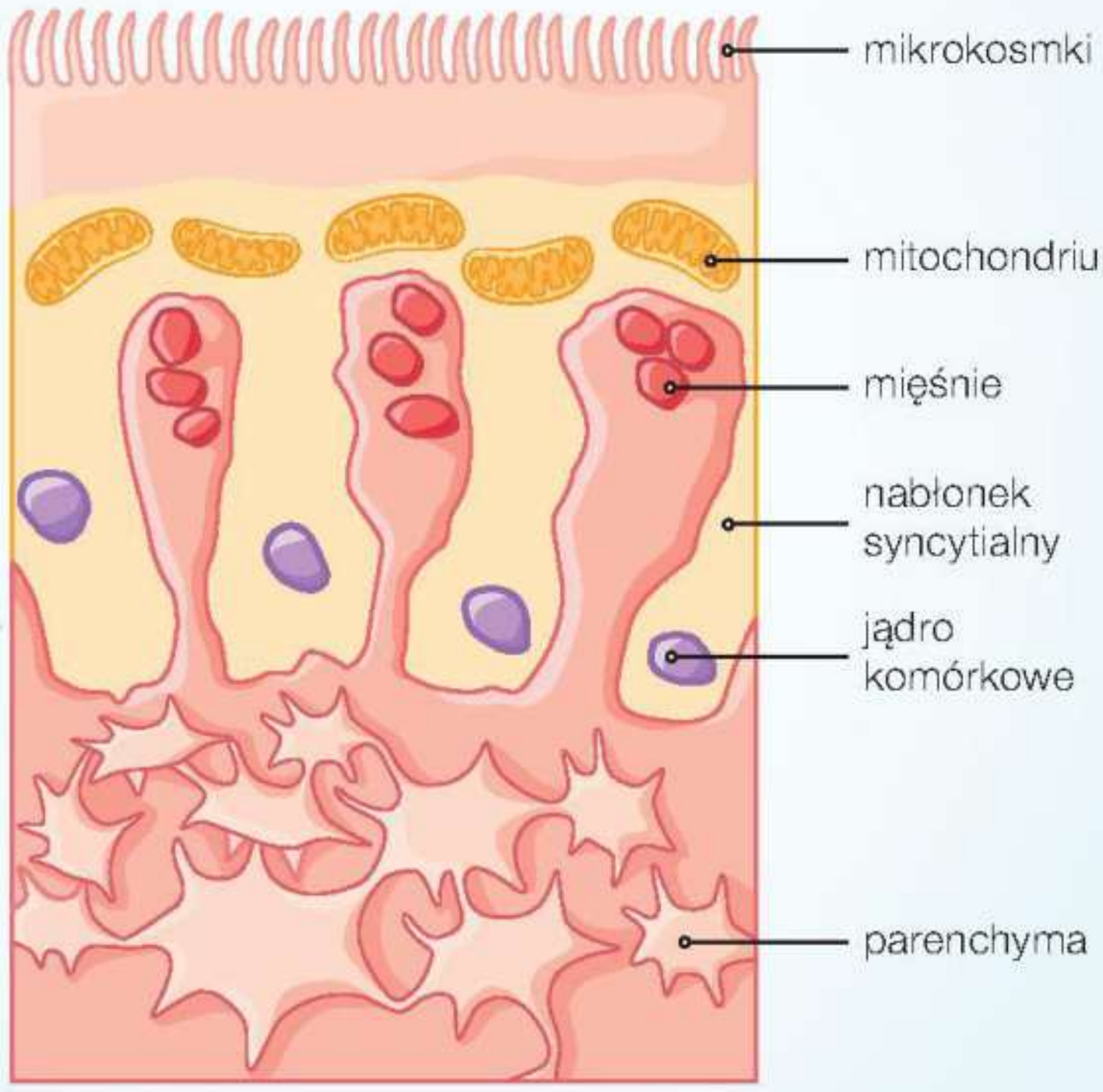


Mikrokosmki (obraz spod SEM).

Neoderma (obraz spod mikroskopu optycznego) tworzy wór powłokowo-mięśniowy, oddzielający wnętrze ciała (parenchymę i narządy wewnętrzne) od środowiska zewnętrznego.

Budowa neodermy

W neodermie komórki nabłonka zlewają się ze sobą, tworząc syncytium ograniczone z obu stron błonami komórkowymi. Zewnętrzna część syncytium zawiera liczne organelle, m.in. mitochondria, siateczkę śródplazmatyczną i aparaty Golgiego. Wytwarza ona również liczne palczaste wypustki – mikrokosmki – które zwiększają powierzchnię chłonną powłoki ciała. Na zewnętrznej powierzchni syncytium znajduje się glikokaliks, który chroni ciało pasożytów przed enzymami trawiennymi gospodarza oraz przed uszkodzeniami mechanicznymi. Część wewnętrzna nabłonka syncytialnego, zawierająca jądra komórkowe, jest zanurzona w parenchymie wypełniającej pierwotną jamę ciała. Pod warstwą nabłonka tasiemców znajdują się mięśnie okrężne i podłużne.



Budowa neodermy.

Powłoki ciała strunowców

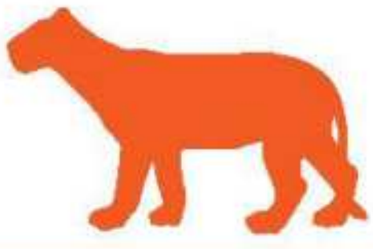
U strunowców powłoki ciała są bardziej zróżnicowane niż u bezkręgowców. Osłonice i bezczaszkowce mają jednowarstwowy nabłonek, pod którym znajduje się warstwa tkanki łącznej. U osłonic nabłonek wydziela substancję tworzącą osłonę ciała – tunikę.

Ciało kręgowców pokrywa **skóra**, która składa się z **naskórka** (nabłonka wielowarstwowego) i leżącej pod nim **skóry właściwej** (zbudowanej z tkanki łącznej). Skóra pełni wiele funkcji, m.in. zabezpiecza organizm przed urazami oraz wnikaniem drobnoustrojów chorobotwórczych. Zapewnia również homeostazę, czyli względną stałość warunków środowiska wewnętrznego organizmu. Naskórek wytwarza gruczoły (np. śluzowe u ryb czy potowe u ssaków) oraz struktury rogowe zbudowane z białka keratyny (np. pióra u ptaków lub włosy u ssaków). Z kolei wytworami skóry właściwej są łuski ryb oraz poroże ssaków (np. jeleni).



Ciało osłonic pokrywa galaretowata osłona, zwana tuniką, która jest zbudowana z polisacharydu – tunicyny. Tunicyna ma skład chemiczny zbliżony do celulozy.

Pokrycie ciała kręgowców

Gromada	Pokrycie ciała	Wytwory naskórka	Wytwory skóry właściwej
Ryby 	Skóra cienka, pokryta łuskami i śluzem.	gruczoły śluzowe	łuski
Płazy 	Skóra cienka, naga, pokryta śluzem.	gruczoły: śluzowe, jadowe	–
Gady 	Skóra gruba, sucha, z silnie zrogowaciałym naskórkiem.	twory rogowe: łuski, tarczki, płytki, pazury, listwy	–
Ptaki 	Skóra cienka, pozbawiona gruczołów (wyjątkiem jest gruczoł kuprowy).	twory rogowe: pióra, łuski, pazury, dziób	–
Ssaki 	Skóra gruba, ma złożoną budowę. Zewnętrzne warstwy naskórka są zrogowaciałe i stale się łuszczą.	twory rogowe: włosy, pazury, paznokcie, kopyta, łuski, rogi, fiszbiny, płytki; gruczoły: łojowe, potowe, zapachowe, mlekowe	poroże (np. u jeleni)

Skóra – powłoka ciała kręgowców

Skóra składa się z naskórka, czyli nabłonka wielowarstwowego, oraz ze skóry właściwej, zbudowanej z tkanki łącznej.

Ryby

Skóra ryb składa się z cienkiego naskórka i znacznie grubszej skóry właściwej. W naskórku znajdują się liczne gruczoły śluzowe, których wydzielina zmniejsza tarcie podczas pływania, oraz komórki barwnikowe wpływające na ubarwienie ciała. Skóra właściwa jest bardzo wytrzymała dzięki dużej zawartości włókien kolagenowych. U większości ryb jej wytworami są łuski, które pełnią funkcję ochronną.



Łuski ryb (obraz spod SEM) są wytworami skóry właściwej.

Płazy

Skóra płazów jest naga i cienka. U większości gatunków pokrywa ją śluz produkowany przez gruczoły śluzowe pochodzenia naskórkowego. Śluz odgrywa rolę rozpuszczalnika gazów, ułatwia więc wymianę gazową. Zmniejsza również tarcie podczas pływania, a na lądzie zabezpiecza ciało przed utratą wody. W skórze płazów znajdują się także gruczoły jadowe, których wydzielina pełni funkcję obronną lub obezwładnia ofiary. O ubarwieniu płazów decydują komórki barwnikowe skóry. Ubarwienie pełni funkcje ochronne – głównie maskujące lub odstraszające.



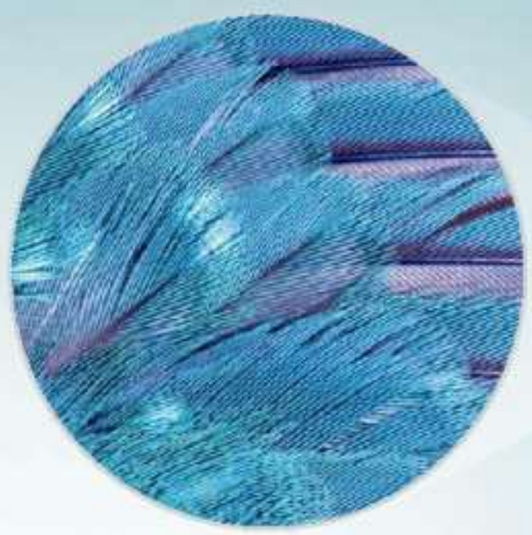
Gruczoły śluzowe płazów (obraz spod mikroskopu optycznego) są wytworami naskórka.

Gady

Ciało gadów jest pokryte grubą i suchą skórą, w której występują nieliczne gruczoły zapachowe, służące np. do przywabiana innych osobników. Silnie zrogowaciały naskórek tworzy łuski, tarczki lub płytki rogowe. Jego wytworami są także pazury osłaniające ostatnie odcinki palców oraz rogowe listwy, które u żółwi zastępują zęby. Naskórek i jego wytwory chronią organizm przed utratą wody oraz urazami mechanicznymi. W skórze znajdują się również komórki barwnikowe warunkujące ubarwienie gadów. Pełni ono funkcje ochronne, przede wszystkim maskujące lub odstraszające.



Łuski gadów (obraz spod SEM) są wytworami naskórka.



Ptaki

Skóra ptaków jest cienka i pokryta piórami – rogowymi wytworami naskórka – które umożliwiają lot oraz uczestniczą w termoregulacji. Wytworami naskórka są również rogowe łuski występujące na kończynach, pazury oraz dziób. Skóra ptaków nie zawiera gruczołów. Wyjątkiem jest znajdujący się u nasady ogona gruczoł kuprowy, który wytwarza wydzielinę natłuszczającą pióra i zabezpieczającą je przed zmoczeniem.

Pióra ptaków są wytworami naskórka.

Ssaki

Skóra ssaków jest gruba. Naskórek składa się z kilkudziesięciu warstw komórek, a jego charakterystycznymi wytworami są włosy. Włosy pełnią m.in. funkcję ochronną, termoizolacyjną, a także czuciową (wibrysy). Do wytworów naskórka należą również: pazury, paznokcie, kopyta, łuski, rogi oraz fiszbiny. W skórze właściwej znajdują się liczne gruczoły łojowe, potowe i zapachowe, a u samic – także mlekowe. Są one wytworami naskórka, podobnie jak twory rogowe.



Włosy ssaków (obraz spod SEM) są wytworami naskórka.

Polecenia kontrolne

1. Wymień funkcje powłoki ciała zwierząt.
2. Podaj różnice w budowie powłoki ciała bezkręgowców i kręgowców.
3. Opisz budowę i funkcje skóry ssaka.
4. Wymień cechy wspólne w budowie powłok ciała wszystkich gromad kręgowców.
5. Wymień wytwory skóry właściwej i naskórka kręgowców.

2.2. Budowa i funkcje skóry

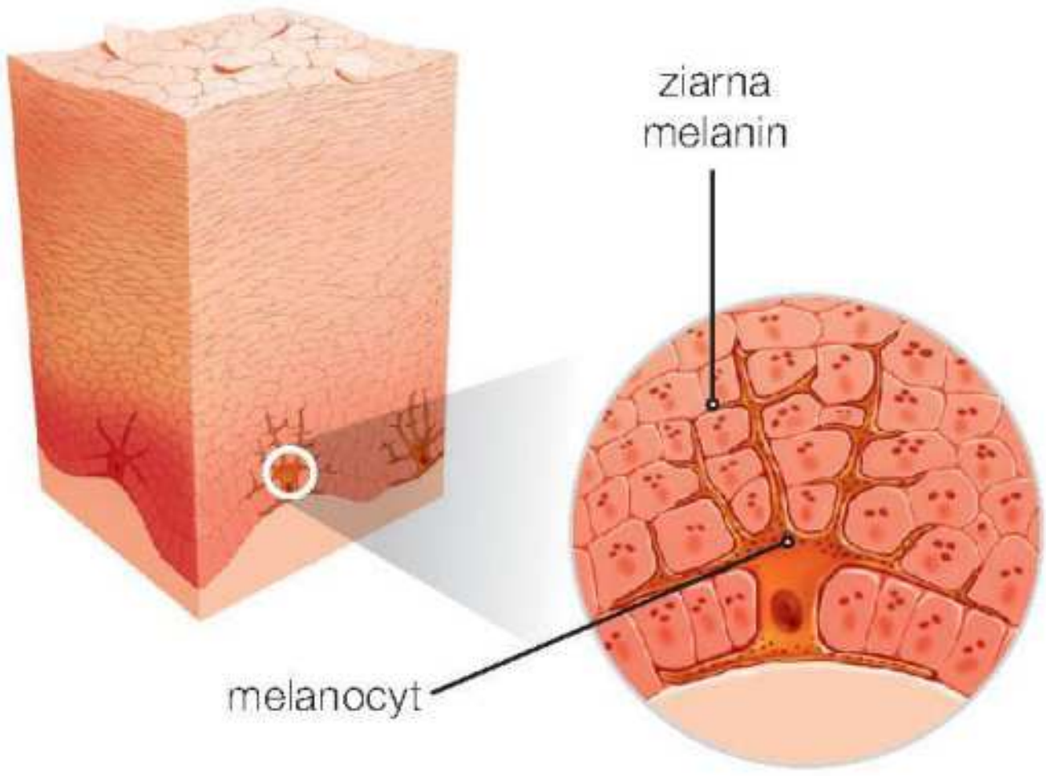
Zwróć uwagę na:
- związek pomiędzy budową a funkcjami skóry,
- wytwory naskórka: włosy, paznokcie i gruczoły,
- rolę skóry w termoregulacji, odbiorze bodźców oraz syntezie witaminy D_3.

Skóra jest największym narządem organizmu człowieka. U osób dorosłych stanowi ona ok. 15% masy ciała i ma powierzchnię ok. 2 m^2. Dzięki swojej budowie skóra chroni organizm przed utratą wody oraz wpływem czynników zewnętrznych, takich jak promieniowanie UV, zmiany temperatury, drobnoustroje chorobotwórcze czy toksyny. Narząd ten pełni także funkcje wydalnicze oraz wydzielnicze, dzięki czemu przyczynia się do utrzymania homeostazy organizmu.

Budowa skóry

Skóra w zależności od okolicy ciała ma różną grubość. Najcieńsza jest na powiekach, najgrubsza – na dłoniach i podeszwach stóp.

Zewnętrzną warstwą skóry jest naskórek, pod którym znajduje się wewnętrzna warstwa, czyli skóra właściwa. **Naskórek jest nabłonkiem wielowarstwowym płaskim rogowaciejącym**. Jego komórki tworzą dwie wyraźne warstwy: powierzchniową – zrogowaciałą – i głębszą – rozrodczą. **Warstwę zrogowaciałą** budują martwe, płaskie komórki, które złuszczają się w kontakcie ze środowiskiem zewnętrznym. Ich struktura i ścisły układ utrudniają wnikanie w głąb skóry drobnoustrojów chorobotwórczych i toksycznych związków chemicznych. W warstwie zrogowaciałej oraz pod nią znajdują się hydrofobowe **glikolipidy**, które zabezpieczają przed przenikaniem wody z tkanek do środowiska zewnętrznego oraz w przeciwnym kierunku. Komórki naskórka zawierają także swoiste białka – **keratyny** – które, podobnie jak glikolipidy, są nieprzepuszczalne dla wody oraz zapewniają skórze znaczną wytrzymałość mechaniczną. Komórki warstwy zrogowaciałej systematycznie złuszczają się, ale są wciąż zastępowane nowymi komórkami, powstającymi w głębiej położonej części naskórka, czyli w **warstwie rozrodczej**. Komórki tej warstwy dzielą się mitotycznie, a powstałe komórki potomne stopniowo przesuwają się ku powierzchni naskórka i rogowacieją. Taka migracja trwa średnio 20–30 dni. Warstwa rozrodcza naskórka zawiera komórki barwnikowe – **melanocyty** – które produkują **melaniny**. Są to barwniki powstające z aminokwasu – tyrozyny – odpowiadające za zabarwienie skóry. Gęstość rozmieszczenia melanocytów w naskórku zależy od miejsca na ciele, przy czym barwniki te nie występują w skórze dłoni i podeszwy stóp. Do melanin występujących w skórze należą czerwona feomelanina i czarna eumelanina. Ilość tych barwników wzrasta pod wpływem promieniowania ultrafioletowego. Ich zadaniem jest ochrona skóry przed szkodliwym wpływem tego promieniowania. **Wytworami naskórka są włosy, paznokcie oraz gruczoły łojowe, potowe i mlekowe**.



Melanocyty znajdujące się w naskórku wytwarzają barwniki – melaniny.

Skóra właściwa to warstwa skóry grubsza od naskórka (1–3 mm), zbudowana głównie z **tkanki łącznej włóknistej**. Jej zasadniczym elementem są włókna kolagenowe i włókna elastynowe, które nadają skórze wytrzymałość oraz sprężystość, a tym samym zapewniają odporność na ucisk i rozciąganie. Jednak – pomimo elastyczności – w warunkach zbyt silnego rozciągania (np. podczas gwałtownego wzrostu, tycia lub ciąży) włókna te mogą ulec zerwaniu, przez co tworzą się rozstępy. Zwykle wyróżnia się dwie warstwy skóry właściwej:

- **warstwę brodawkową** – zbudowaną z tkanki łącznej włóknistej luźnej. Występują w niej liczne uwypuklenia nazywane brodawkami, które zwiększają powierzchnię styku tkanki łącznej z naskórkiem. Ułatwia to odżywianie naskórka, który nie ma własnego unaczynienia – tlen i substancje odżywcze są dostarczane jego komórkom dzięki naczyniom krwionośnym skóry właściwej za pośrednictwem błony podstawnej;
- **warstwę siatkowatą** – zbudowaną z tkanki łącznej właściwej zbitej, zawierającej liczne włókna kolagenowe i elastynowe.

W skórze właściwej biegną **naczynia krwionośne**, które oprócz funkcji transportowej pełnią też funkcję termoregulacyjną. Kiedy organizm jest zagrożony utratą ciepła, zmniejsza się przepływ krwi przez skórne naczynia krwionośne. Z kolei przegrzanie ciała powoduje zwiększenie przepływu krwi, co pozwala na oddanie nadmiaru ciepła do otoczenia. Skóra właściwa jest zaopatrzona w liczne **zakończenia nerwowe** (receptory) odbierające bodźce ze środowiska zewnętrznego. Są to receptory termiczne, a także receptory bólu, dotyku i ucisku. W skórze właściwej są również zagłębione niektóre wytwory naskórka: gruczoły łojowe, gruczoły potowe oraz włosy.

Tkanka podskórna

Pod skórą położona jest tkanka podskórna, zbudowana z **tkanki włóknistej luźnej** oraz **tkanki tłuszczowej żółtej**. Jest ona mocno związana ze skórą właściwą, jednak może się przesuwać względem leżących pod nią struktur. W tkance podskórnej znajdują się dolne odcinki korzeni włosów, części wydzielnicze gruczołów potowych, a także niektóre receptory. Grubość tkanki podskórnej zależy od stanu odżywienia człowieka, a także od wieku, płci i okolicy ciała. Na przykład u niemowląt rozmieszczenie tkanki tłuszczowej jest raczej równomierne, natomiast u osób w starszym wieku jest ono na ogół znacznie większe na brzuchu niż w innych okolicach ciała. Podściółka tłuszczowa stanowi zapas substancji odżywczych oraz chroni przed szkodliwym wpływem niskich temperatur i urazami mechanicznymi.

Linie papilarne

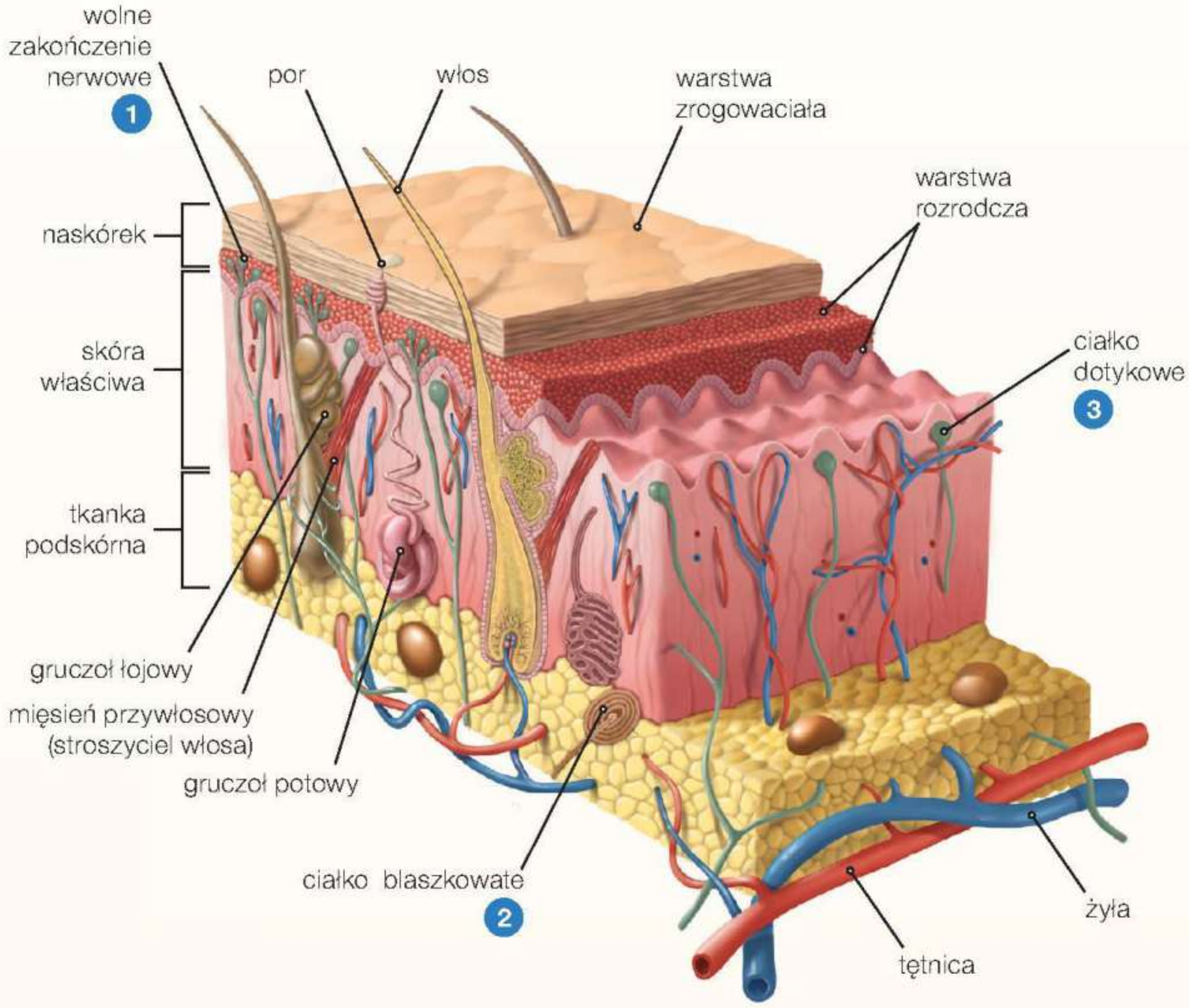
Linie papilarne to listewki skórne na powierzchni skóry dłoni i podeszwach stóp. Pomiędzy listewkami występują bruzdy. Sprawia to, że powierzchnia skóry jest nierówna, dzięki czemu zwiększa się chwytność palców. U człowieka linie papilarne tworzą się w okresie życia płodowego w wyniku kurczenia się gładkiej skóry opuszków palców. Ich układ jest unikatową cechą każdego człowieka, nawet bliźnięta jednojajowe mają różne konfiguracje listewek i bruzd. Z tego powodu linie papilarne służą do identyfikacji osób, m.in. przestępców lub ofiar wypadków.



W badaniu linii papilarnych wykorzystuje się technikę kryminalistyczną zwaną daktyloskopią.

Budowa skóry

Skórę tworzą naskórek i skóra właściwa. Pod nimi znajduje się tkanka podskórna zbudowana głównie z tkanki tłuszczowej żółtej. Skóra nazywana jest niekiedy narządem czucia powierzchniowego. Występują w niej receptory termiczne, receptory bólu oraz receptory dotyku i ucisku. Odbierają one bodźce ze środowiska zewnętrznego i mają postać wolnych zakończeń nerwowych lub struktur o bardziej złożonej budowie.





Receptory bólu mają postać wolnych zakończeń nerwowych. Są to nagie zakończenia dendrytów, które występują w naskórku i skórze właściwej.



Receptorami ucisku są ciałka blaszkowate zlokalizowane w głębszych warstwach skóry właściwej oraz w tkance podskórnej.



Receptorami dotyku są ciałka dotykowe, które występują najliczniej w skórze opuszków palców i warg. Znajdują się one w skórze właściwej.

Receptory w skórze

W skórze znajduje się olbrzymia liczba receptorów. Odbierają one bodźce docierające z otoczenia, przez co pozwalają odczuwać m.in. ciepło, zimno, dotyk czy ból. Receptory są rozmieszczone nierównomiernie. Miejsca, w których znajduje się ich najwięcej, są najbardziej wrażliwe na bodźce. Do takich obszarów należą m.in. opuszki palców.

Większość receptorów ma zdolność **adaptacji**. Oznacza to, że jeśli bodziec działa na organizm przez długi czas, to receptor przestaje odbierać o nim informacje. Zdolność adaptacji receptorów chroni organizm przed zbyt dużą liczbą informacji docierających z otoczenia. Nadmiar bodźców mógłby bowiem zakłócać funkcjonowanie ciała.

Obserwacja

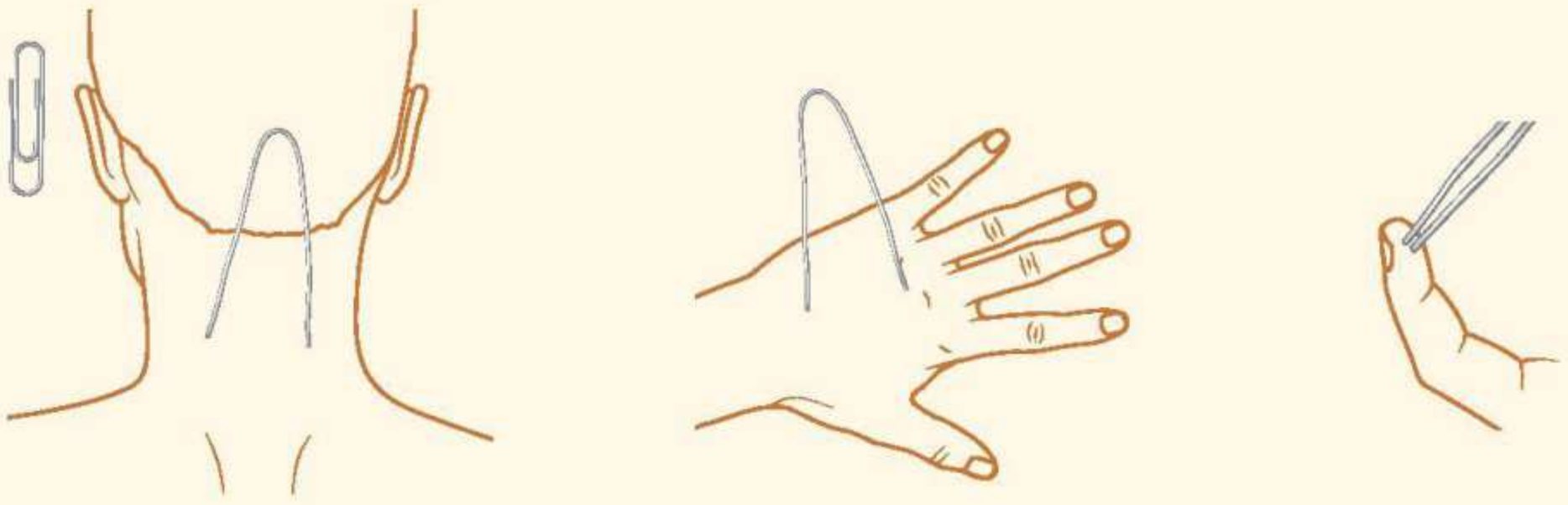
Badanie gęstości rozmieszczenia receptorów w skórze wybranych części ciała

- **Problem badawczy:** Czy skórne receptory dotyku są rozmieszczone nierównomiernie w różnych częściach ciała człowieka?
- **Hipoteza:** Gęstość rozmieszczenia receptorów dotyku w wybranych obszarach skóry dłoni oraz karku jest różna.
- **Przebieg obserwacji:**

  Przygotuj: drut o długości około 10 cm (np. duży spinacz) i linijkę. Będziesz również potrzebować pomocy jednej osoby, np. kolegi lub koleżanki z klasy.

  1. Zegnij drut na pół i rozstaw jego końcówki w odległości 6 cm. Następnie przyłóż do skóry na karku badanej osoby najpierw jedną końcówkę drutu, a potem obie końcówki.
  2. Zmniejsz odległość między końcówkami i ponownie w taki sam sposób dotknij skóry badanej osoby.
  3. Czynność powtarzaj do czasu, aż dotknięcie obiema końcówkami drutu będzie odczuwane jak dotknięcie jedną końcówką. Zapisz wynik.
  4. Powtórz obserwację na skórze górnej strony ręki oraz na opuszce palca.
  5. Oba wyniki zapisz w zeszycie.

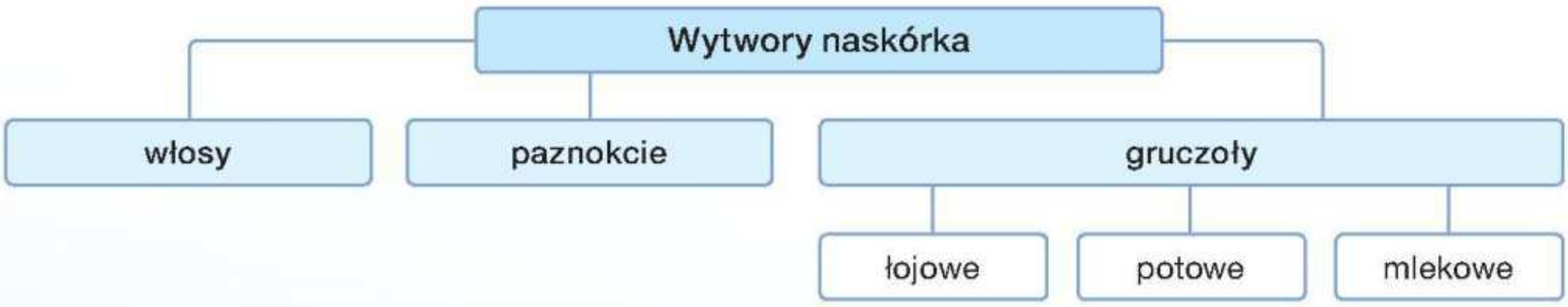
Sposób przeprowadzenia obserwacji



- **Wynik:** Każda z trzech zapisanych przez Ciebie odległości między końcówkami drutu odpowiada odległości między receptorami dotyku w skórze. Porównaj zapisane wyniki.
- **Wniosek:** Na podstawie trzech zapisanych wyników wyciągnij wniosek dotyczący rozmieszczenia receptorów dotyku w skórze człowieka w różnych częściach jego ciała.

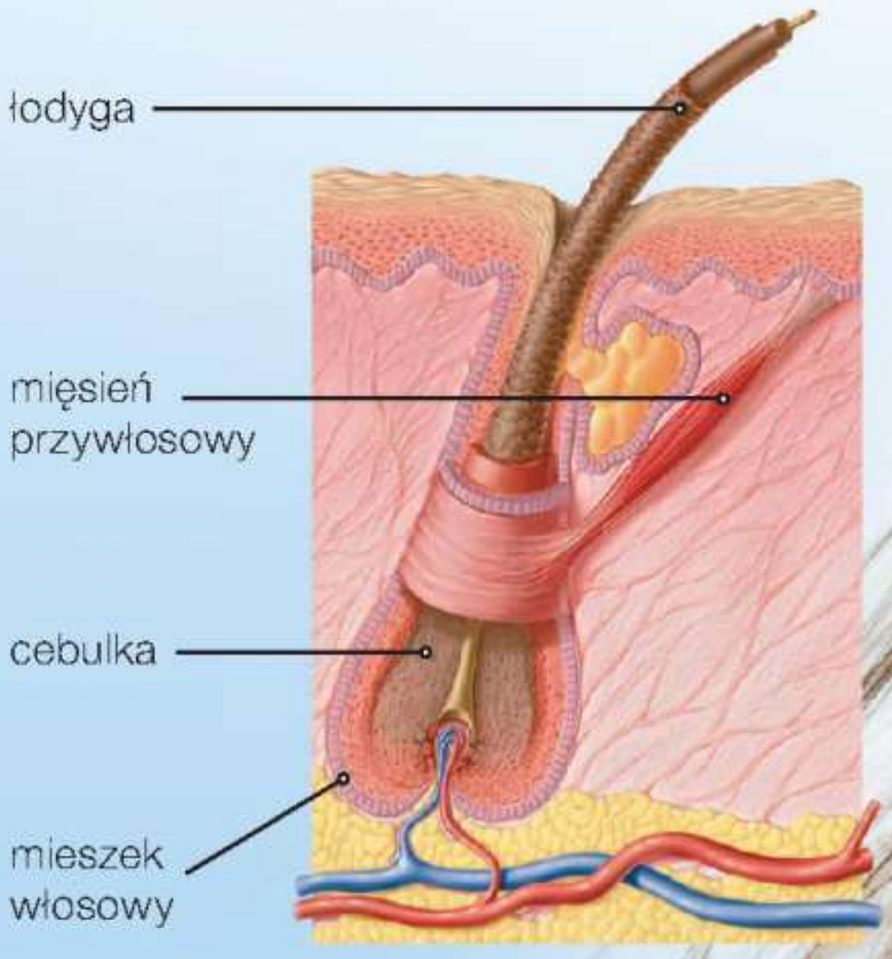
Wytwory naskórka

Wytwory naskórka to różne struktury, które powstają z komórek nabłonkowych i są głęboko umiejscowione w skórze właściwej. Zalicza się do nich włosy, paznokcie oraz gruczoły – potowe, łojowe i mlekowe.



Włosy

Są zbudowane z komórek wypełnionych keratyną (z wyjątkiem cebulki włosa). U człowieka występują w postaci szczątkowej, głównie na skórze głowy, w okolicach pach i łona. U innych ssaków pełnią funkcję termoregulacyjną.





Paznokcie

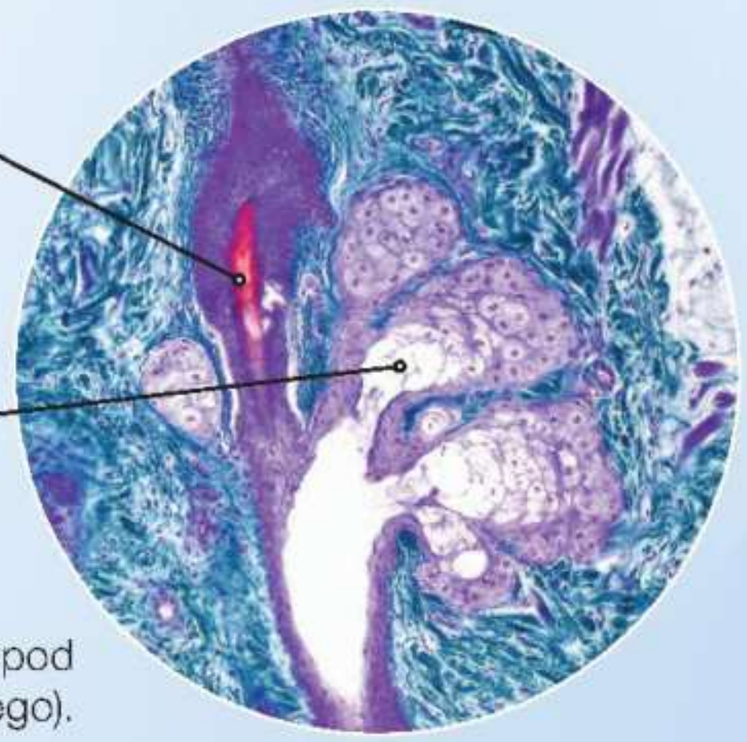
Są zbudowane głównie z płytki paznokciowej, której podstawowym budulcem jest keratyna. Ochraniają końcówki palców i wzmacniają odbiór wrażeń dotykowych przez opuszki palców.



Gruczoły

Gruczoły łojowe

Znajdują się przy ujściu mieszków włosowych. Ich wydzielina – łój – natłuszcza naskórek i włosy, przez co nadaje im elastyczność i chroni przed utratą wody. Ponadto łój ma działanie bakteriobójcze i grzybobójcze.



Gruczoł łojowy (zdjęcie spod mikroskopu optycznego).



Gruczoły potowe

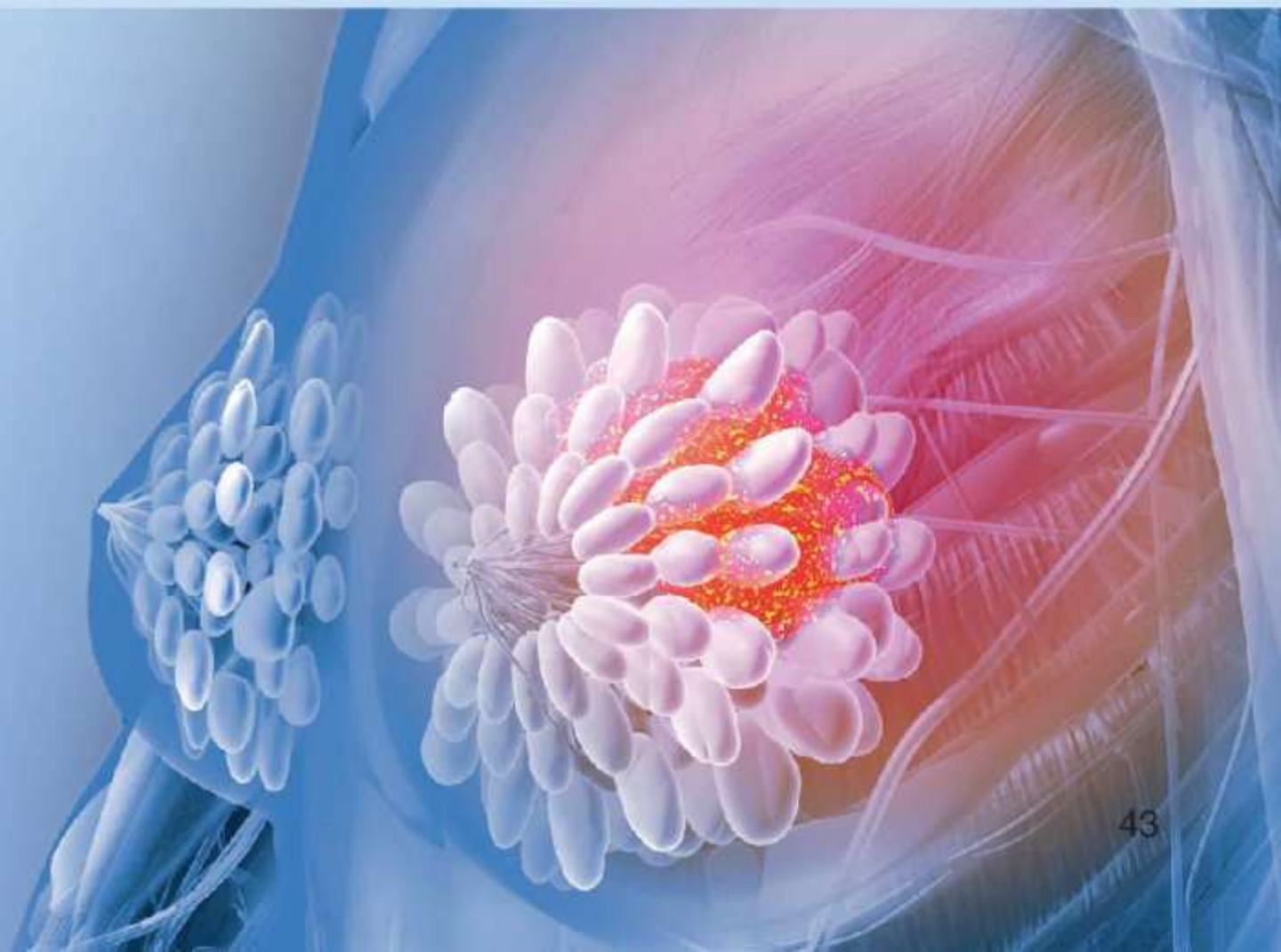
Są rozsiane po całym ciele, ale najliczniej występują w okolicy pach, na spodniej stronie stóp i dłoni oraz na czole. Wydzielają pot, który odgrywa ważną rolę w termoregulacji i wydalaniu zbędnych produktów przemiany materii, a także przeciwdziała rozwojowi chorobotwórczych bakterii i grzybów.



Gruczoł potowy (zdjęcie spod mikroskopu optycznego).

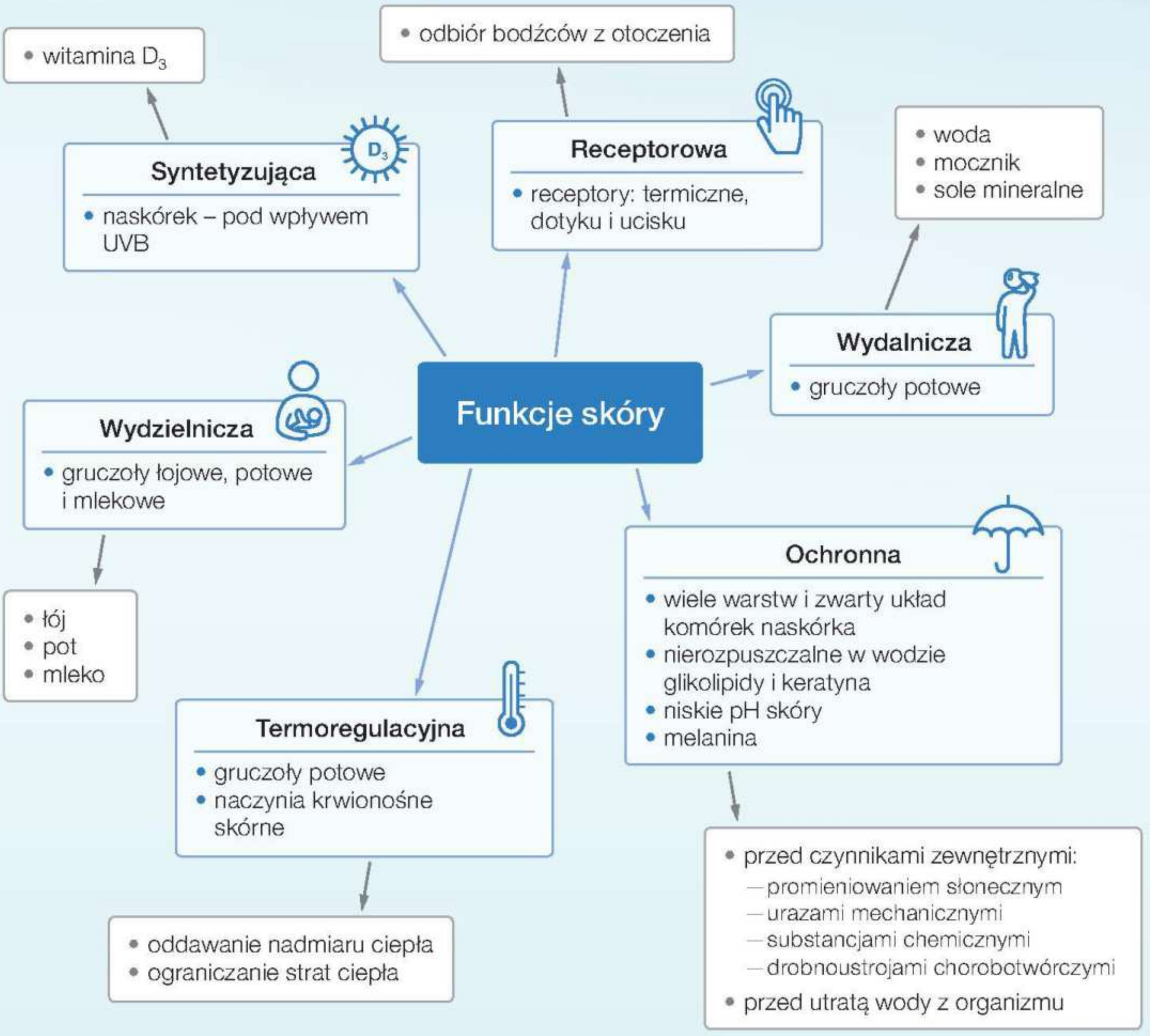
Gruczoły mlekowe

Są przekształconymi gruczołami potowymi. Wytwarzają mleko, które stanowi mieszaninę białek (w tym przeciwciał), tłuszczów, cukrów oraz witamin. Jest ono źródłem składników pokarmowych dla noworodków i niemowląt oraz wspomaga ich odporność. Gruczoły mlekowe są aktywne u kobiet po porodzie.



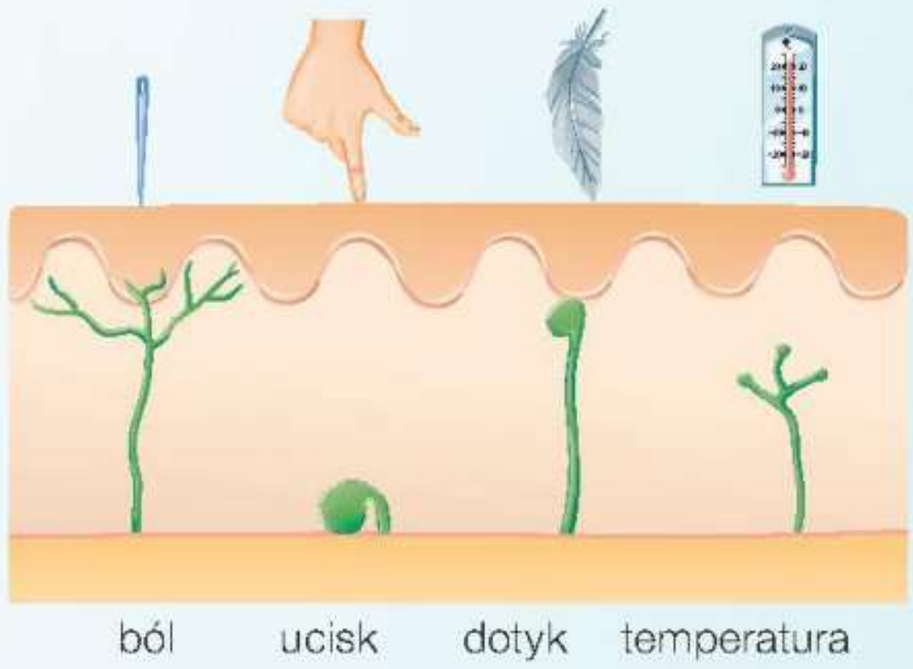
Funkcje skóry

Skóra pełni funkcje: ochronną, wydzielniczą, wydalniczą, syntetyzującą, receptorową i termoregulacyjną.



Funkcja receptorowa skóry

W skórze występują receptory: bólu (wolne zakończenia nerwowe), ucisku, dotyku, ciepła oraz zimna. Umożliwiają one odbiór informacji ze środowiska zewnętrznego, co pozwala na odpowiednią reakcję organizmu, np. w sytuacji zagrożenia.

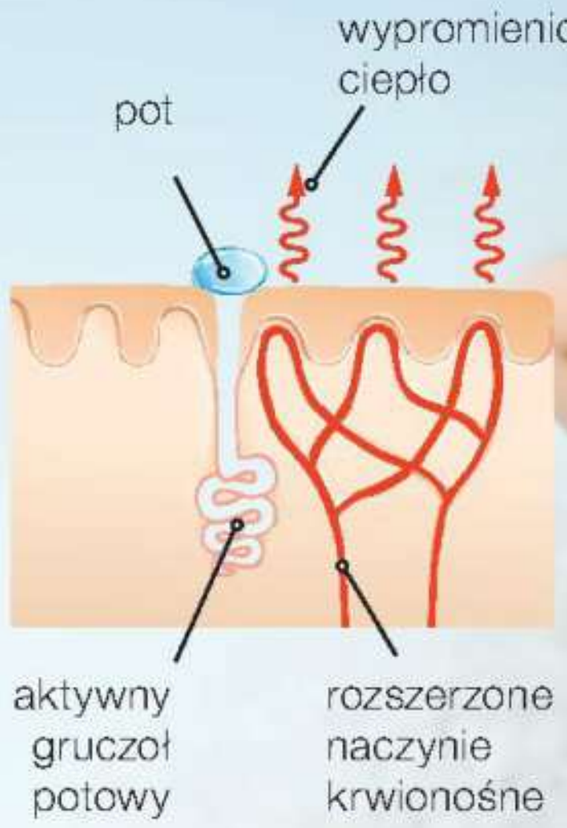


Udział skóry w termoregulacji

Skóra chroni organizm zarówno przed przegrzaniem, jak i przed wyziębieniem.

Ochrona przed przegrzaniem

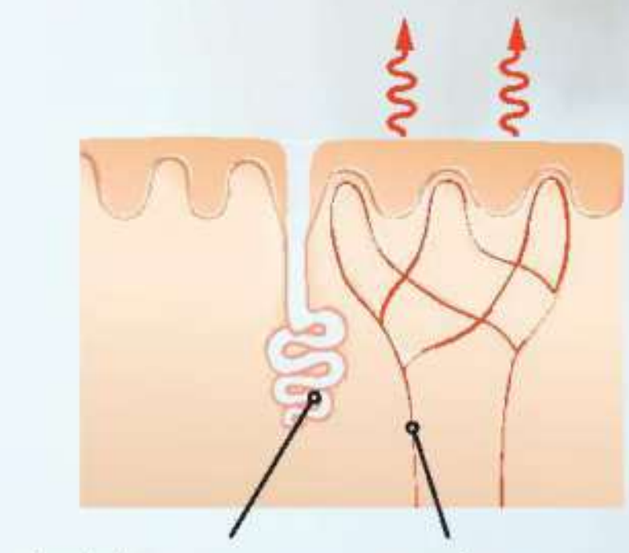
Kiedy w środowisku panuje zbyt wysoka temperatura, gruczoły potowe są aktywne i wydzielają pot, który paruje z powierzchni skóry i usuwa nadmiar ciepła z organizmu. Skórne naczynia krwionośne rozszerzają się, dzięki czemu przepływa przez nie większa ilość krwi, która oddaje nadmiar ciepła do otoczenia (głównie na drodze promieniowania).

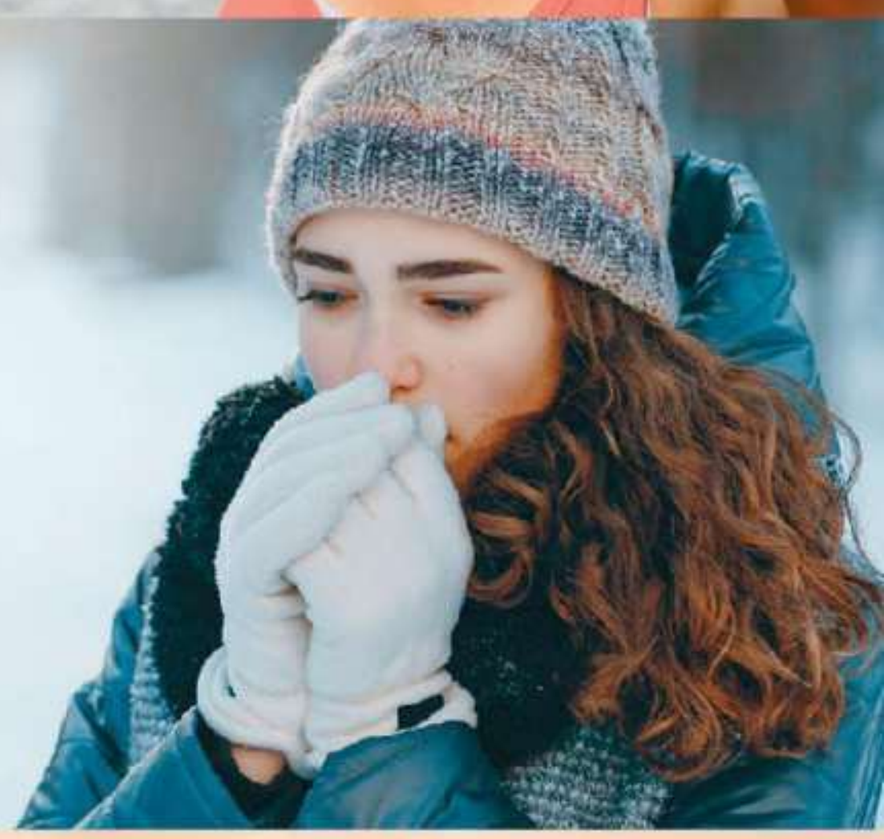




Ochrona przed wyziębieniem

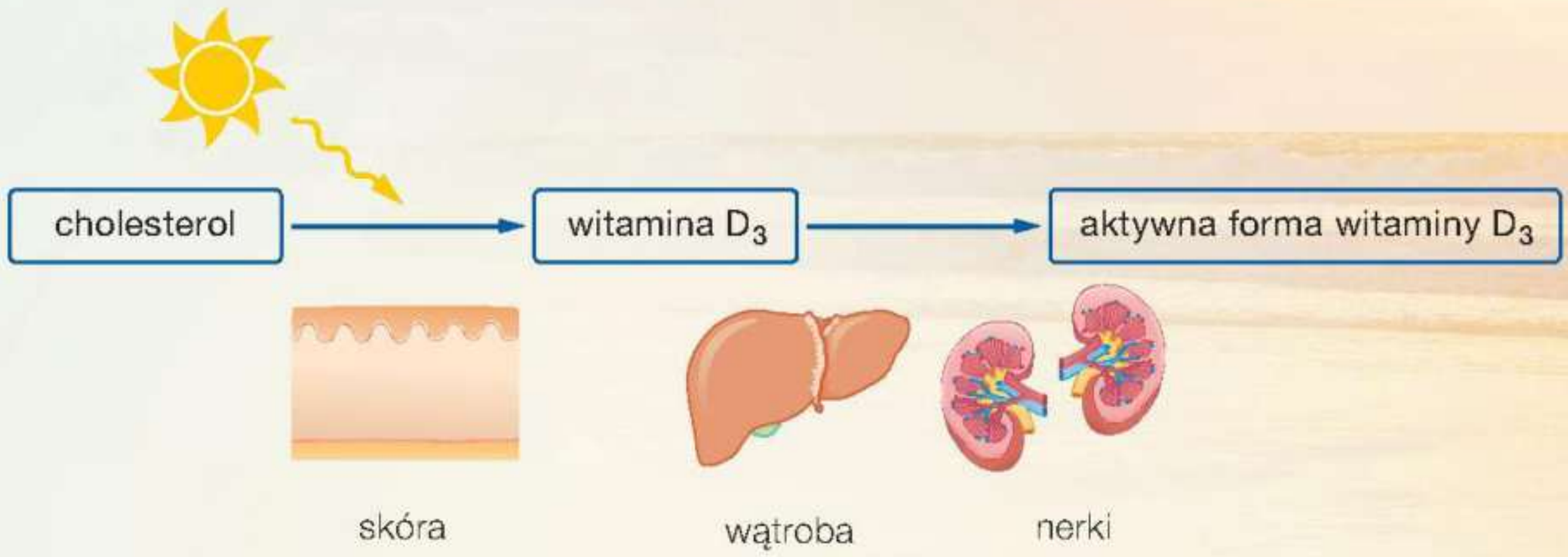
Kiedy w środowisku panuje zbyt niska temperatura, gruczoły potowe ograniczają wydzielanie potu. Skórne naczynia krwionośne kurczą się, dzięki czemu przepływa przez nie mniejsza ilość krwi. W efekcie organizm oddaje do otoczenia mniej ciepła.





Jak skóra syntetyzuje witaminę D_3?

W skórze, głównie w warstwie rozrodczej naskórka, pod wpływem światła słonecznego i ciepła pochodna cholesterolu ulega przemianie w nieaktywną witaminę D_3. Witamina ta jest transportowana do wątroby, a następnie do nerek, gdzie zostaje przekształcona w formę aktywną. Główną funkcją witaminy D_3 w organizmie jest pobudzanie wchłaniania jonów wapnia przez błonę śluzową jelit. Ocenia się, że ok. 80% potrzebnej organizmowi witaminy D_3 pochodzi właśnie z syntezy w skórze. Należy jednak pamiętać, że na syntezę witaminy D_3 przez skórę wpływają m.in.: pora roku, zachmurzenie i zanieczyszczenia powietrza, szerokość geograficzna, stosowanie kremów z filtrem, karnacja i wiek skóry.

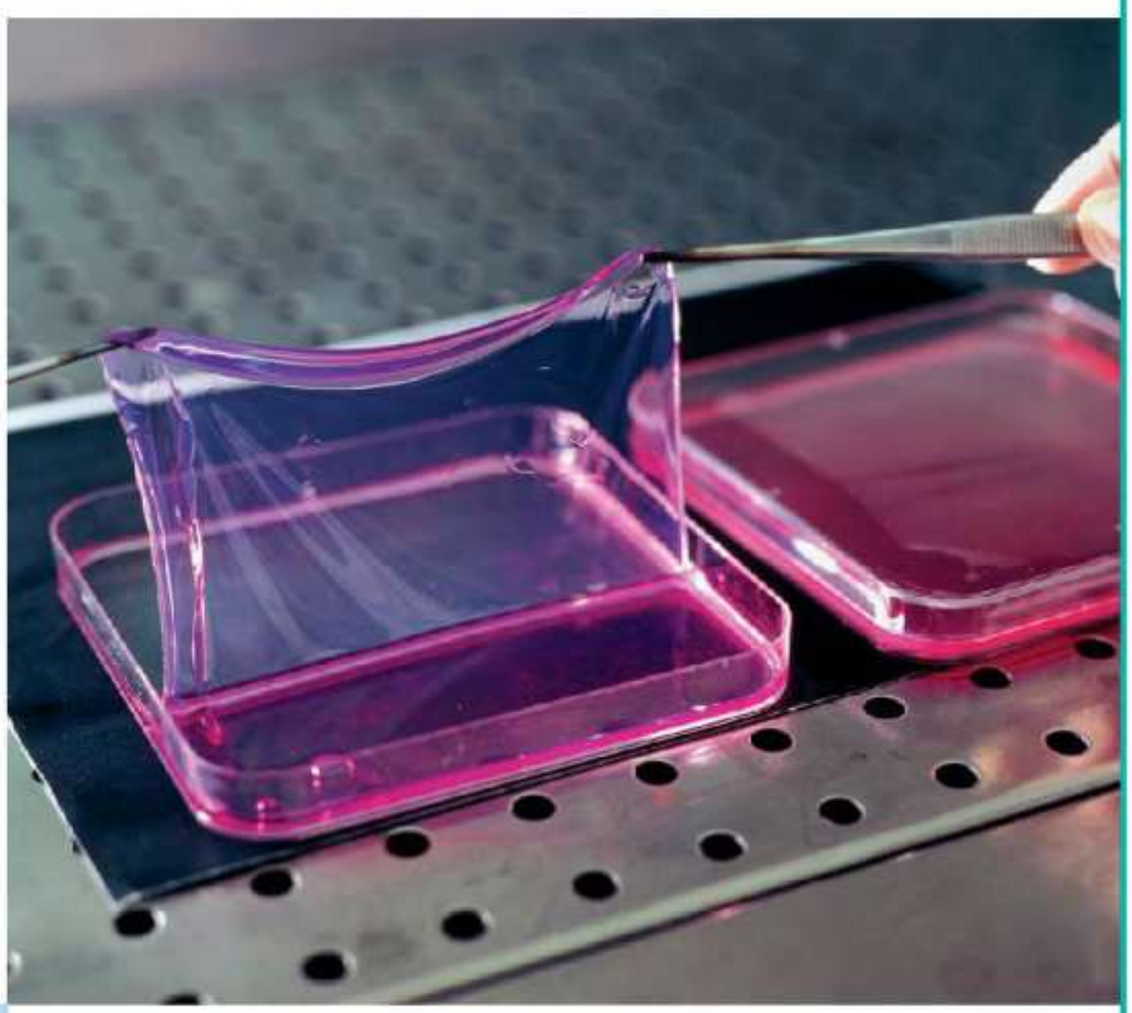


Dowiedz się więcej

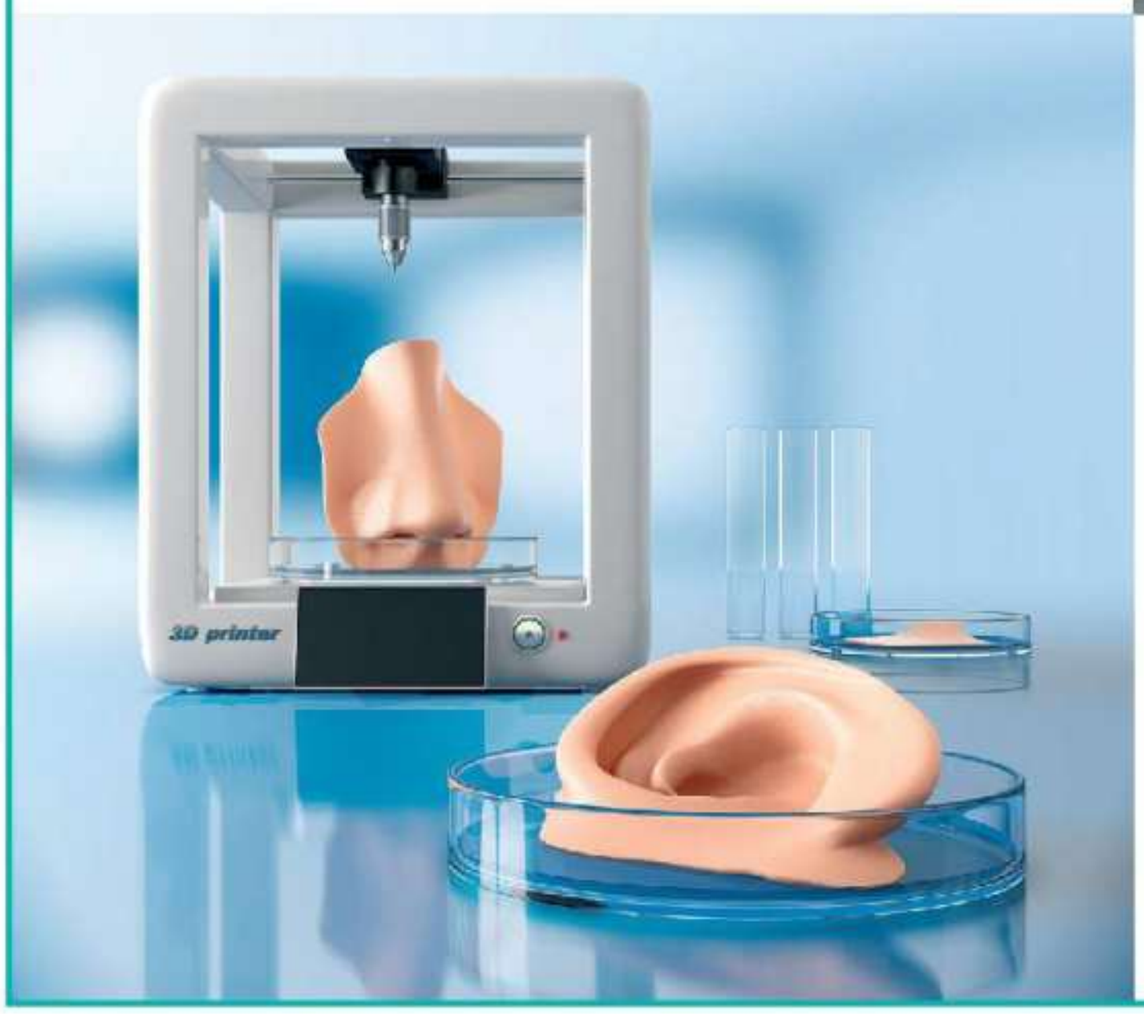
Przepis na „drugą skórę"

Pierwsze znane opisy operacji z przeszczepem skóry pochodzą z VI w. p.n.e. i dotyczą odtwarzania nosów u przestępców, którzy stracili je w wyniku kary obcięcia. Z czasem zauważono, że większe prawdopodobieństwo powodzenia zabiegu występuje wtedy, gdy dawca skóry i jej biorca to ta sama osoba. Gdy uszkodzenia były rozległe, problem stanowiło pobranie odpowiedniej ilości skóry do przeszczepu. Tak powstała myśl o wyprodukowaniu ludzkiej skóry w laboratorium. Obecnie jest to możliwe dzięki metodom inżynierii tkankowej.

Hodowle tkankowe to hodowle komórek, m.in. komórek skóry, prowadzone w warunkach laboratoryjnych. Do hodowli pobiera się komórki skóry lub komórki macierzyste pacjenta, które w specjalnych warunkach odtwarzają strukturę skóry. Naukowcy potrafią nawet dobrać odpowiedni odcień „drugiej skóry", tak by był on zgodny z karnacją pacjenta, oraz doprowadzić do wytworzenia podskórnych naczyń krwionośnych.



Skóra wyhodowana w laboratorium. W ciągu kilku dni od pobrania komórek od pacjenta w warunkach laboratoryjnych można wyhodować skórę wystarczającą do pokrycia ubytków o powierzchni kilkudziesięciu centymetrów kwadratowych.



Biodruk 3D jest technologią XXI w., która polega na drukowaniu narządów za pomocą specjalnej biodrukarki 3D. W ostatnich latach udało się wydrukować sztuczną skórę, która składa się z elementów skóry właściwej oraz naskórka. Jako materiału naukowcy użyli bioatramentu wyprodukowanego z osocza oraz komórek uzyskanych w wyniku biopsji skóry. Osiągnięcie to stanowi przełom w badaniach klinicznych nad przeszczepami skóry.

Możliwość drukowania narządów daje szansę na szybki rozwój medycyny regeneracyjnej, której celem jest m.in. wspomaganie gojenia się i regeneracji uszkodzonych tkanek.

Polecenia kontrolne

1. Wykaż związek pomiędzy budową a funkcjami skóry.
2. Opisz, w jaki sposób skóra zapewnia utrzymanie stałej temperatury ciała.
3. Wyjaśnij, w jaki sposób skóra odgrywa rolę narządu zmysłu.
4. Wymień dwa przykłady wytworów naskórka i opisz, jaka jest ich funkcja.
5. Wyjaśnij, w jaki sposób organizm wytwarza aktywną formę witaminy D_3.

2.3. Higiena i choroby skóry

Zwróć uwagę na:

- przyczyny i profilaktykę wybranych chorób skóry,
- związek między nadmierną ekspozycją na promieniowanie UV a starzeniem się skóry i ryzykiem rozwoju nowotworów,
- rolę skóry w syntezie witaminy D_3.

Skóra stanowi powłokę ciała człowieka, która oddziela wnętrze organizmu od środowiska zewnętrznego. Aby właściwie spełniała swoje funkcje ochronne, powinna być zdrowa i nieuszkodzona. Skóra jest jednak narażona na działanie wielu niekorzystnych czynników, takich jak drobnoustroje chorobotwórcze i promieniowanie UV, które mogą doprowadzić do rozwoju licznych chorób. Dziedziną medycyny, która zajmuje się chorobami skóry, jest **dermatologia**.

Higiena skóry

Kondycja skóry jest odzwierciedleniem stanu organizmu, a na jej wygląd oddziałuje wiele czynników, m.in. dieta. Na stan skóry pozytywnie wpływają: unikanie jedzenia ostrych potraw i dużych ilości słodyczy oraz częste spożywanie owoców i warzyw. Aby skóra była odpowiednio nawilżona i jędrna, warto pamiętać o piciu ok. 2 l wody dziennie, a także o stosowaniu kremów nawilżających z filtrami UV przed wyjściem na zewnątrz, zwłaszcza w słoneczne dni. Innymi czynnikami wpływającymi korzystnie na stan skóry są odpowiednia ilość snu (ok. 8 godz.) oraz częsta aktywność fizyczna. Ważne jest także noszenie ubrań wykonanych z naturalnych materiałów (np. bawełny czy lnu) i dostosowanych do panujących warunków atmosferycznych. Noszenie ubrań ze sztucznych tkanin może nasilać proces pocenia się, który jest szczególnie intensywny w okresie dojrzewania.

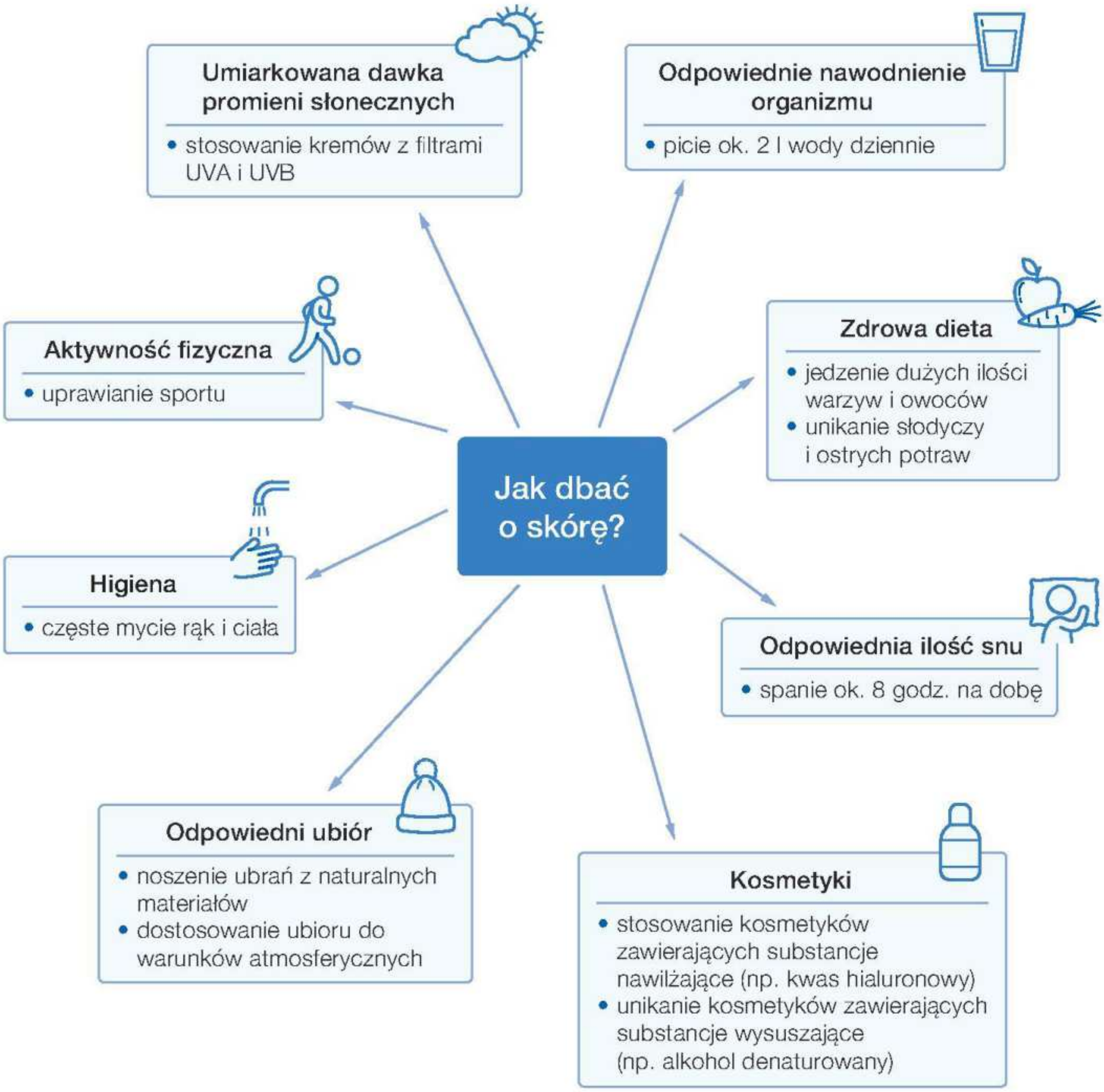
Mimo że wydzielina gruczołów potowych jest bezwonna, jej zapach może być nieprzyjemny, co wynika z działania bakterii. Z tego powodu powinno się często zmieniać ubrania, brać codziennie prysznic i stosować antyperspiranty. Ponadto na powierzchni skóry gromadzą się liczne zanieczyszczenia, złuszczony naskórek i miliony drobnoustrojów chorobotwórczych. Dlatego, aby zapobiec rozwojowi wielu chorób skóry, konieczne jest częste mycie rąk.

Czy wiesz, że...

Pierwszym lekarzem, który postulował konieczność mycia rąk, był Ignaz Semmelweis [wym. semelwajs]. To on w 1847 r. jako pierwszy powiązał wysoką śmiertelność kobiet chorych na gorączkę połogową z odbieraniem porodów przez lekarzy, którzy dokonywali tego zaraz po przeprowadzaniu sekcji zwłok, bez jakiejkolwiek dezynfekcji rąk.



Zdjęcie przedstawia kolonie drobnoustrojów, które wyrosły na podłożu mikrobiologicznym po dotknięciu go brudną dłonią. Szacuje się, że na dłoniach może występować nawet 4700 gatunków bakterii.



Wpływ promieniowania słonecznego na skórę

Promieniowanie ultrafioletowe (zakres fal elektromagnetycznych 10–400 nm) jest konieczne do wytwarzania w skórze człowieka witaminy D_3. Jednak zbyt duża ilość tego promieniowania (szczególnie w zakresie UVB) bywa groźna dla skóry – powoduje zmiany w strukturze DNA, co może prowadzić do mutacji i rozwoju nowotworów. Aby uchronić komórki przed jego niekorzystnym działaniem, skóra produkuje barwniki – melaniny – które mają zdolność pochłaniania promieniowania UV. Wydzielanie melanin zwiększa się po wystawieniu skóry na działanie promieniowania świetlnego, co jest widoczne w postaci opalenizny.

Czy wiesz, że...

Zbyt długie wystawianie głowy na działanie intensywnych promieni słonecznych może prowadzić do udaru słonecznego, dlatego warto chronić ją nakryciem w jasnym kolorze.

Biologia w **medycynie**

Metody diagnostyczne w dermatologii

W celu diagnozowania chorób skóry stosuje się różne metody, m.in. dermatoskopię i badanie histopatologiczne. Zmiany skórne mogą być także objawem zaburzeń hormonalnych (np. nadmiernego wydzielania hormonów płciowych) lub chorób ogólnoustrojowych (np. kiły), dlatego często przed postawieniem diagnozy konieczne jest wykonanie dodatkowych testów, np. badań krwi.

Dermatoskopia

Jest to metoda, za pomocą której można ocenić zmiany skórne bez pobierania wycinków tkankowych. Wykorzystuje się ją m.in. do oceny znamion barwnikowych i wykrywania zarażenia pasożytami, np. świerzbowcem ludzkim.



Dermatoskopię tradycyjnie wykonuje się za pomocą dermatoskopu, dzięki któremu można uzyskać odpowiednio oświetlony obraz skóry w ok. 10-krotnym powiększeniu.



Wideodermatoskopia służy do dokładnej analizy parametrów zmian skórnych, a także do wykonywania i archiwizowania ich zdjęć, co umożliwia monitorowanie zmian na skórze.

Badanie histopatologiczne

Do przeprowadzenia tego badania konieczne jest pobranie wycinka skóry, np. znamienia barwnikowego mającego cechy czerniaka. Wycięty fragment jest oceniany przez lekarza patomorfologa, który przygotowuje z niego preparat mikroskopowy i dokonuje jego dokładnej analizy pod mikroskopem. Dzięki temu można określić charakter zmiany, a także dopasować odpowiednie metody leczenia.

Badanie histopatologiczne pozwala na ocenę zmian chorobowych, które zaszły w tkance.

Wpływ nadmiaru promieniowania UV na skórę

Światło słoneczne odgrywa istotną rolę w procesie wytwarzania witaminy D_3, która pobudza błonę śluzową jelit do absorpcji jonów wapnia z pożywienia. Dodatkowo umiarkowana kąpiel słoneczna może łagodzić reakcje alergiczne oraz niektóre choroby skóry. Nadmiar promieniowania UV może mieć jednak bardzo poważne konsekwencje w postaci oparzeń, rozwoju nowotworów skóry oraz przyspieszenia procesu jej starzenia się.



Objawy oparzenia słonecznego to ból, zaczerwienienie skóry lub pojawienie się na niej pęcherzy.

Oparzenia słoneczne

Nadmierne opalanie się może doprowadzić do oparzeń skóry, dlatego przed wyjściem z domu w słoneczne dni należy stosować kosmetyki ochronne z filtrem o dużej zdolności pochłaniania promieniowania UV. Trzeba także pamiętać o ograniczaniu czasu opalania, szczególnie między godz. 11.00 a 14.00.

Fototyp skóry

Fototyp skóry to typ koloru skóry człowieka w zależności od jej reakcji na promieniowanie UV. Poniżej znajduje się opis czterech rodzajów fototypów skóry najczęściej występujących w Polsce.









Cechy	Fototyp I	Fototyp II	Fototyp III	Fototyp IV
Karnacja	bardzo jasna	jasna	jasna	ciemna
Kolor oczu	jasne	jasne	jasne	ciemne
Kolor włosów	rude	blond	blond lub jasno-brązowe	ciemne
Skłonność do poparzeń	bardzo duża	duża	mała	bardzo mała

Rozwój nowotworów skóry

Promieniowanie UV jest jednym z czynników ryzyka rozwoju nowotworów złośliwych skóry, spośród których najliczniejszą grupą są raki – nowotwory pochodzenia nabłonkowego. Najgroźniejszym z nich jest **czerniak**. Z kolei najczęściej występującym nowotworem jest **rak podstawnokomórkowy** (powoduje on ok. 70% zachorowań na nowotwory skóry). Rak ten występuje głównie u osób starszych.



Rak podstawnokomórkowy najczęściej ma postać guzka o lśniącej powierzchni.

Czynniki ryzyka rozwoju nowotworów skóry:

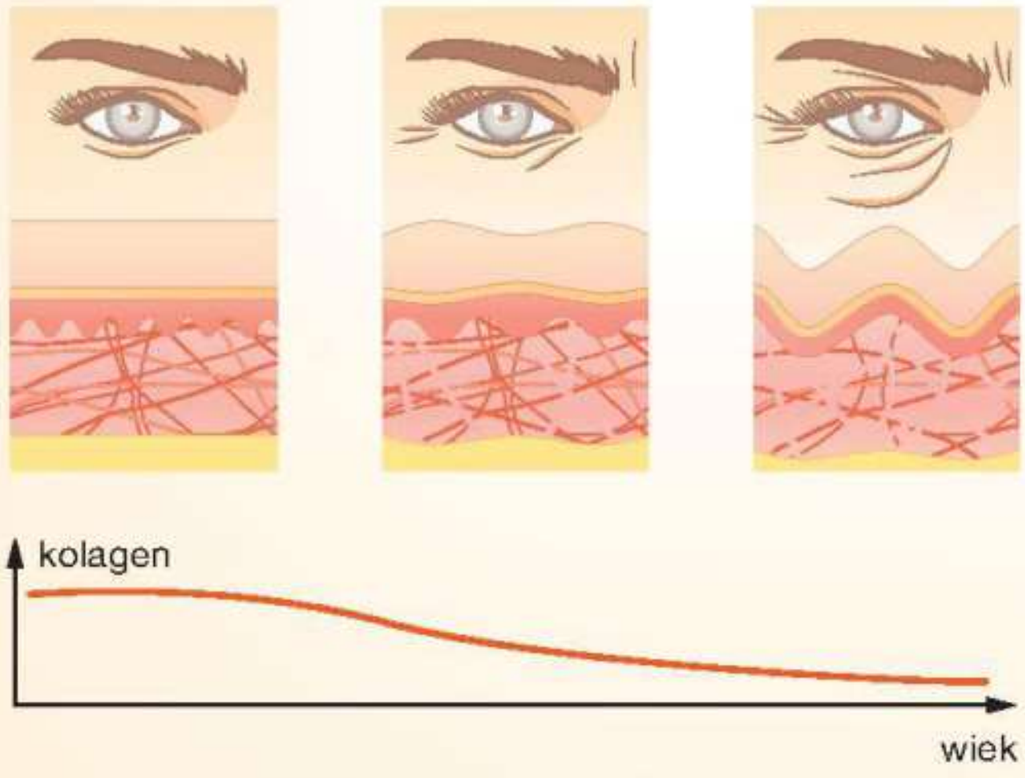
- czynniki genetyczne (np. występowanie nowotworów w rodzinie),
- duża liczba znamion skórnych,
- fototyp skóry wrażliwy na promieniowanie UV,
- przebyte oparzenie słoneczne, szczególnie w dzieciństwie,
- częste opalanie się (na plaży lub w solarium).

Uczulenie na słońce

Jest to rodzaj reakcji alergicznej występującej pod wpływem promieniowania UV. Jego objawami są zwykle różnego rodzaju wysypki, np. w postaci plam, zaczerwienienia na skórze, drobnych pęcherzyków czy swędzącej pokrzywki. Często towrzyszą im gorączka i złe samopoczucie. Uczulenie może występować samoistnie lub być związane ze stosowaniem niektórych leków, ziół czy kosmetyków.



Dziurawiec zwyczajny (*Hypericum perforatum*) to jedno z ziół, które mogą powodować fotouczulenie.



Fotostarzenie – przyspieszenie starzenia się skóry

Nadmierna ekspozycja na promieniowanie UV może również wpływać na przyspieszenie procesu starzenia się skóry. Objawami tego procesu są m.in.:

- powstawanie bruzd i zmarszczek,
- zaburzenia pigmentacji, plamy i przebarwienia skóry, rogowacenie skóry,
- suchość i zwiotczenie skóry,
- zwiększone ryzyko zmian nowotworowych.

W miarę starzenia się organizmu zmniejsza się ilość włókien kolagenowych występujących w skórze. Powoduje to spadek jej elastyczności. W efekcie skóra wiotczeje i pojawiają się na niej zmarszczki.

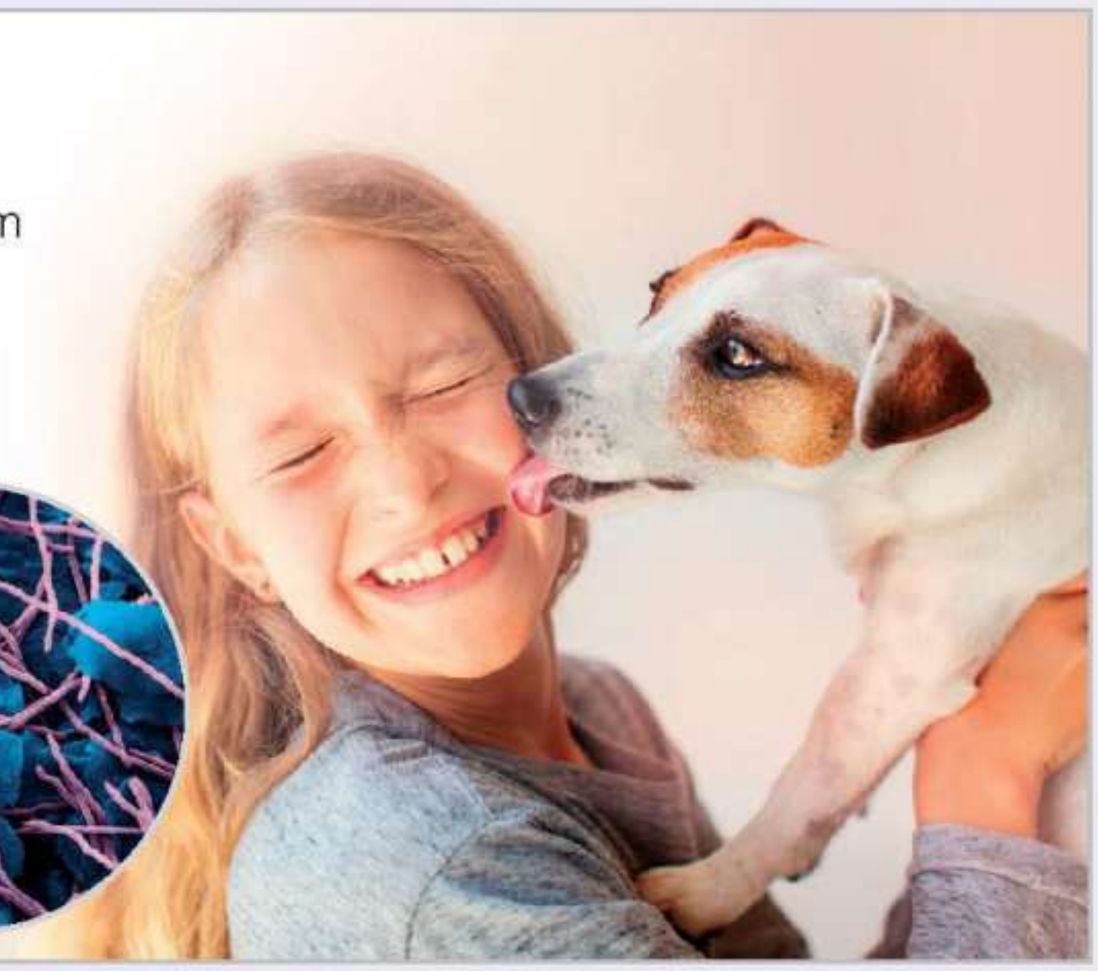
☑ Choroby skóry

Grzybice

- **Przyczyna:** zarażenie grzybami chorobotwórczymi.
- **Droga zakażenia:** kontakt z zakażonym człowiekiem lub z przedmiotami, których używał.
- **Profilaktyka:** przestrzeganie zasad higieny, nieużywanie wspólnych przedmiotów higieny osobistej, noszenie obuwia ochronnego na basenach i w hotelach.



Grzybicą można się zarazić również od zwierząt domowych.



Choroby pasożytnicze

Wszawica

- **Przyczyna:** zarażenie pasożytniczym owadem – wszą ludzką (*Pediculus humanus*).
- **Droga zakażenia:** bezpośrednio przez kontakt z zakażoną osobą lub pośrednio – przez stosowanie wspólnych przedmiotów, np. szczotek do włosów, nakryć głowy i pościeli.
- **Profilaktyka:** systematyczne przeglądanie włosów, przestrzeganie zasad higieny osobistej, nieużywanie wspólnych grzebieni i nakryć głowy.



Wesz ludzka.

Świerzb

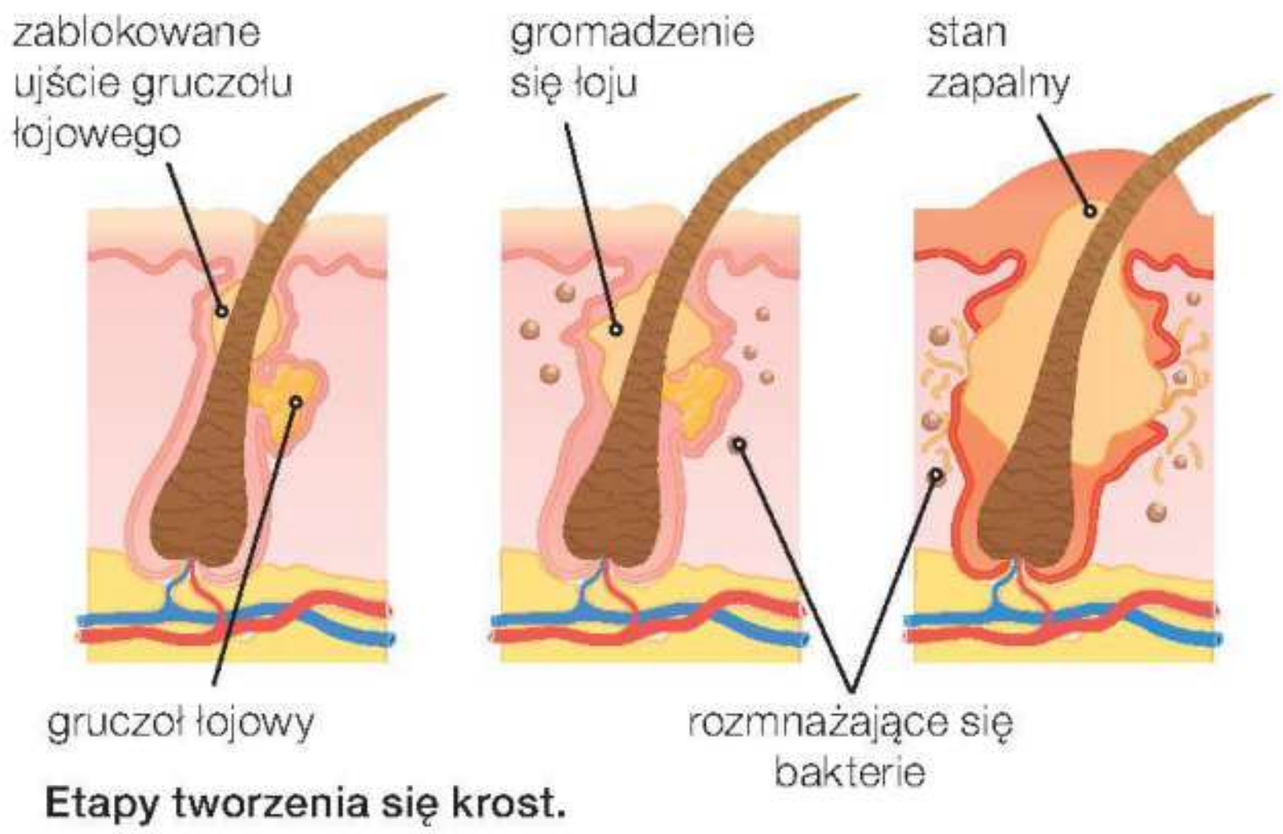
- **Przyczyna:** zakażenie pasożytniczym pajęczakiem – świerzbowcem ludzkim (*Sarcoptes scabiei*).
- **Droga zakażenia:** bezpośrednio przez kontakt z chorym lub pośrednio – najczęściej przez bieliznę pościelową.
- **Profilaktyka:** przestrzeganie zasad higieny, nieużywanie wspólnych przedmiotów higieny osobistej.



Świerzbowiec drąży korytarze w warstwie rogowej naskórka, co powoduje silne swędzenie.

Trądzik pospolity

- **Przyczyna:** zaburzenia hormonalne skutkujące nadmierną produkcją łoju i zatykaniem się ujść gruczołów łojowych. W uwięzionym łoju rozwijają się bakterie, co powoduje stan zapalny skóry, widoczny w postaci krosty.
- **Profilaktyka:** właściwa higiena skóry, powstrzymanie się od wyciskania istniejących krost, ograniczenie spożywania tłustych i ostrych potraw oraz słodyczy.



Etapy tworzenia się krost.

Czerniak – nowotwór skóry

- **Przyczyna:** zmiany w materiale genetycznym, powodujące niekontrolowane dzielenie się komórek skóry.
- **Profilaktyka:** unikanie nadmiernej ekspozycji na promieniowanie słoneczne, unikanie korzystania z solarium, stosowanie kremów z filtrami UVA i UVB, samodzielna kontrola znamion barwnikowych występujących na skórze, regularne wizyty u dermatologa.

Cechy charakterystyczne czerniaka można ująć w postaci punktów ABCDE. Znamiona, które pasują do chociaż jednego punktu lub budzą niepokój, powinny być zbadane przez dermatologa lub chirurga onkologa.



Alfabet czerniaka

A		Asymetryczny kształt.
B		Brzegi nierówne lub postrzępione.
C		Czarny, czerwony, jasnobrązowy, niebieski lub niejednolity kolor.
D		Duża średnica, większa niż 6 mm.
E		Ewoluowanie zmian w czasie.

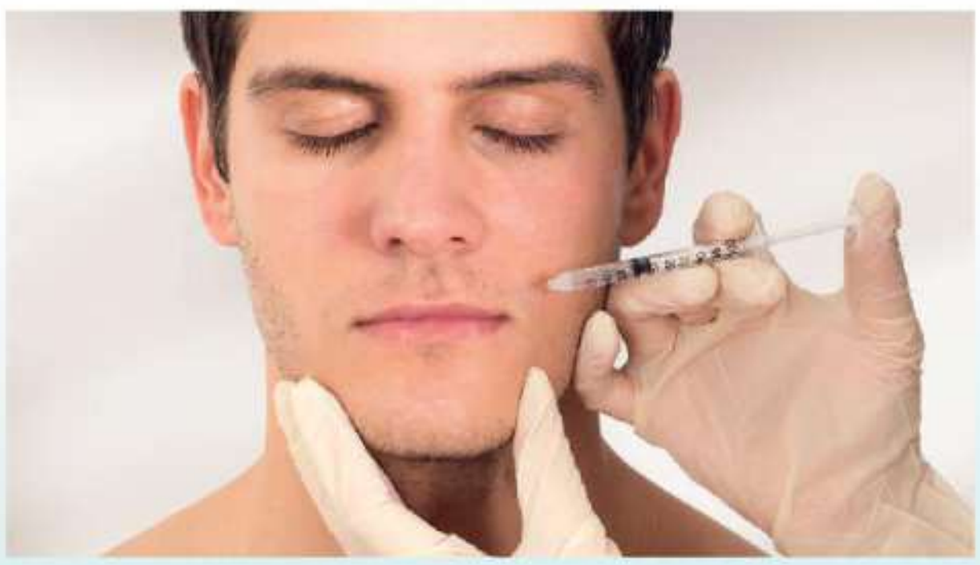
Dowiedz się więcej

Medycyna estetyczna czy akceptacja siebie?

Promowanie przez media określonego kanonu piękna sprawiło, że większość ludzi jest niezadowolona z własnego wyglądu. To z kolei wpłynęło na dynamiczny rozwój przemysłu kosmetycznego i medycyny estetycznej. W odpowiedzi na propagowanie nierealistycznych standardów piękna powstał ruch ciałopozytywności, który zachęca do polubienia swoich niedoskonałości.

Medycyna estetyczna

Zabiegi medycyny estetycznej mają na celu przede wszystkim hamowanie procesu starzenia się i usuwanie jego oznak, a także redukcję niedoskonałości skóry, np. blizn. Jednym z najczęściej wykonywanych zabiegów jest wstrzykiwanie toksyny botulinowej (tzw. botoksu) i wypełniaczy.



Toksyna botulinowa blokuje przewodnictwo nerwowo-mięśniowe, prowadząc do paraliżu mięśni, co zapobiega powstawaniu zmarszczek.



Wypełniacze (głównie kwas hialuronowy) stosuje się m.in. w celu niwelowania istniejących zmarszczek, powiększania ust i modelowania kości policzkowych.

Ciałopozytywność (ang. *body-positivity*)

Negatywny obraz siebie może doprowadzić m.in. do depresji i zaburzeń odżywiania. Ciałopozytywność jest ruchem, który popularyzuje akceptację każdego ciała, bez względu na jego wygląd i rozmiar. Promuje pozytywne nastawienie do niedoskonałości, np. cellulitu, rozstępów czy zmarszczek, które ma większość ludzi, mimo że nie pokazuje się ich w mediach i na retuszowanych zdjęciach.



Kariera Winnie Harlow (modelki chorującej na bielactwo) pokazuje, że niedoskonałości skóry nie muszą być uznawane za defekt – mogą stać się atutem i symbolem wyjątkowości.

Polecenia kontrolne

1. Wykaż za pomocą dwóch argumentów, że nadmierne opalanie się bez stosowania filtrów przeciwsłonecznych jest niebezpieczne dla skóry.
2. Podaj przykład dwóch działań profilaktycznych, które pozwolą zmniejszyć ryzyko zarażenia się grzybicą stóp na basenie.
3. Wymień metody diagnostyczne, za pomocą których można wykryć czerniaka.

Podsumowanie

1 Budowa skóry

Skóra

naskórek

Jest zbudowany z nabłonka wielowarstwowego płaskiego. Wyróżnia się w nim dwie główne warstwy: warstwę zrogowaciałą i warstwę rozrodczą.

warstwa zrogowaciała

Jest zbudowana z martwych komórek, które systematycznie się złuszczają.

warstwa rozrodcza

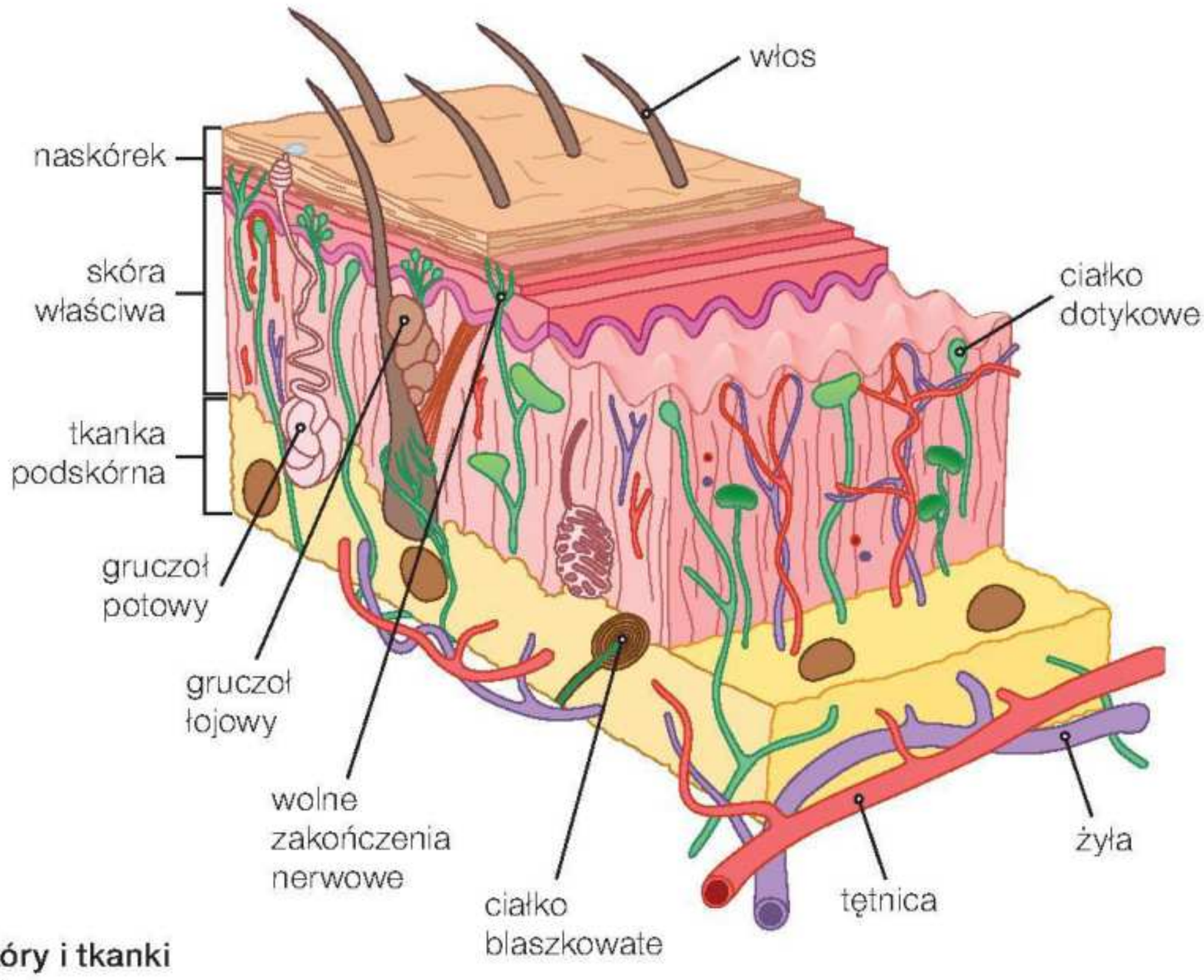
Jest zbudowana z żywych komórek, które dzielą się mitotycznie. Występują w niej komórki barwnikowe – melanocyty – produkujące melaninę.

skóra właściwa

Jest zbudowana z tkanki łącznej włóknistej. Znajdują się w niej naczynia krwionośne, receptory, gruczoły i mieszki włosowe.

2 Tkanka podskórna – tkanka występująca pod skórą, zbudowana z tkanki włóknistej luźnej i tkanki tłuszczowej. Pełni funkcje:

- **termoizolacyjną** – chroni przed utratą ciepła,
- **amortyzującą** – zabezpiecza przed uszkodzeniami mechanicznymi,
- **zapasową** – stanowi rezerwę energetyczną organizmu.



Budowa skóry i tkanki podskórnej.

3 Wytwory naskórka i ich funkcje

Wytwory naskórka	Funkcje
Włosy	• Chronią ciało przed szkodliwymi czynnikami środowiska. • Pełnią funkcję termoizolacyjną (u człowieka zatraciły tę właściwość).
Paznokcie	• Ochraniają końcówki palców. • Wzmacniają odbiór wrażeń dotykowych przez opuszki palców.
Gruczoły łojowe	• Wydzielają łój, który: – natłuszcza włosy i naskórek, dzięki czemu są one bardziej elastyczne, – stanowi barierę ochronną przed chorobotwórczymi bakteriami i grzybami.
Gruczoły potowe	• Wydzielają pot, który: – odgrywa ważną rolę w termoregulacji oraz wydalaniu zbędnych produktów przemiany materii, – przeciwdziała rozwojowi chorobotwórczych bakterii i grzybów.
Gruczoły mlekowe	• Są przekształconymi gruczołami potowymi. • Wydzielają mleko – mieszaninę substancji, będącą źródłem składników pokarmowych dla noworodka i niemowlęcia.

4 Funkcje skóry

Funkcja	Opis	Elementy skóry pełniące tę funkcję
Ochronna	• ochrona przed wpływem szkodliwych czynników zewnętrznych, np. promieniowaniem UV, urazami mechanicznymi, substancjami chemicznymi, drobnoustrojami chorobotwórczymi • ochrona przed utratą wody z organizmu	• wiele warstw i zwarty układ komórek naskórka • nierozpuszczalne w wodzie glikolipidy i keratyna • niskie pH skóry • obecność melaniny
Wydzielnicza	• wydzielanie łoju oraz mleka	• gruczoły łojowe i mlekowe
Wydalnicza	• wydalanie nadmiaru wody, mocznika i soli mineralnych	• gruczoły potowe
Syntetyzująca	• wytwarzanie witaminy D_3	• naskórek – pod wpływem promieniowania UVB
Receptorowa	• odbiór bodźców z otoczenia	• receptory: bólu, ucisku, dotyku, ciepła i zimna
Termoregulacyjna	• oddawanie nadmiaru ciepła • ograniczanie strat ciepła	• gruczoły potowe • naczynia krwionośne skórne

5 Wpływ nadmiaru promieniowania UV na skórę

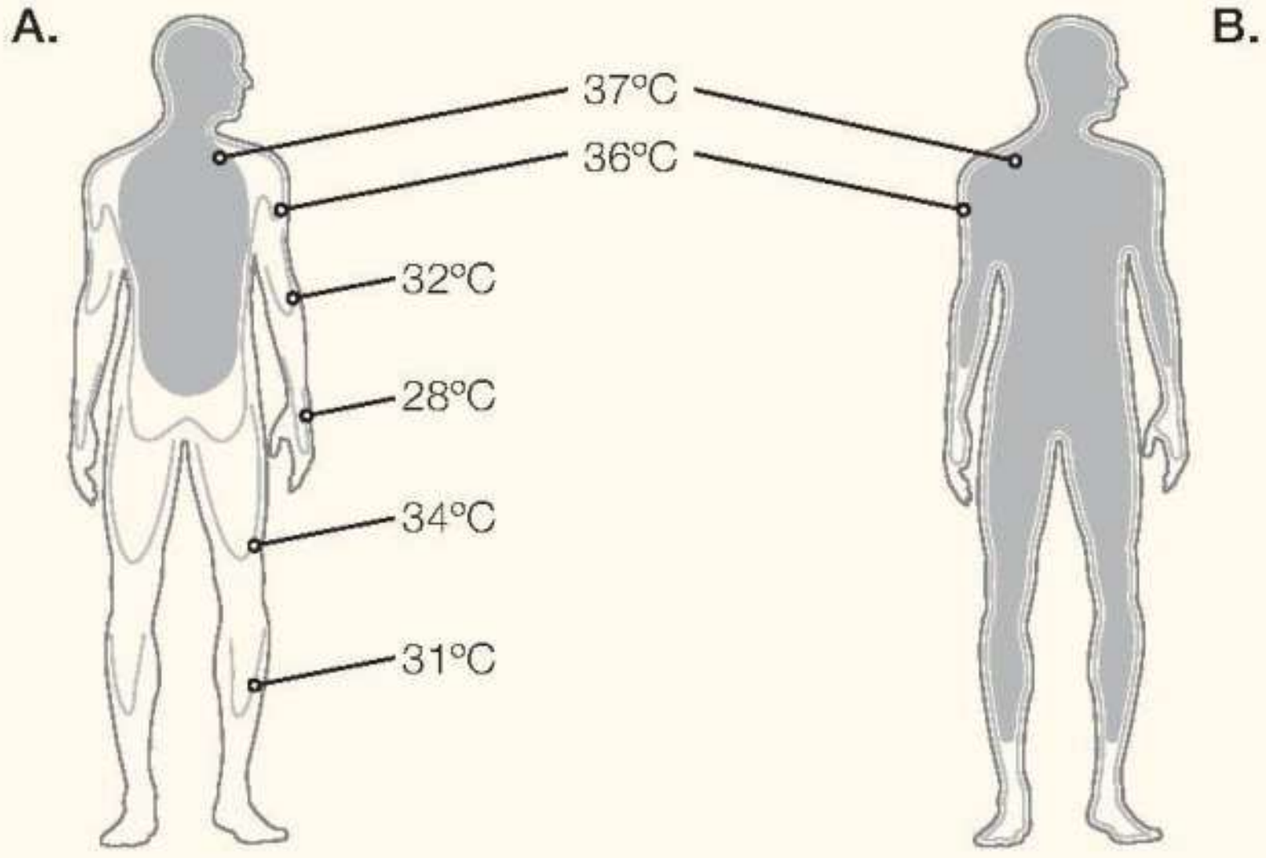
Nadmiar promieniowania UV powoduje

- oparzenia słoneczne w wyniku zbyt długiego opalania się lub niestosowania kremów z filtrem
- rozwój nowotworów skóry, m.in. czerniaka
- uczulenie będące reakcją alergiczną na słońce
- fotostarzenie, czyli przyspieszenie procesu starzenia się skóry

Sposób na zadania

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Na schematach A i B przedstawiono zmiany temperatury powierzchni ciała człowieka. Zmiany te – w zależności od temperatury otoczenia – są związane z przemieszczaniem się krwi z powłok ciała do jego wnętrza lub w kierunku przeciwnym.



Źródło: *Fizjologia człowieka z elementami fizjologii stosowanej i klinicznej*, red. W.Z. Traczyk, A. Trzebski, Warszawa 2019, s. 268.

a) Określ, który ze schematów – A czy B – przedstawia zmiany temperatury powierzchni ciała człowieka w niskiej temperaturze otoczenia. Odpowiedź uzasadnij, uwzględniając kierunek przepływu krwi w naczyniach krwionośnych skóry oraz znaczenie tego przepływu w mechanizmie termoregulacji.

b) Podaj, w której warstwie skóry człowieka znajdują się naczynia krwionośne.

Wskazówki

Podpunkt a)

1. Przypomnij sobie wiadomości dotyczące udziału skóry w termoregulacji. Informacje na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 45.
2. Zastanów się, jak zachowują się naczynia krwionośne skóry w niskiej temperaturze otoczenia, a jak – w wysokiej temperaturze otoczenia. W jaki sposób temperatura wpływa na kierunek przepływającej w nich krwi?
3. Przeanalizuj schematy przedstawione we wstępie do zadania.
4. Zastanów się, który ze schematów odpowiada warunkom termicznym określonym w poleceniu.
6. Sformułuj odpowiedź.

Podpunkt b)

1. Przypomnij sobie budowę skóry człowieka. Informacje na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 38–40.
2. Zwróć szczególną uwagę na przebieg naczyń krwionośnych w skórze. Przypomnij sobie, jak nazywa się warstwa skóry, w której są one zlokalizowane.
3. Sformułuj odpowiedź.

Zadania powtórzeniowe

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 „Za kolor naszej skóry odpowiadają pigmenty melaninowe, wytwarzane przez wyspecjalizowane komórki zwane melanocytami, wywodzące się z grzebienia nerwowego […]. […] Synteza melaniny odbywa się wewnątrz wyspecjalizowanych organelli melanocytów, zwanych melanosomami […]. […] Melanocyty wytwarzają dwa chemicznie różne typy melaniny: brązowo-czarną lub ciemną eumelaninę, będącą nierozpuszczalnym polimerem i feomelaninę – czerwono-żółty rozpuszczalny polimer […].
[…] Proces syntezy i dystrybucji melaniny nazywany jest melanogenezą. Główną rolę odgrywa w nim enzym tyrozynaza. […] Synteza melaniny rozpoczyna się hydroksylacją aminowego końca aminokwasu tyrozyny. Reakcja ta zachodzi przy udziale tyrozynazy i jej efektem jest powstanie DOPA-chinonu.
[…] Większość naturalnych melanin jest mieszaniną zawierającą eumelaninę i feomelaninę w różnych proporcjach. Na rodzaj wytwarzanej melaniny wpływa funkcjonowanie enzymów melanogennych i dostępność substratów. Ukierunkowanie szlaku melanogenezy w kierunku eumelanogenezy lub feomelagenezy zależy od procesów modyfikujących DOPA-chinon. Jeżeli w melanocytach przeważają aminokwasy zawierające siarkę, wówczas DOPA-chinon łączy się z grupami -SH (grupa tiolowa) i powstaje cysteinyloDOPA (5-S-cysteinylodopa) – prekursor feomelaniny. Natomiast jeżeli brakuje cysteiny i glutationu, powstaje eumelanina […]".

Na podstawie: M. Engler-Jastrzębska, A. Kamm, *Molekularne podstawy pigmentacji skóry. Etiologia i profilaktyka hiperpigmentacji*, „Kosmetologia Estetyczna" 2019, nr 3, vol. 8, s. 275–284.

a) Oceń, czy poniższe stwierdzenia są prawdziwe. Zaznacz P, jeśli stwierdzenie jest prawdziwe, albo F, jeśli jest fałszywe.

1.	Aminokwasy, z których syntetyzowana jest feomelanina, mają charakter hydrofobowy.	P	F
2.	Tyrozynaza katalizuje przyłączanie grupy –OH do występującej w tyrozynie grupy $–NH_2$.	P	F
3.	U osób o bardzo jasnej karnacji DOPA-chinon częściej łączy się z aminokwasami zawierającymi siarkę niż z aminokwasami, które nie mają tego pierwiastka.	P	F

b) Uzasadnij, że czynnikiem mającym wpływ na aktywność tyrozynazy jest promieniowanie UV. W odpowiedzi uwzględnij funkcję melanin.

c) Podaj nazwę warstwy skóry, w której znajdują się melanocyty.

d) Określ, jakie pochodzenie mają melanocyty – ektodermalne, endodermalne czy mezodermalne. Odpowiedź uzasadnij, odwołując się do informacji zawartych w tekście zadania oraz do własnej wiedzy.

2 Większość potrzebnej człowiekowi witaminy D_3 jest syntetyzowana w skórze z pochodnej cholesterolu pod wpływem światła słonecznego oraz ciepła. Ilość wytwarzanej w ten sposób witaminy nie jest jednak stała, zależy m.in. od pory roku czy szerokości geograficznej. Pozostała ilość powinna być dostarczana wraz z pokarmem.

a) Wyjaśnij, dlaczego jesienią u ludzi żyjących w strefie klimatu umiarkowanego rośnie zapotrzebowanie na witaminę D_3 pochodzącą z pokarmu.

b) Spośród podanych poniżej grup lipidów wybierz i zaznacz tę, do której należy cholesterol.

A. Tłuszcze właściwe.
B. Fosfolipidy.
C. Steroidy.
D. Woski.

3 Tabela przedstawia zachorowalność i umieralność na czerniaka złośliwego skóry w Polsce w latach 2002–2012.

Rok	Zachorowalność kobiet	Umieralność kobiet	Zachorowalność mężczyzn	Umieralność mężczyzn
2002	1009	451	822	424
2003	1083	509	902	498
2004	1024	461	902	484
2005	1205	419	984	487
2006	1103	482	998	569
2007	1136	539	1059	544
2008	1234	555	1052	607
2009	1376	530	1186	613
2010	1350	570	1195	621
2011	1375	580	1267	679
2012	1693	627	1390	675

Źródło: M. Ebisz, M. Brokowska, *Szkodliwe oddziaływanie promieniowania ultrafioletowego na skórę człowieka*, „Hygeia Public Health" 2015, 50 (3), s. 467–473.

a) Sformułuj wniosek dotyczący różnicy w zachorowalności kobiet i mężczyzn na czerniaka złośliwego skóry w latach 2002–2012.

b) Sformułuj wniosek dotyczący zmian w zachorowalności kobiet na czerniaka złośliwego skóry w latach 2002–2012.

c) Skonstruuj wykres słupkowy przedstawiający umieralność kobiet i mężczyzn na czerniaka złośliwego w latach 2002, 2007 i 2012.

d) Uzupełnij poniższe zdania tak, aby zawierały prawdziwe informacje dotyczące czerniaka złośliwego. Wybierz właściwe określenia spośród podanych.

Do czynników rozwoju nowotworów skóry, w tym czerniaka złośliwego, należy (*duża* / *mała*) wrażliwość skóry na promieniowanie UV, występująca zwłaszcza u osób o fototypie (*I* / *IV*).
Niebezpieczna może być także duża liczba znamion skórnych. Szczególnie groźne są te o (*symetrycznym* / *asymetrycznym*) kształcie i (*dużej* / *małej*) średnicy.

e) Podaj nazwę nowotworu złośliwego skóry, który najczęściej występuje u ludzi.

f) Zaproponuj dwa przykłady działań profilaktycznych, które mogą pomóc uchronić się przed zachorowaniem na czerniaka złośliwego.

4 Skóra człowieka pełni wiele różnych funkcji, m.in. ochronną i wydalniczą.

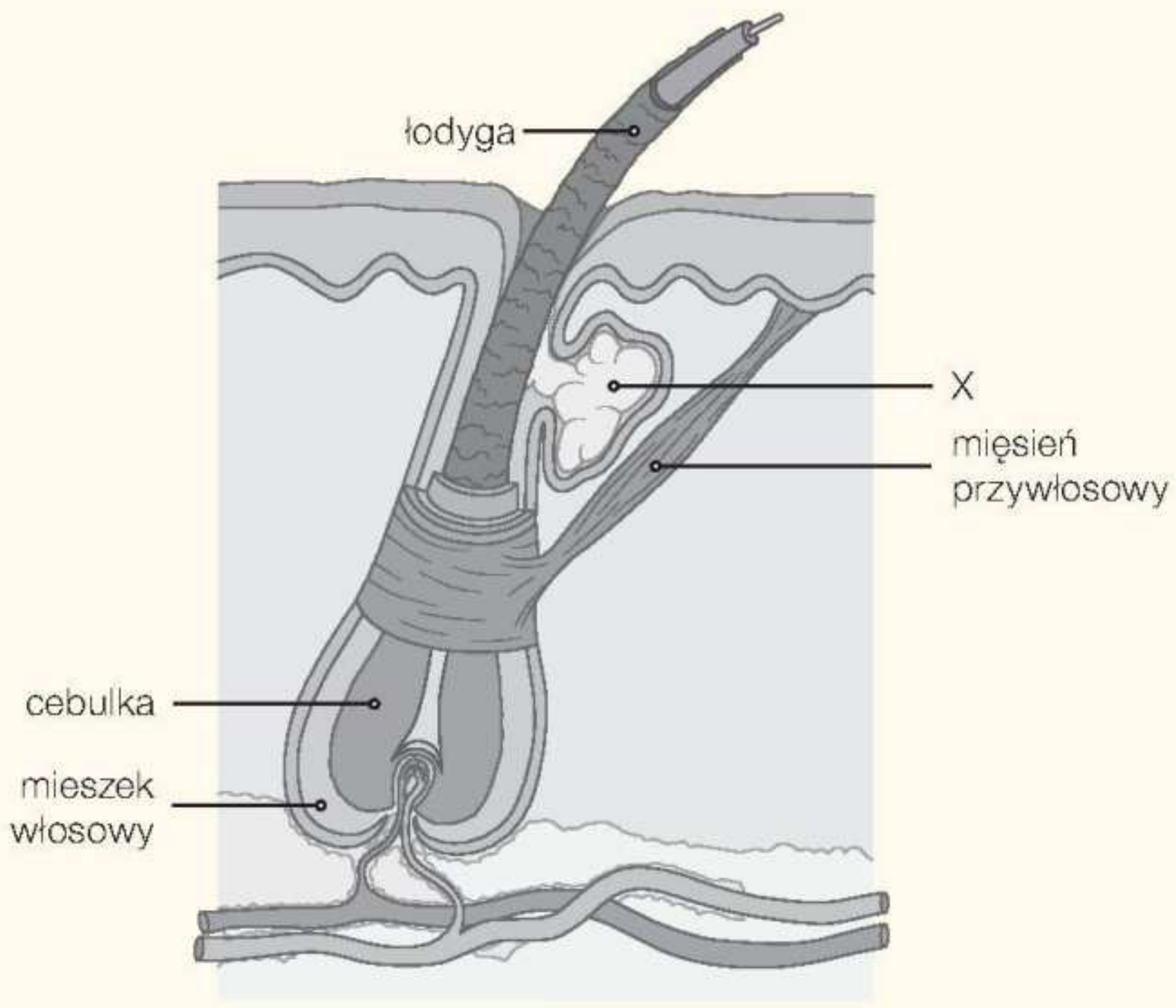
a) Określ, przed jakimi czynnikami chronią wymienione niżej cechy skóry.

1. Obecność hydrofobowych glikolipidów.
2. Niskie pH.

b) Podaj nazwę elementu skóry odpowiedzialnego za jej funkcję wydalniczą.

c) Wymień trzy substancje wydalane przez skórę.

5 Włosy pokrywają niemal całe ciało większości gatunków ssaków. U człowieka włosy występują w postaci szczątkowej, głównie na skórze głowy, w okolicach pach i łona.
Schemat przedstawia ludzki włos oraz struktury, które mu towarzyszą.



a) Podaj nazwę struktury oznaczonej na schemacie znakiem X oraz określ jej znaczenie.

b) Podaj podstawową funkcję włosów ssaków.

c) Podaj nazwę substancji stanowiącej główny budulec włosa.

d) Dokończ zdanie. Wybierz odpowiedź A–C oraz jej uzasadnienie 1–3.

Włosy ssaków i pióra ptaków to struktury

A.	analogiczne,	ponieważ	1.	mają wspólne pochodzenie – są wytworami skóry właściwej.
			2.	mają wspólne pochodzenie – są wytworami naskórka.
B.	homologiczne,		3.	mają różne pochodzenie, ale są do siebie zewnętrznie podobne.
			4.	mają różne pochodzenie, ale pełnią podobną funkcję.

6 Powłoka ciała stanowi zewnętrzną warstwę organizmu zwierzęcia. U większości zwierząt bezkręgowych tworzy ją jednowarstwowy nabłonek.

a) Do każdego z wymienionych rodzajów powłok ciała (A–C) dopasuj grupę zwierząt bezkręgowych (1–4), u której występuje dany rodzaj powłoki.

A. Wór powłokowo-mięśniowy.
B. Epiderma.
C. Nabłonek pokryty oskórkiem.

1. Parzydełkowce.
2. Nicienie.
3. Gąbki.
4. Stawonogi.

b) Podaj nazwę grupy zwierząt bezkręgowych, których ciała nie pokrywa tkanka nabłonkowa.

3. Układ ruchu

3.1. Ruch u zwierząt
3.2. Budowa i funkcje szkieletu
3.3. Rodzaje połączeń kości
3.4. Elementy szkieletu
3.5. Budowa i funkcjonowanie układu mięśniowego
3.6. Higiena i choroby układu ruchu

Fot. Tkanka kostna gąbczasta (mikrofotografia elektronowa).

3.1. Ruch u zwierząt

Zwróć uwagę na:
- związek między środowiskiem życia a sposobem poruszania się zwierząt,
- rodzaje ruchu u zwierząt,
- współdziałanie mięśni z różnymi typami szkieletu.

Ruch jest jedną z głównych czynności życiowych organizmów. W przypadku zwierząt może on dotyczyć całego ciała lub niektórych jego części. Aktywność ruchową wywołuje sygnał pochodzący z układu nerwowego. Sygnał ten powstaje w odpowiedzi na różnorodne bodźce płynące ze środowiska. U zwierząt ruch pojawił się m.in. w związku z koniecznością zdobywania pokarmu oraz obrony lub ucieczki przed napastnikami. W zależności od rozmiarów ciała zwierzęta wykształciły dwa sposoby poruszania się:

- rzęskowy, oparty na ruchu rzęsek i wici,
- mięśniowy, oparty na skurczach komórek nabłonkowo-mięśniowych (parzydełkowce) lub mięśni (pozostałe zwierzęta tkankowe).

Ruch rzęskowy

Za ruch rzęskowy odpowiada przede wszystkim białko kurczliwe – **tubulina** – które buduje rzęski i wici u organizmów eukariotycznych. Mikroskopijne rozmiary rzęsek i wici powodują, że rzadko służą one do przemieszczania się całego ciała. Taką funkcję pełnią wyłącznie u niewielkich organizmów wodnych, np. wirkokształtnych i wrotków, oraz u niektórych larw zwierząt bezkręgowych.

Ruch rzęskowy jest jedynym rodzajem ruchu występującym u osiadłych gąbek, które nie mają komórek mięśniowych. U zwierząt tych poruszają się wici **komórek kołnierzykowych** (choanocytów), wymuszające przepływ wody przez ciało.

Ruch rzęskowy

Organizmami, które poruszają się ruchem rzęskowym, są **wrotki**. Na głowie tych zwierząt znajduje się aparat rzęskowy, zwany również aparatem wrotnym. Jest on zwykle zbudowany z dwóch pierścieni rzęsek – wewnętrznego i zewnętrznego – które poruszają się w przeciwnych kierunkach.
Rzęski oraz wici stanowią narząd ruchu u wielu larw, m.in. planuli parzydełkowców, miracidium przywr i trochofory wieloszczetów.



Podstawowym narządem ruchu wrotków (obraz spod mikroskopu optycznego) jest aparat rzęskowy.



Trochofora (obraz spod mikroskopu optycznego) porusza się za pomocą pęczka wici oraz krótkich rzęsek tworzących wieńce wokół ciała.



Miracidium (obraz spod mikroskopu optycznego) porusza się za pomocą krótkich rzęsek pokrywających całe ciało.

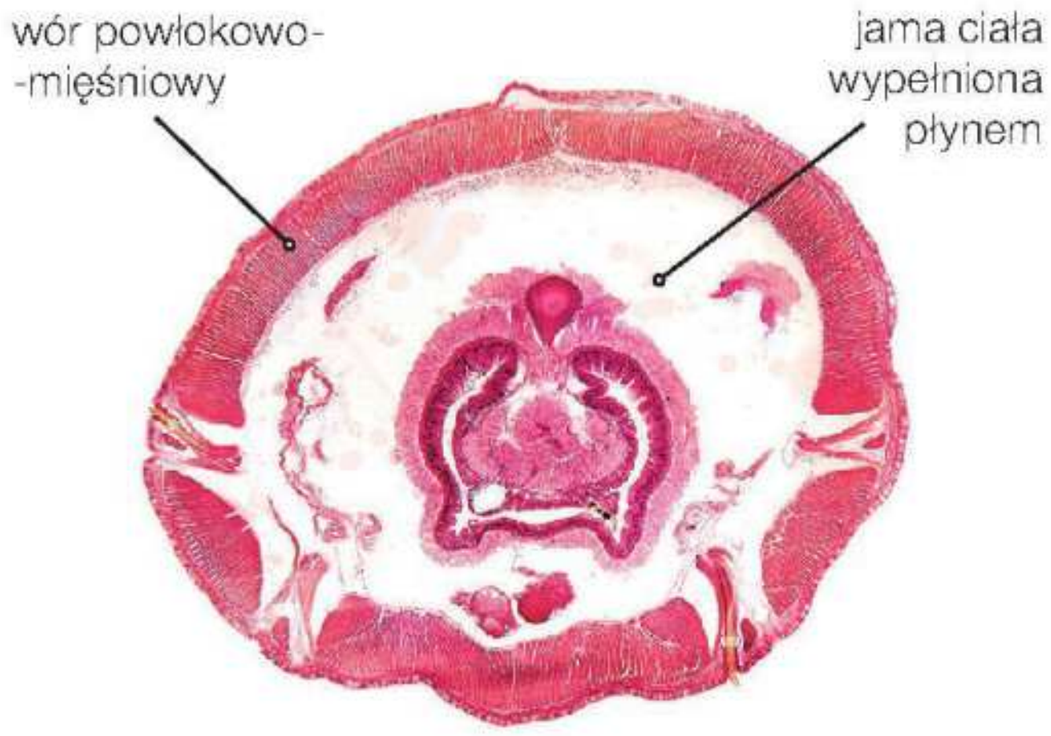
Ruch mięśniowy

Ruch mięśniowy może być ruchem lokomotorycznym lub może dotyczyć tylko określonych części ciała. **Ruch lokomotoryczny** polega na czynnym przemieszczaniu się całego zwierzęcia w przestrzeni. Jego podstawowymi rodzajami są: pełzanie, kroczenie, lot oraz pływanie. Ruch lokomotoryczny umożliwia m.in. aktywne poszukiwanie pokarmu lub partnera i miejsca do rozrodu, a także ucieczkę albo obronę przed niebezpieczeństwem.

Ruch określonych części ciała bez przemieszczania się służy u zwierząt lądowych m.in. do komunikacji czy usuwania pasożytów. U osiadłych zwierząt wodnych ruchy części ciała mogą napędzać cząstki pożywienia lub służyć do bezpośredniego chwytania pokarmu.

W ruchu mięśniowym uczestniczą wyspecjalizowane **komórki i włókna mięśniowe**, które budują tkankę mięśniową. Ta z kolei tworzy mięśnie. W komórkach i włóknach mięśniowych znajdują się dwa rodzaje miofilamentów: aktynowe oraz miozynowe. Przesuwają się one względem siebie, co skutkuje skracaniem się komórek i włókien mięśniowych, a w rezultacie – skurczem mięśnia.

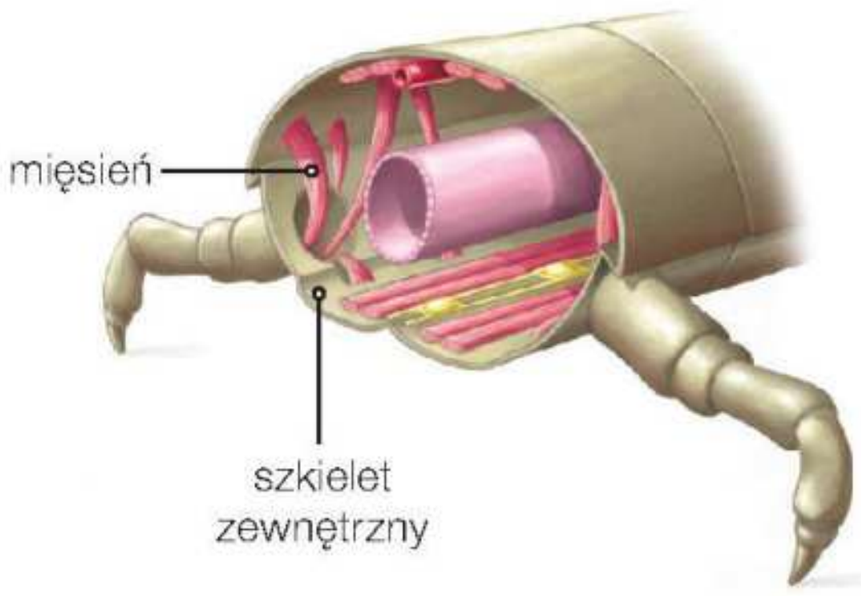
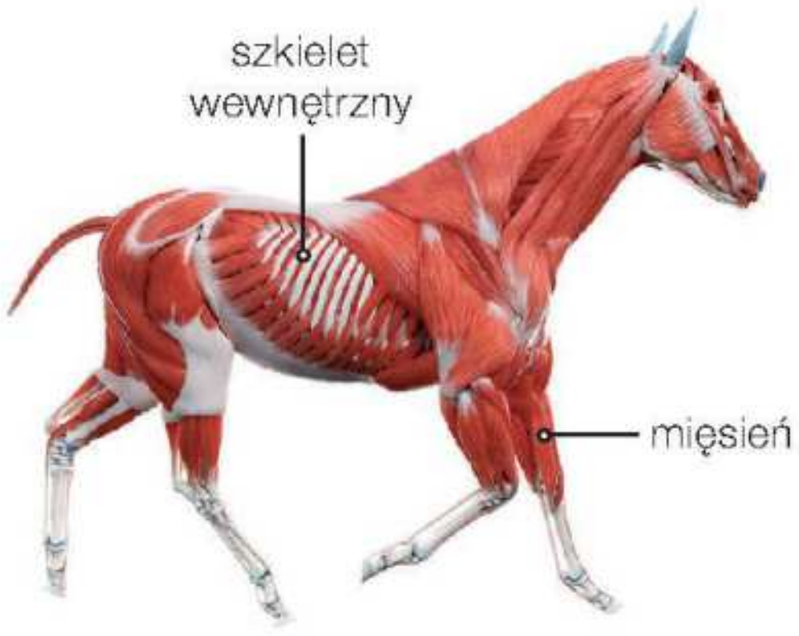
U większości grup bezkręgowców za ruch odpowiadają **mięśnie gładkie**, które wchodzą m.in. w skład wora powłokowo-mięśniowego. Skurcze tych mięśni powodują przemieszczanie się i zmiany ciśnienia parenchymy (płazińce) lub płynu (wrotki, nicienie, pierścienice), które wypełniają jamę ciała, co z kolei pozwala na przemieszczanie się organizmu. Płyn oraz mięśnie tworzą **szkielet hydrauliczny**, zwany również hydroszkieletem.



Przekrój poprzeczny przez ciało dżdżownicy ziemnej (obraz spod mikroskopu optycznego).

U stawonogów oraz kręgowców za ruchy ciała odpowiadają **mięśnie poprzecznie prążkowane**. Są one przyczepione do szkieletu i wraz z nim tworzą **układ ruchu** podporządkowany ośrodkowemu układowi nerwowemu. Skurcze mięśni poprzecznie prążkowanych są bardzo szybkie, dlatego większość stawonogów i kręgowców cechuje się dużą aktywnością ruchową.

Porównanie szkieletu zewnętrznego ze szkieletem wewnętrznym

Szkielet	
zewnętrzny	**wewnętrzny**
• występuje u bezkręgowców • jest miejscem przyczepu mięśni oraz chroni organizm przed niekorzystnym wpływem środowiska zewnętrznego	• występuje u kręgowców • jest miejscem przyczepu mięśni oraz chroni niektóre narządy wewnętrzne (np. mózg, serce, płuca) przed uszkodzeniami
	

Poruszanie się zwierząt w środowisku wodnym

Środowisko wodne charakteryzuje się dużą gęstością. Z tego powodu większość zwierząt żyjących w otwartej toni wodnej ma opływowy kształt ciała – wydłużony i łagodnie zaokrąglony, bez wystających elementów, które mogłyby hamować poruszanie się. Zwierzęta żyjące w strefie przydennej są często grzbieto-brzusznie spłaszczone. Kształt ich ciała nazywa się półopływowym, ponieważ mają one płaską powierzchnię, która łatwo przylega do dna. Wśród zwierząt wodnych spotyka się największe gatunki żyjące na Ziemi, gdyż siła wyporu wody w pewnym stopniu równoważy ciężar ich ciała.



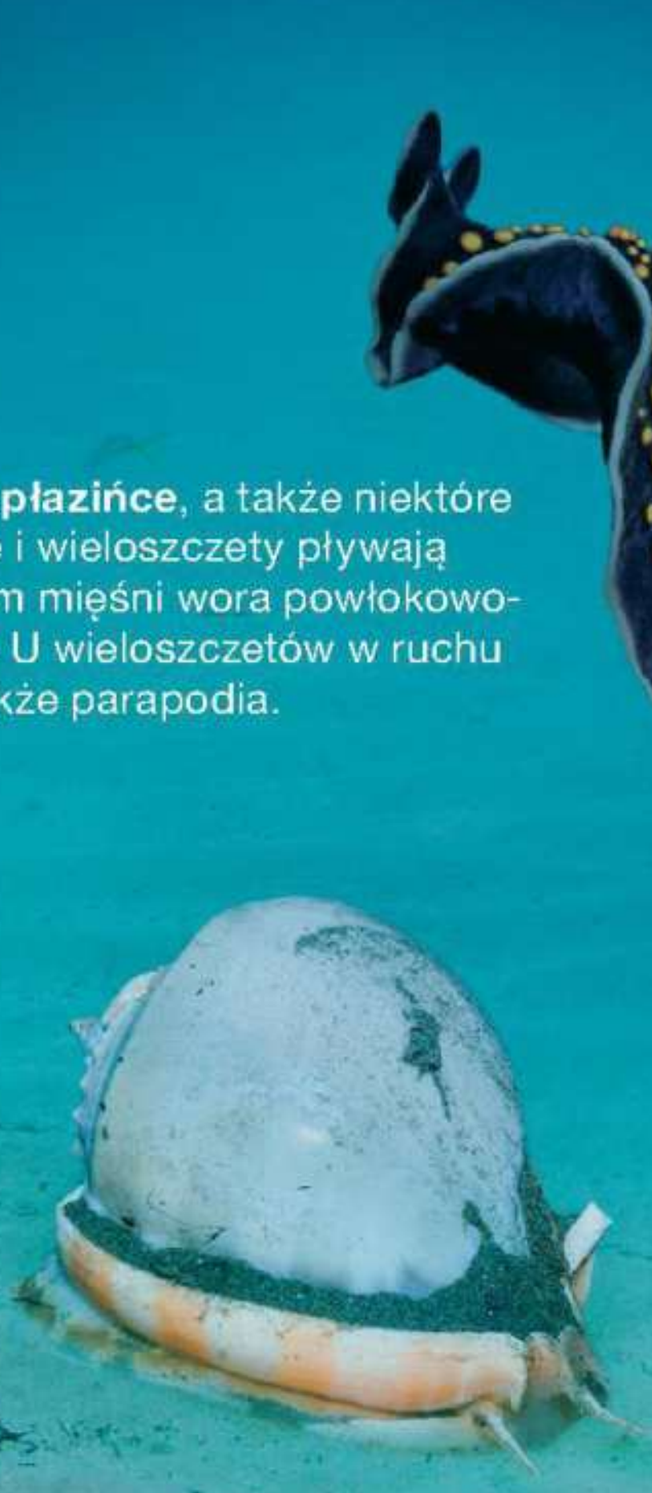
Meduzy przemieszczają się ruchem odrzutowym, wyrzucając wodę spod parasola dzięki rytmicznym skurczom całego ciała. Na zasadzie odrzutu poruszają się również głowonogi.



Niektóre skorupiaki, np. rozwielitki, unoszą się w toni wodnej, wykonując wiosłowe ruchy drugą parą czułków.



Wolno żyjące płazińce, a także niektóre wodne nicienie i wieloszczety pływają dzięki skurczom mięśni wora powłokowo-mięśniowego. U wieloszczetów w ruchu uczestniczą także parapodia.



Liczne wodne ślimaki pełzają po dnie zbiorników wodnych za pomocą silnie umięśnionej nogi. Pełzanie jest także sposobem poruszania się wielu szkarłupni, które wykorzystują do ruchu nóżki ambulakralne.

Pingwiny pływają za pomocą wiosłowatych kończyn przednich. Poruszają nimi rozbudowane mięśnie piersiowe, przyczepione do grzebienia na mostku. Kończyny tylne pingwinów są zaopatrzone w błony pławne. Wiele ptaków pływa po powierzchni zbiorników wodnych dzięki sile wyporu.

Siłą napędową większości ryb są przede wszystkim ruchy silnie umięśnionego ogona zaopatrzonego w płetwę ogonową. Ponadto w ruchu uczestniczą również pozostałe płetwy parzyste i nieparzyste. Za pomocą ogona pływają także niektóre gady, np. krokodyle czy węże.

Niektóre kręgowce wtórnie wodne, m.in. żółwie morskie i foki, pływają za pomocą kończyn przednich przekształconych w płetwy.

Wiele skorupiaków, m.in. kraby, porusza się po dnie zbiorników wodnych ruchem kroczącym. Funkcję narządów ruchu pełnią u nich odnóża. Ruchem kroczącym za pomocą ramion mogą się także poruszać głowonogi oraz rozgwiazdy.

Poruszanie się zwierząt w środowisku lądowym

Zwierzęta lądowe poruszające się po stałym podłożu nie muszą mieć opływowych kształtów. Dzieje się tak, ponieważ powietrze ma małą gęstość – do pokonania oporu, jaki stawia, nie trzeba więc dużej siły. U zwierząt tych pojawiły się jednak ograniczenia dotyczące masy ciała. Im większa masa zwierzęcia, tym wolniejsze są jego ruchy.



Pełzanie za pomocą mięśni wora powłokowo-mięśniowego i płynu jamy ciała, występujące np. u skąposzczetów, jest powolne. Skurcze mięśni powodują skracanie i wydłużanie się poszczególnych odcinków ciała, co pozwala również na rycie korytarzy w glebie.

Skakanie jest sposobem niektórych zwierząt, np. skoczków i kangurów, na osiąganie dużych prędkości podczas ucieczki. Umiejętność ta wymaga silnie rozwiniętych kończyn tylnych.



Pełzanie za pomocą mięśni związanych z żebrami, występujące głównie u węży, pozwala na stosunkowo szybki ruch. Pełzanie zachodzi wyłącznie wówczas, gdy podłoże jest nierówne lub zwierzę napotyka przeszkody.



Chodzenie po płaskich powierzchniach umożliwiają niektórym zwierzętom siły van der Waalsa. Oddziaływania te powstają np. między włoskami pokrywającymi stopy pająków a podłożem.



Chód oraz bieganie to najpowszechniejsze sposoby ruchu u zwierząt. Wśród bezkręgowców najszybciej biegają drapieżne chrząszcze – trzyszcze. Ich odnóża kroczne są długie i poruszają się szybciej niż sygnały wzrokowe przesyłane z oczu do mózgu. Dlatego trzyszcze zatrzymują się co pewien czas, by zlokalizować ofiarę.

Lot

Specyficznym środowiskiem, w którym poruszają się zwierzęta lądowe, jest powietrze. Mimo że cechuje się ono znacznie mniejszą gęstością niż woda, zwierzęta latające mają opływowy kształt ciała ze względu na szybkość ruchu. Ponadto masa ich ciała jest niewielka. U zwierząt latających występują narządy lokomotoryczne – skrzydła lub inne powierzchnie lotne zwiększające siłę nośną.

Lot czynny

- odbywa się za pomocą mięśni
- wymaga ciągłego nakładu energii
- występuje u większości owadów, ptaków oraz nietoperzy

Lot bierny

- nie wymaga ruchu mięśni
- nie wymaga ciągłego nakładu energii
- występuje u płazów, gadów i ssaków poruszających się lotem ślizgowym



Lot czynny owada



Lot ślizgowy wielkolota



Część ptaków i nietoperzy potrafi poruszać się zarówno lotem czynnym, jak i lotem biernym. Na przykład sokoły stosują niekiedy lot szybujący, który wykorzystuje wstępujące prądy powietrza i pozwala na oszczędzanie energii.

Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij, na czym polega ruch rzęskowy, i wymień zwierzęta, u których występuje taki rodzaj ruchu.
2. Wyjaśnij, jak działa szkielet hydrauliczny.
3. Wymień przystosowania zwierząt do poruszania się w środowisku wodnym.
4. Wyjaśnij, dlaczego zwierzęta poruszające się w wodzie i w powietrzu muszą mieć opływowy kształt ciała, a zwierzęta poruszające się na lądzie – nie muszą.

3.2. Budowa i funkcje szkieletu

Zwróć uwagę na:
- ogólną budowę szkieletu,
- podział kości ze względu na kształt,
- połączenia kości,
- funkcje szkieletu.

Najłatwiej dostrzegalnym przejawem życia człowieka jest **ruch**. Odbywa się on dzięki współdziałaniu szkieletu i mięśni szkieletowych, określanych wspólnie mianem **układu ruchu**. Szkielet stanowi część bierną układu ruchu, a mięśnie – część czynną.

Szkielet człowieka tworzą połączone ze sobą kości, które:
- stanowią miejsce przyczepu mięśni szkieletowych,
- są rusztowaniem ciała i nadają mu odpowiedni kształt,
- chronią narządy wewnętrzne organizmu przed uszkodzeniem,
- są magazynem wapnia i innych pierwiastków chemicznych,
- pełnią funkcję krwiotwórczą, ponieważ zawierają czerwony szpik kostny, w którym powstają elementy morfotyczne krwi.

Kości wchodzące w skład szkieletu łączą się ze sobą głównie za pomocą tkanki chrzęstnej, która buduje m.in. powierzchnie stawowe.

Mechaniczne właściwości kości

Kości są jednocześnie twarde i sprężyste. Ich mechaniczne właściwości wynikają z budowy tworzącej je tkanki kostnej. W skład tej tkanki wchodzą trzy rodzaje komórek oraz substancja międzykomórkowa. Komórki kostne (osteocyty), komórki kościotwórcze (osteoblasty) i komórki kościogubne (osteoklasty) stanowią łącznie ok. 5% biomasy tkanki kostnej. Substancję międzykomórkową tworzą duże ilości włókien kolagenowych (ok. 25%) i soli mineralnych, głównie fosforanu wapnia (ok. 70%). **Związki organiczne warunkują sprężystość kości, a sole mineralne nadają im twardość.** Kości noworodków oraz dzieci zawierają niewiele składników mineralnych i składają się w części z tkanki chrzęstnej. Dlatego są giętkie i elastyczne, a tym samym odporne na złamanie. U osób starszych, po 45. roku życia, następuje zmniejszenie syntezy kolagenu, co osłabia wytrzymałość mechaniczną kości – stają się one kruche i bardziej łamliwe.

Budowa i rozwój szkieletu

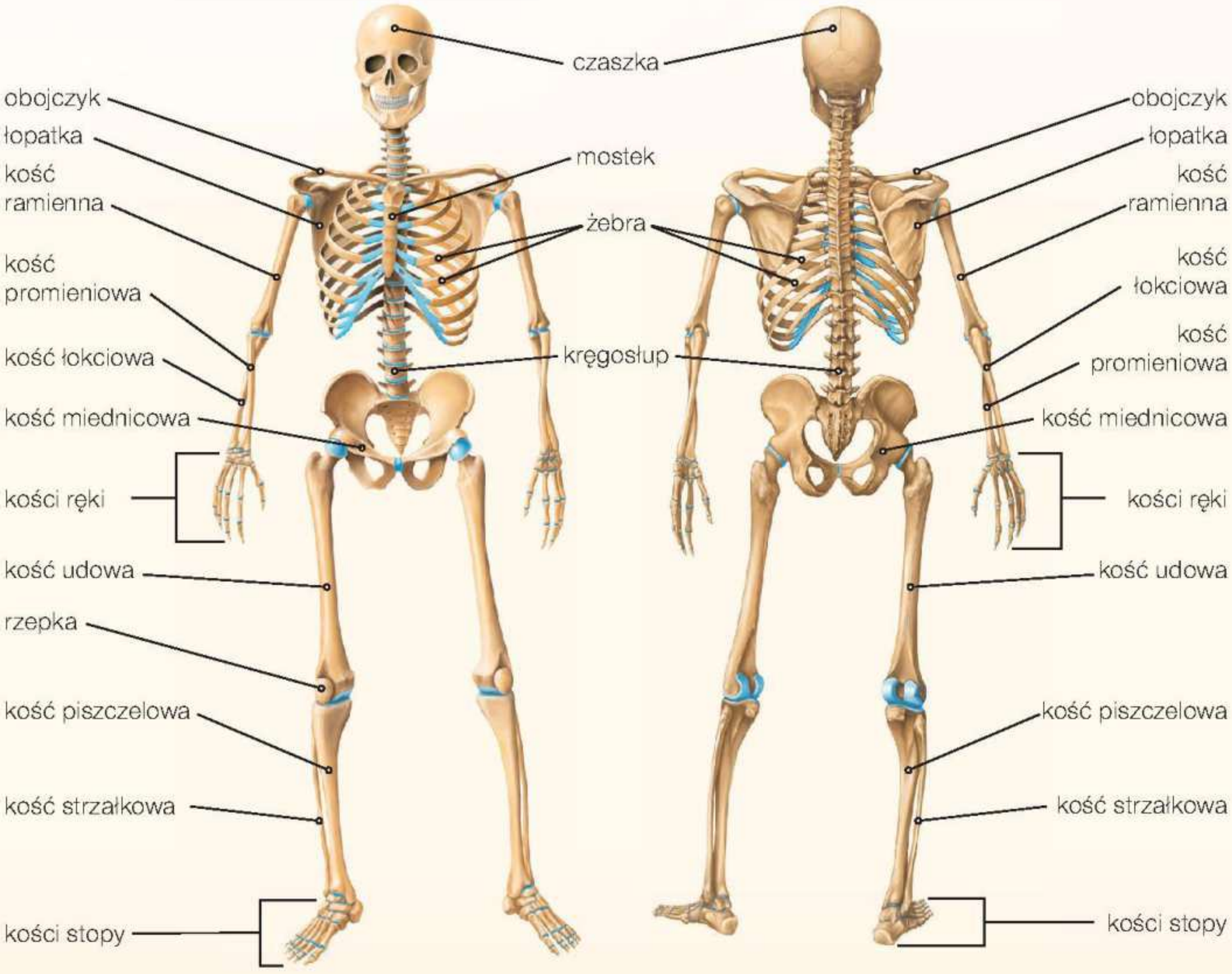
W ciele noworodka znajduje się ok. 270 kości. Podczas wzrostu i rozwoju część z nich zrasta się ze sobą, dlatego u osoby dorosłej szkielet składa się już tylko z 206–208 kości. W pierwszym roku życia przyrost kośćca powoduje wzrost długości ciała o ok. 25 cm. Kolejne niewielkie przyspieszenie tempa wzrostu następuje w 6.–7. roku życia (tzw. skok szkolny), a znaczne – w okresie dojrzewania (8–12 cm w ciągu roku). Po tym okresie przyrost wysokości ciała jest coraz wolniejszy i kończy się ok. 20. roku życia. Kości ludzi dorosłych ulegają dalszej przebudowie, osiągając ok. 30. roku życia maksymalną masę mineralną i gęstość. Po 30. roku życia przebudowa kości nadal się odbywa, jednak stopniowo zaczyna przeważać proces **demineralizacji**, który prowadzi do obniżenia zawartości soli mineralnych w tkance.

W przebudowie tkanki kostnej uczestniczą:
- **komórki kościogubne**, które odpowiadają za procesy rozkładu kości oraz aktywują komórki kościotwórcze,
- **komórki kościotwórcze**, które przeprowadzają proces odnowy tkanki kostnej.

Do czynników wpływających na przebudowę kości należą m.in. stężenie niektórych hormonów i witaminy D_3, zawartość białka oraz soli mineralnych (m.in. wapnia i fosforu) w spożywanych pokarmach oraz aktywność fizyczna.

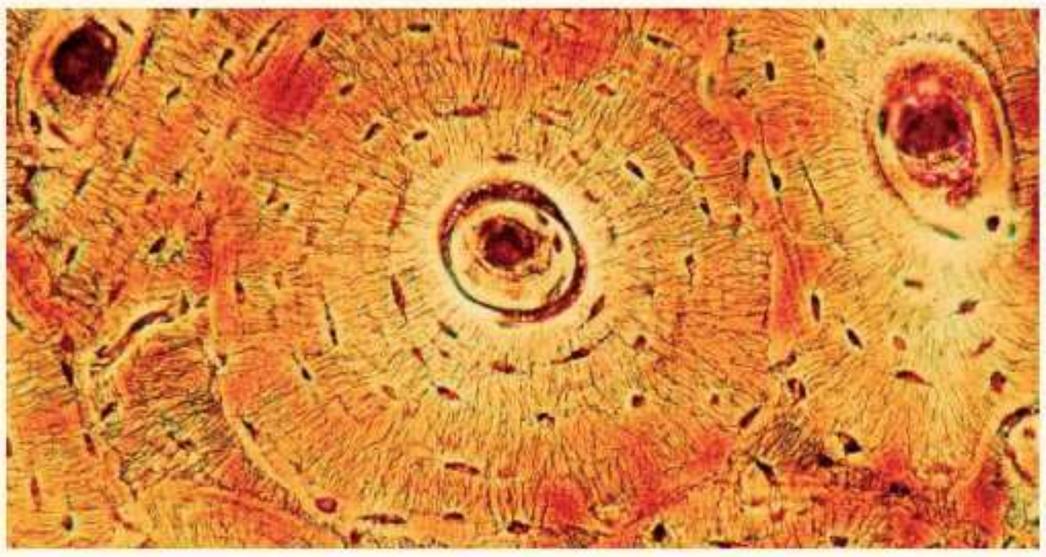
Szkielet człowieka

Szkielet człowieka jest konstrukcją zbudowaną z połączonych ze sobą kości. Do jego funkcji należą: utrzymywanie ciała w pozycji pionowej, udział w poruszaniu się oraz ochrona narządów wewnętrznych. W skład szkieletu wchodzą szkielet osiowy oraz szkielet kończyn.

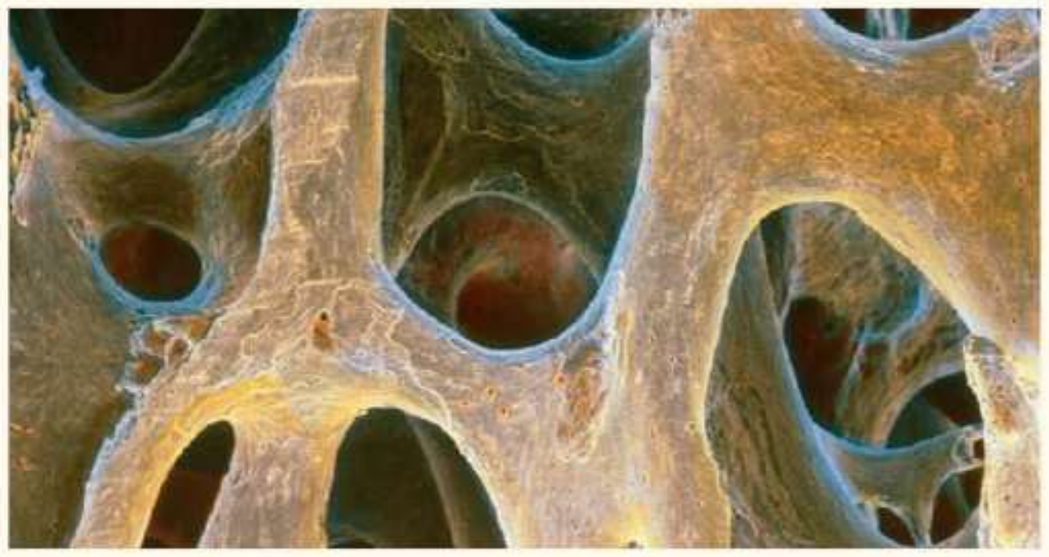


Tkanka kostna

Kości są zbudowane z dwóch rodzajów tkanki kostnej: zbitej oraz gąbczastej.



Tkanka kostna zbita (obraz spod mikroskopu optycznego) buduje zewnętrzne warstwy kości płaskich, trzony kości długich i zewnętrzne warstwy nasad kości długich.



Tkanka kostna gąbczasta (obraz spod SEM) wypełnia wnętrze kości płaskich i nasad kości długich.

Kształty kości

Wśród kości tworzących szkielet wyróżnia się kości: długie, krótkie, różnokształtne i płaskie.

Kości płaskie

- Mają długość i szerokość większą niż grubość.
- Do kości płaskich należą m.in. kości mózgoczaszki, mostek, łopatki oraz kości biodrowe.



Mostek.

Kości różnokształtne

- Mają nieregularny kształt oraz wyrostki i zagłębienia.
- Do kości różnokształtnych należą m.in. kości twarzoczaszki, kręgi kręgosłupa i kosteczki słuchowe.



Kręg kręgosłupa.

Kości krótkie

- Kształtem przypominają sześcian. Wszystkie ich wymiary są do siebie zbliżone.
- Do kości krótkich należą kości nadgarstka i kości stępu.



Jedna z kości nadgarstka.

Kości długie

- To kości, których długość jest większa niż grubość i szerokość. W ich budowie zewnętrznej wyróżnia się trzon oraz nasady.
- Do kości długich należą m.in. kość ramienna i kość udowa.



Kość udowa.



Budowa kości

Kości są okryte łącznotkankową błoną zwaną **okostną**. Jest ona bogato unaczyniona – pełni więc funkcję odżywczą – i unerwiona. Wewnętrzna warstwa okostnej (przylegająca do kości) zawiera komórki kościotwórcze i kościogubne, które biorą udział w naprawie uszkodzeń oraz przebudowie kości podczas ich wzrostu. Pod okostną znajduje się **tkanka kostna zbita**, a wnętrze kości płaskich i nasady kości długich wypełniają **tkanka kostna gąbczasta** oraz **szpik kostny**. Powierzchnie nasad pokrywa odporna na ścieranie **tkanka chrzęstna szklista**. We wnętrzu kości znajduje się centralnie położona **jama szpikowa**, wypełniona szpikiem kostnym. U dzieci i młodzieży jest to szpik kostny czerwony, który odpowiada za wytwarzanie elementów morfotycznych krwi. U dorosłych w większości kości występuje szpik kostny żółty, który nie pełni funkcji krwiotwórczej, ponieważ składa się głównie z komórek tłuszczowych. Funkcję krwiotwórczą zachowuje u nich szpik kostny czerwony znajdujący się w kościach płaskich i nasadach kości długich.

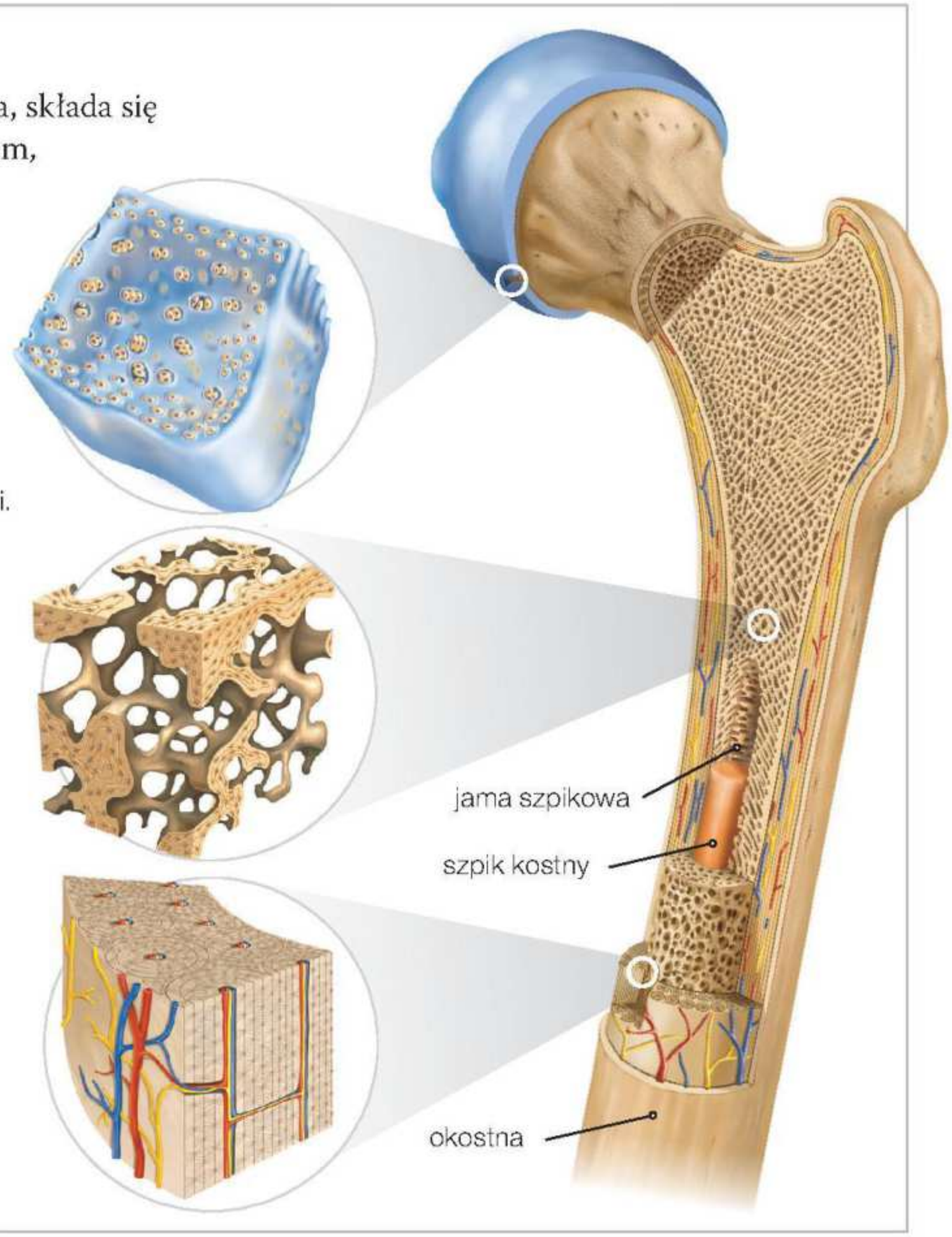
Budowa kości długiej

Typowa kość długa, np. kość udowa, składa się z części zasadniczej, zwanej trzonem, oraz położonych na jej końcach zgrubiałych nasad. Trzon jest zbudowany głównie z tkanki kostnej zbitej, a nasady kości – z tkanki kostnej gąbczastej.

Tkanka chrzęstna szklista pokrywa powierzchnie stawowe, zmniejsza tarcie i zabezpiecza kości przed uszkodzeniami.

Tkanka kostna gąbczasta jest zbudowana z drobnych beleczek kostnych, między którymi występują wolne przestrzenie. Dzięki temu kość może wytrzymać duże obciążenia mechaniczne. W przestrzeniach między beleczkami znajduje się szpik kostny.

Tkanka kostna zbita jest zbudowana ze ściśle przylegających do siebie blaszek kostnych tworzących osteony. W kanałach osteonów biegną naczynia krwionośne i nerwy.



Polecenia kontrolne

1. Wymień pięć funkcji szkieletu.
2. Omów budowę kości na przykładzie kości długiej.
3. Określ, jakie właściwości kości wynikają z jej budowy tkankowej.

3.3. Rodzaje połączeń kości

Zwróć uwagę na:
- połączenia ścisłe i ruchome kości,
- budowę i rodzaje stawów.

Kości tworzące szkielet łączą się ze sobą za pomocą połączeń ścisłych lub ruchomych. W **połączeniach ścisłych** kości mają bardzo ograniczoną ruchomość. W zależności od rodzaju tkanki łączącej kości wyróżnia się:

- **więzozrosty**, w których łącznikiem jest tkanka łączna włóknista. Należą do nich szwy zespalające kości czaszki u dzieci oraz więzadła, czyli pasma tkanki łącznej wzmacniające pozostałe połączenia kości i stabilizujące szkielet;
- **chrząstkozrosty**, w których kości łączą się ze sobą za pomocą tkanki chrzęstnej. Występują one np. w spojeniu łonowym (połączenie kości łonowych) oraz między żebrami a mostkiem;
- **kościozrosty**, w których łącznikiem jest tkanka kostna. Powstają one z wiekiem na skutek kostnienia więzozrostów i chrząstkozrostów. Występują m.in. w czaszce dorosłego człowieka (kostnienie szwów) i w miednicy (kostnienie chrząstkozrostów w połączeniu kości: biodrowej, kulszowej i łonowej).

Połączenia ruchome, nazywane stawami, umożliwiają ruch kości względem siebie. O zakresie ruchu decyduje kształt powierzchni stawowych kości.

Rodzaje połączeń ścisłych

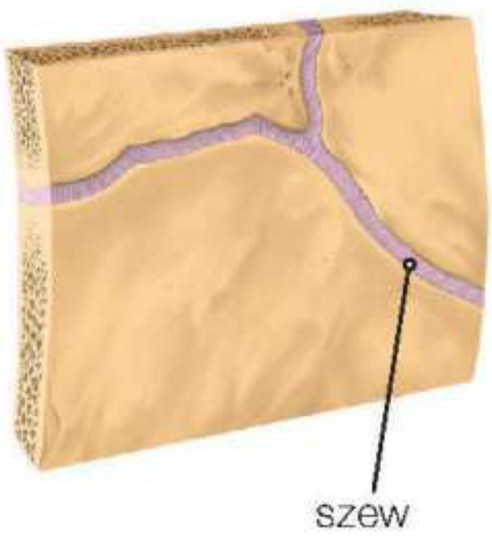
Chrząstkozrosty to połączenia kości za pomocą chrząstek, pozwalające na ograniczony ruch kości. Należą do nich np. krążki międzykręgowe występujące w kręgosłupie oraz połączenia żeber z mostkiem.

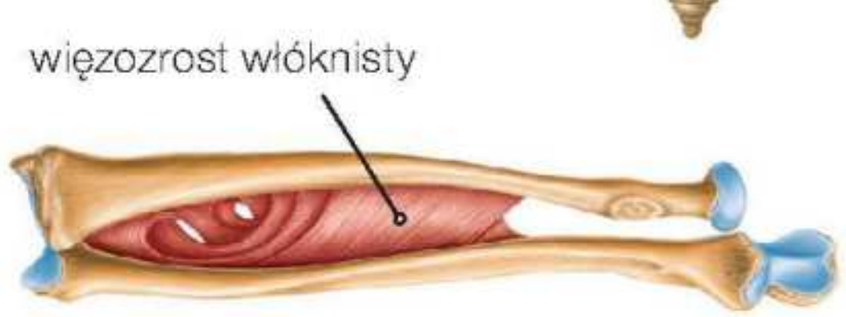


Kościozrosty to połączenia kości za pomocą tkanki kostnej. Połączenia te są całkowicie nieruchome. Występują m.in. w kości krzyżowej, która powstaje przez zrośnięcie się kręgów krzyżowych kręgosłupa.



Szwy to połączenia kości za pomocą cienkiej, ale mocnej warstwy tkanki łącznej. Występują w czaszce. Około 30. roku życia zachodzi zrastanie się szwów i wytwarzanie kościozrostu.



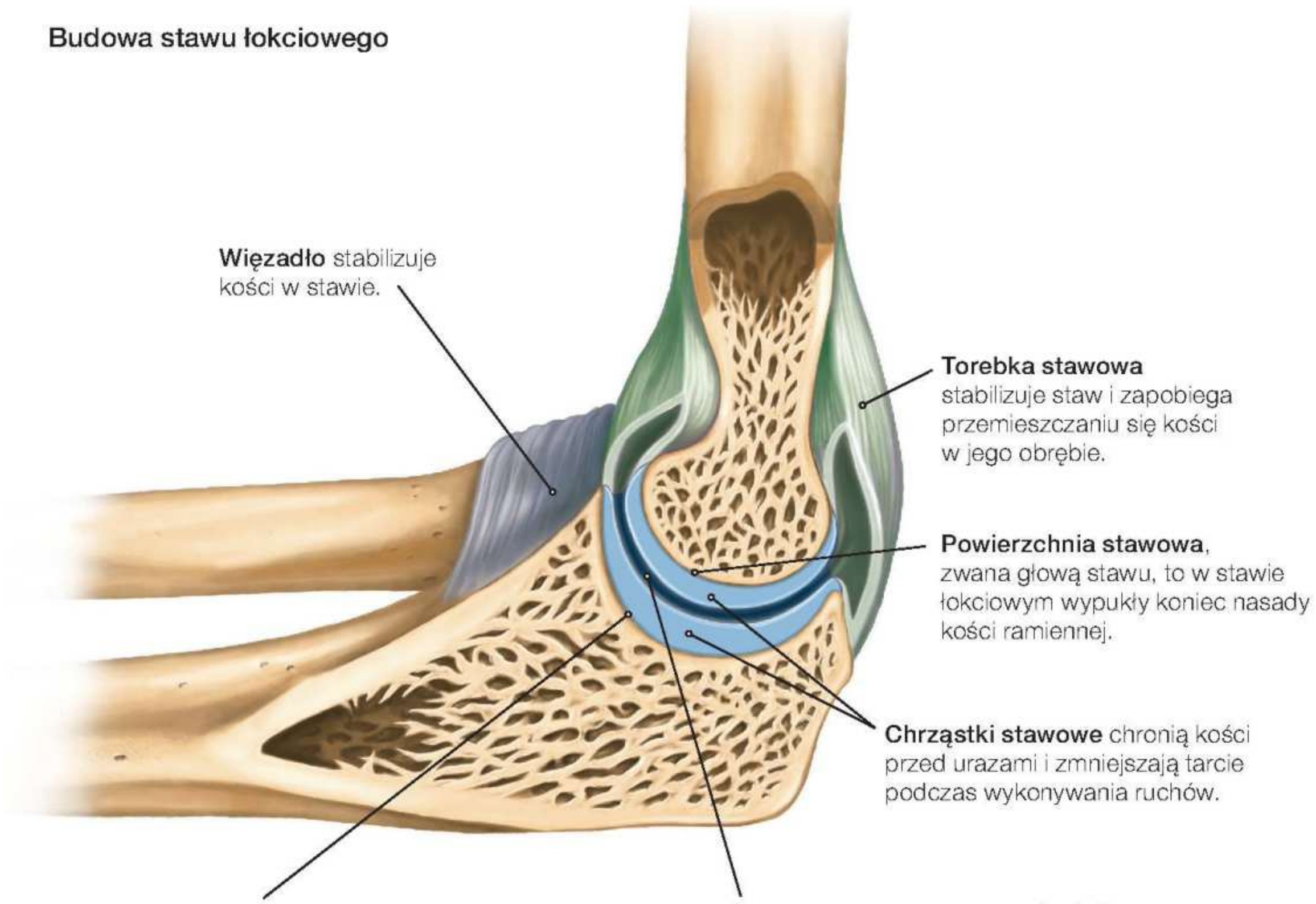


Więzozrosty włókniste to połączenia za pomocą włóknistych pasm łącznotkankowych. Występują np. w kończynach górnych, gdzie łączą kości łokciowe z kośćmi promieniowymi.

Budowa stawów

Stawy łączą ze sobą dwie lub więcej kości i umożliwiają ruch w jednej lub kilku płaszczyznach. Powierzchnie kości tworzące staw noszą nazwę **powierzchni stawowych**. Są one pokryte tkanką chrzęstną szklistą, która dzięki swej gładkości i elastyczności zmniejsza tarcie oraz amortyzuje wstrząsy podczas ruchu. **Głowa stawu** to fragment kości, na którym znajduje się wypukła powierzchnia stawowa. Odpowiadający jej fragment drugiej kości, z wklęsłą powierzchnią stawową, nazywa się **panewką stawu**. Staw jest otoczony **torebką stawową** przytrzymującą kości i zamykającą **jamę stawową** – wąską przestrzeń między powierzchniami stawowymi. Torebka stawowa składa się z dwóch warstw. Zewnętrzna **błona włóknista** stabilizuje staw. Niekiedy tworzy również silne pasma łącznotkankowe zwane **więzadłami**. Warstwa wewnętrzna – **błona maziowa** – zawiera dobrze rozwiniętą sieć naczyń krwionośnych i limfatycznych. Wytwarza żółtą, ciągliwą, przezroczystą **maź stawową**, która jest przesączem osocza krwi. Jej rola polega na dostarczaniu składników odżywczych tkance chrzęstnej oraz zmniejszaniu tarcia. W niektórych stawach oprócz wymienionych elementów występują m.in. więzadła wewnątrzstawowe, wzmacniające stawy i regulujące zakres niektórych ruchów, oraz kaletki maziowe i krążki stawowe. Kaletki maziowe to uchyłki błony maziowej wystające poza jamę stawową. Są wypełnione mazią i ułatwiają ruch ścięgien oraz więzadeł znajdujących się w otoczeniu stawu. Krążki stawowe to chrząstki znajdujące się między powierzchniami stawowymi, zwiększające ich dopasowanie. W kolanie noszą one nazwę łąkotek.

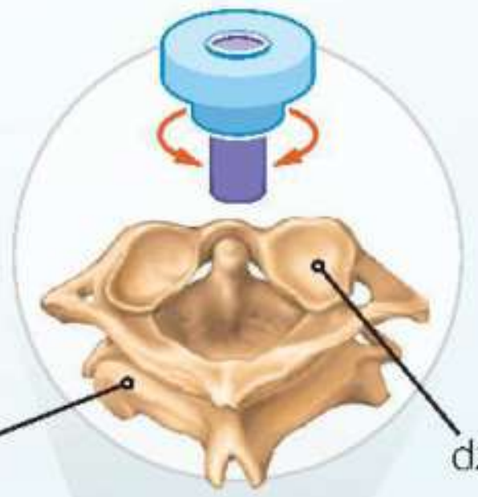
Budowa stawu łokciowego



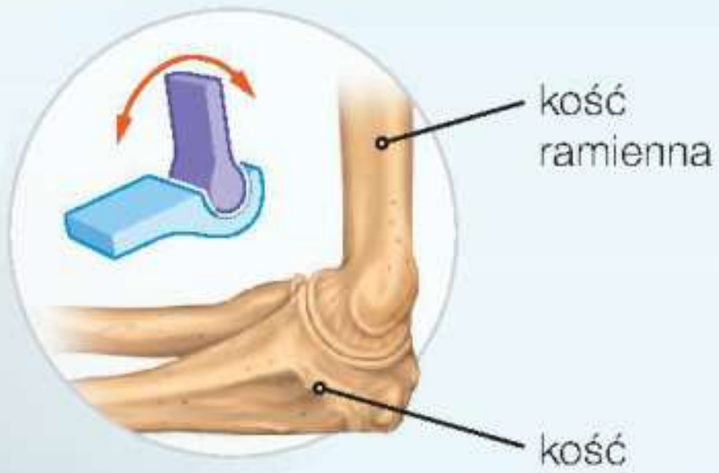
Rodzaje stawów

Najczęściej stosowany podział stawów opiera się na dwóch połączonych kryteriach. Są to: liczba płaszczyzn ruchu i kształt powierzchni stawowych. Na tej podstawie wyróżnia się stawy: kuliste, zawiasowe, siodełkowe, elipsoidalne, obrotowe i płaskie.

Staw obrotowy, np. staw między dźwigaczem a obrotnikiem, umożliwia ruchy w jednej płaszczyźnie – obrót wokół osi. Głowa stawu jest osadzona w panewce o kształcie pierścienia.



Staw zawiasowy, np. staw łokciowy, umożliwia ruchy w jednej płaszczyźnie – zginanie i prostowanie. Głowa stawu ma kształt walca, a panewka jest wklęsła.

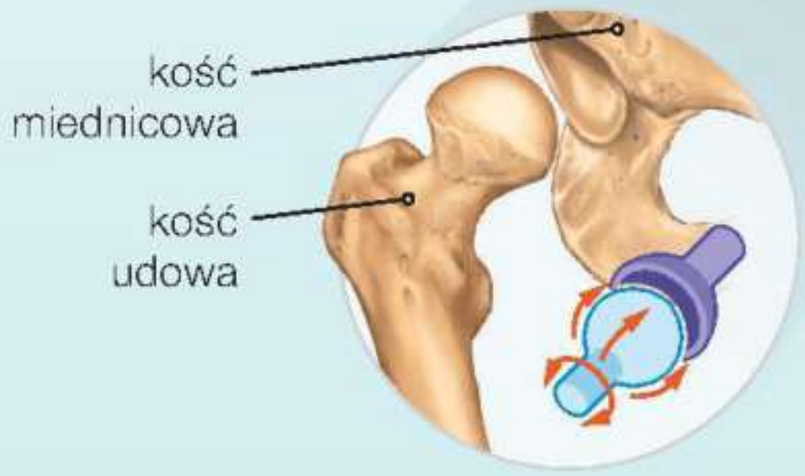




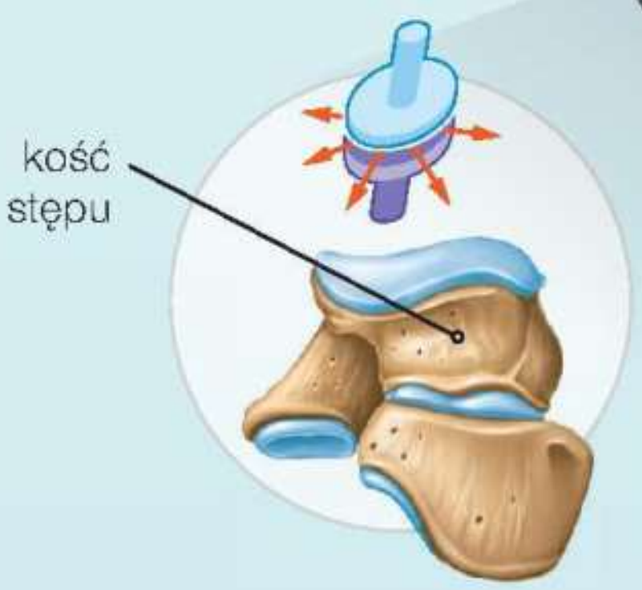
Staw siodełkowy, np. staw nadgarstkowo-śródręczny kciuka, umożliwia ruchy w dwóch płaszczyznach – przywodzenie i odwodzenie. Głowa i panewka stawu mają kształt siodła.



Staw elipsoidalny, np. staw promieniowo-nadgarstkowy, umożliwia ruchy w dwóch płaszczyznach – zginanie i prostowanie, przywodzenie i odwodzenie. Głowa i panewka stawu mają kształt elipsy.



Staw kulisty, np. staw biodrowy, umożliwia ruchy we wszystkich płaszczyznach – zginanie i prostowanie, przywodzenie i odwodzenie, obrót na zewnątrz i obrót do wewnątrz. Głowa stawu ma kształt kulisty, a panewka – wklęsły.

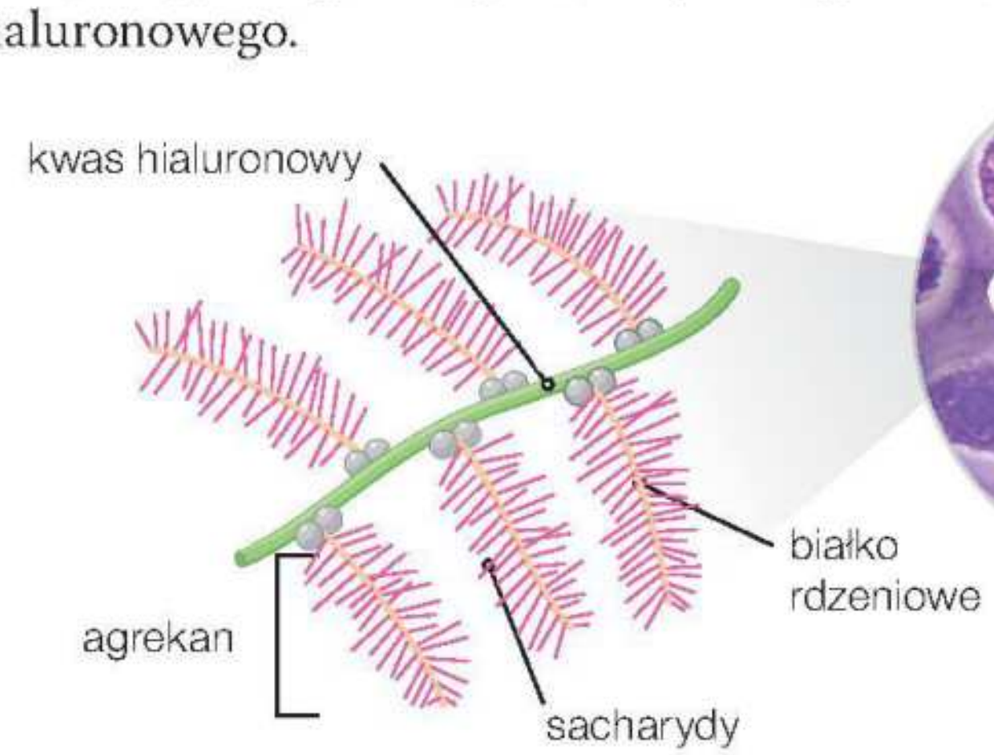


Staw płaski, występujący między kośćmi stępu, umożliwia niewielkie ruchy w wielu płaszczyznach. Powierzchnie stawowe są w nim prawie płaskie.

Dowiedz się więcej

Amortyzująca funkcja chrząstki

Chrząstki pokrywające powierzchnie stawowe kości pełnią m.in. funkcję amortyzującą. Zabezpieczają szkielet przed negatywnym oddziaływaniem wstrząsów powstających podczas ruchu. Komórki tkanki chrzęstnej wytwarzają dużą ilość substancji międzykomórkowej. Jej głównymi składnikami są kolagen oraz agregaty proteoglikanów – związków zbudowanych z białek i sacharydów. Podstawowym proteoglikanem tkanki chrzęstnej jest agrekan połączony z długimi cząsteczkami kwasu hialuronowego.





Agrekan jest zbudowany z białka rdzeniowego oraz liniowych cząsteczek sacharydów. Sacharydy wchodzące w skład agrekanu są silnie hydrofilowe i ujemnie naładowane. Dzięki temu przyciągają cząsteczki wody, które pod wpływem nacisku mogą być łatwo usuwane z chrząstki.

Podczas biegu agrekan amortyzuje siły nacisku powstające w stawach kończyny dolnej. Opieranie nogi o podłoże powoduje usuwanie wody z chrząstek, co zapobiega ich zgniataniu. Z kolei odrywanie nogi od podłoża skutkuje ponownym związaniem wody w chrząstkach.

Polecenia kontrolne

1. Wymień rodzaje połączeń kości i podaj po dwa przykłady każdego z nich.
2. Oceń, którego typu połączenia kości dotyczy każde z poniższych zdań.

Zdanie	Szwy	Chrząstkozrosty	Stawy
Kości w tych połączeniach łączą się za pomocą tkanki chrzęstnej.	?	?	?
Występują powszechnie w szkielecie dziecka, natomiast w szkielecie osoby dorosłej ulegają kostnieniu.	?	?	?
Łączą kości ściśle za pośrednictwem cienkiej warstwy tkanki włóknistej.	?	?	?
Występują np. w spojeniu łonowym oraz między żebrami a mostkiem.	?	?	?
Są rodzajem więzozrostu, występują m.in. w czaszce osoby dorosłej.	?	?	?

3. Omów budowę stawu. Podaj funkcje jego elementów.
4. Wymień rodzaje stawów i podaj ich przykłady.

3.4. Elementy szkieletu

Zwróć uwagę na:
- budowę szkieletu osiowego
- budowę szkieletu kończyn.

W skład szkieletu człowieka wchodzą szkielet osiowy oraz szkielet kończyn.

Szkielet osiowy

Szkielet osiowy pełni m.in. funkcje podporowe i ochronne. Składa się z czaszki, kręgosłupa oraz szkieletu klatki piersiowej.

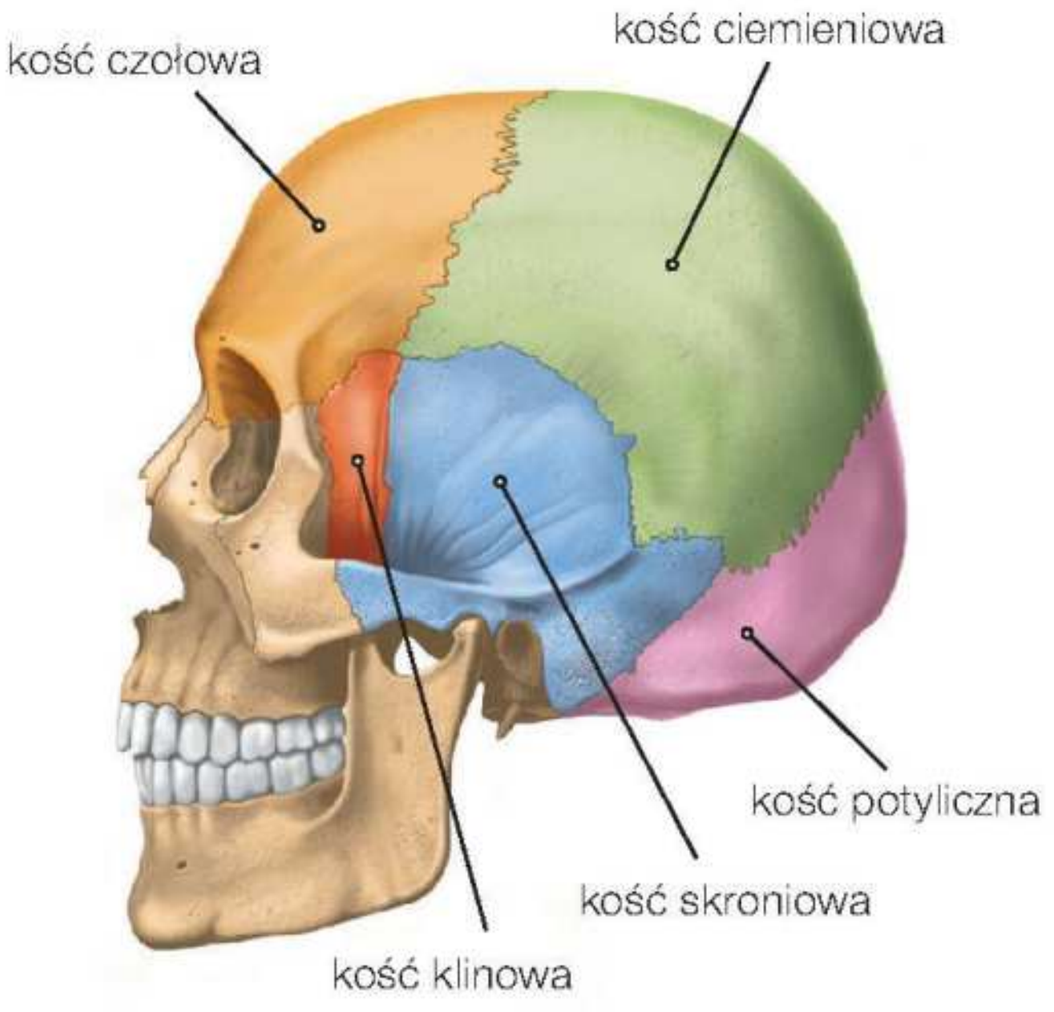
Czaszka

Czaszka stanowi szkielet głowy. Jej część górna, tylna – zwana **mózgoczaszką** – chroni mózgowie. Natomiast część przednia, dolna – zwana **twarzoczaszką** – chroni początkowe odcinki przewodu pokarmowego i dróg oddechowych, a także większość narządów zmysłów. Do szkieletu głowy zalicza się także niestykające się bezpośrednio z czaszką **kosteczki słuchowe** – młoteczek, kowadełko i strzemiączko.

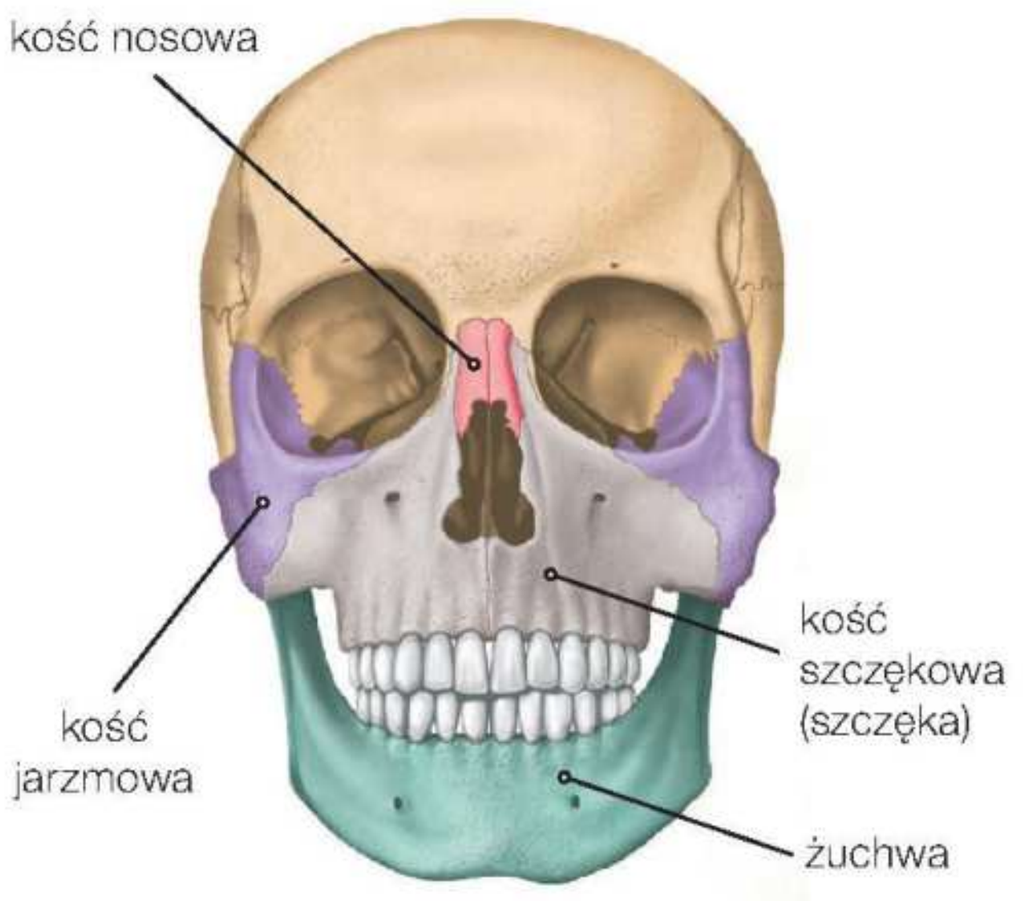
U osób dorosłych mózgoczaszkę tworzą kości połączone ze sobą nieruchomo za pomocą **szwów**, które z więzozrostów występujących u dzieci przekształcają się stopniowo w kościozrosty. U noworodków kości mózgoczaszki są oddzielone pasmami tkanki łącznej, które na styku kości tworzą pola zwane **ciemiączkami**. Ich obecność umożliwia przejście głowy dziecka przez kanał rodny podczas porodu oraz późniejszy wzrost i rozwój mózgowia.

Budowa czaszki

W budowie czaszki wyróżnia się mózgoczaszkę i twarzoczaszkę (trzewioczaszkę).



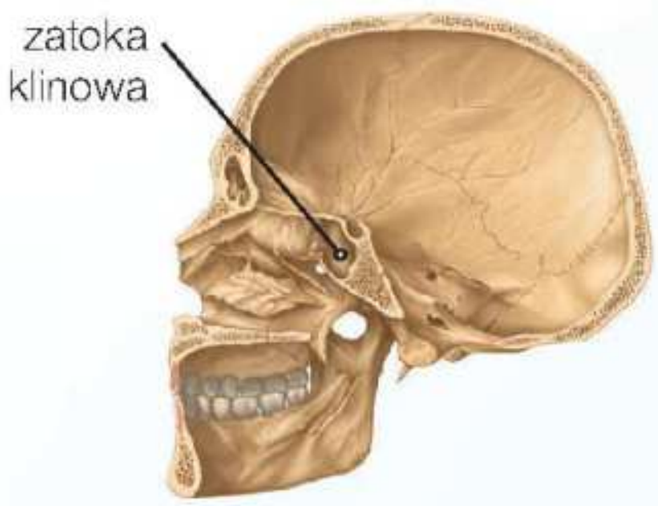
W skład mózgoczaszki wchodzą kości parzyste – ciemieniowe i skroniowe – oraz kości nieparzyste – czołowa, klinowa, potyliczna i sitowa. Kość sitowa ogranicza oczodoły i jamę nosową.



W skład twarzoczaszki wchodzą m.in. kości parzyste – łzowe, nosowe, szczękowe i jarzmowe – oraz kości nieparzyste – gnykowa i żuchwa (jedyna ruchoma część czaszki).

Zatoki przynosowe

W kościach czaszki sąsiadujących z jamą nosową znajdują się zatoki przynosowe. Są to przestrzenie wyścielane błoną śluzową i wypełnione powietrzem. Ich nazwy pochodzą od nazw kości, w których występują. Zatoki przynosowe są połączone z jamą nosową. Biorą one udział w ogrzewaniu i nawilżaniu powietrza wdychanego przez nos, pełnią też funkcję rezonatorów i wpływają na barwę głosu.
Ich obecność zmniejsza masę twarzoczaszki.





Zatoki są połączone z jamą nosową cienkimi kanałami, które na skutek infekcji często się zatykają. Powoduje to m.in. uczucie zatkanego nosa i utratę powonienia.

W skład twarzoczaszki wchodzi kilkanaście kości. Mają one liczne, niewielkie otwory, przez które przechodzą naczynia krwionośne i nerwy.

Między kośćmi twarzoczaszki występują różne połączenia. Jedyna ruchoma kość czaszki – **żuchwa** – jest połączona stawowo z kością skroniową.

Kręgosłup

Kręgosłup biegnie od podstawy czaszki do końca tułowia. Stanowi oś i główną podporę ciała oraz ochronę dla rdzenia kręgowego. Kręgosłup składa się z kręgów ułożonych jeden na drugim. Wyróżnia się w nim pięć odcinków: **szyjny, piersiowy, lędźwiowy, krzyżowy** i **ogonowy**. Kręgi są połączone za pomocą chrzęstnych **krążków międzykręgowych**, zwanych również dyskami, które znajdują się między poszczególnymi kręgami. Amortyzują one wstrząsy powstające w czasie chodzenia, umożliwiają też zginanie i prostowanie ciała oraz wykonywanie ruchów bocznych i obrotowych. Prawidłowo zbudowany kręgosłup, widziany z boku, przypomina kształtem literę S. Wśród naturalnych krzywizn kręgosłupa wyróżnia się **lordozy**, czyli wygięcia w stronę brzuszną, oraz **kifozy**, czyli wygięcia w stronę grzbietową. Lordozy występują w odcinkach szyjnym i lędźwiowym, a kifozy – w odcinkach piersiowym i krzyżowym. Fizjologiczne wygięcia kręgosłupa są przystosowaniem do dwunożności. Amortyzują one wstrząsy i umożliwiają prawidłowe przenoszenie ciężaru ciała.

Większość kręgów jest zbudowana z **trzonu, łuku** oraz odchodzących od niego **wyrostków**. Masywny trzon kręgu jest zwrócony ku przodowi ciała. Od trzonu ku tyłowi ciała odchodzi łuk kręgowy, który ogranicza otwór kręgowy. Łuki sąsiadujących ze sobą kręgów tworzą **kanał kręgowy** ochraniający rdzeń kręgowy. Od łuku kręgowego odchodzą wyrostki:

- **kolczysty** – znajdujący się w linii środkowej, skierowany ku tyłowi, pojedynczy. Stanowi on mocne oparcie dla mięśni;
- **poprzeczne** – odchodzące w kierunku bocznym, parzyste. Służą jako miejsca przyczepu mięśni i więzadeł;
- **stawowe** – dwa górne zwrócone ku tyłowi i dwa dolne zwrócone ku przodowi. Służą do łączenia sąsiednich kręgów.

Budowa kręgosłupa

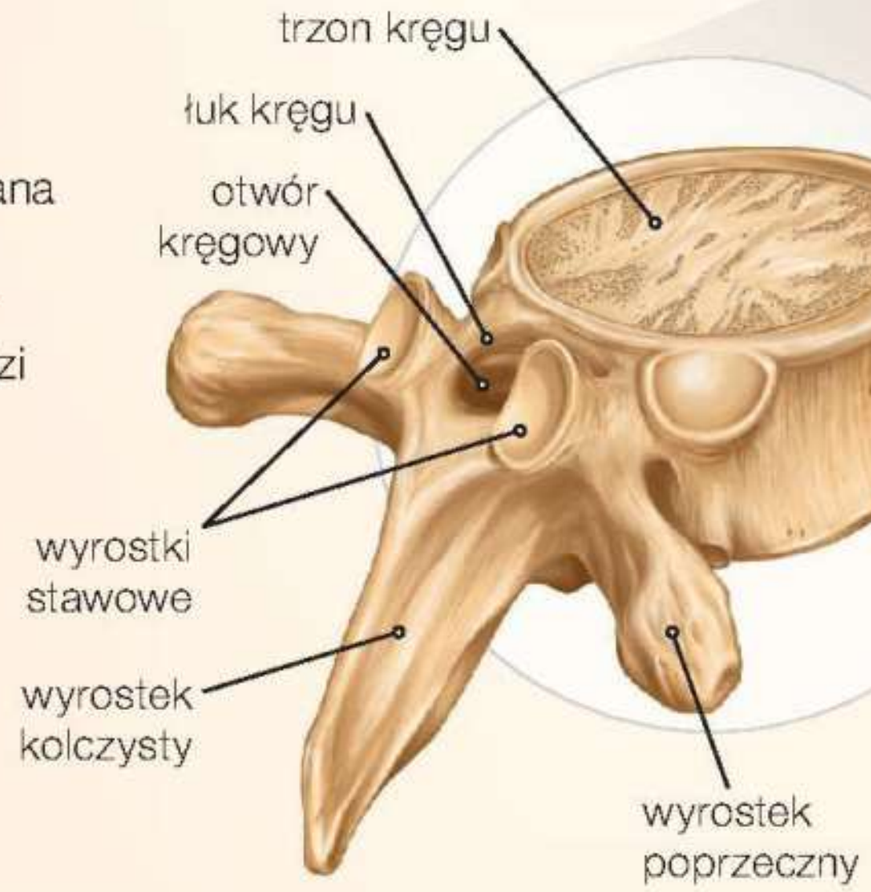
Kręgosłup składa się z 33–34 kręgów połączonych krążkami międzykręgowymi. Można w nim wyróżnić 5 odcinków: szyjny, piersiowy, lędźwiowy, krzyżowy oraz ogonowy (guziczny).

- **Odcinek szyjny** – składa się 7 kręgów i stanowi oparcie dla czaszki. Kręgi szyjne mają niewielkie trzony oraz łuki z małymi wyrostkami. Pierwszy i drugi kręg wchodzą w skład stawu obrotowego.
- **Odcinek piersiowy** – składa się z 12 stosunkowo dużych kręgów piersiowych. Odcinek ten wchodzi w skład klatki piersiowej.
- **Odcinek lędźwiowy** – składa się z 5 kręgów, które dźwigają ciężar górnej części ciała. Kręgi lędźwiowe są największymi i najmasywniejszymi kręgami.
- **Odcinek krzyżowy** – składa się z 5 zrośniętych ze sobą kręgów tworzących kość krzyżową. Kość ta jest jedną z kości budujących miednicę.
- **Odcinek ogonowy** – składa się z 4 lub 5 zredukowanych kręgów. U starszych osób kręgi ogonowe mogą zrastać się w jedną kość.



Budowa kręgów

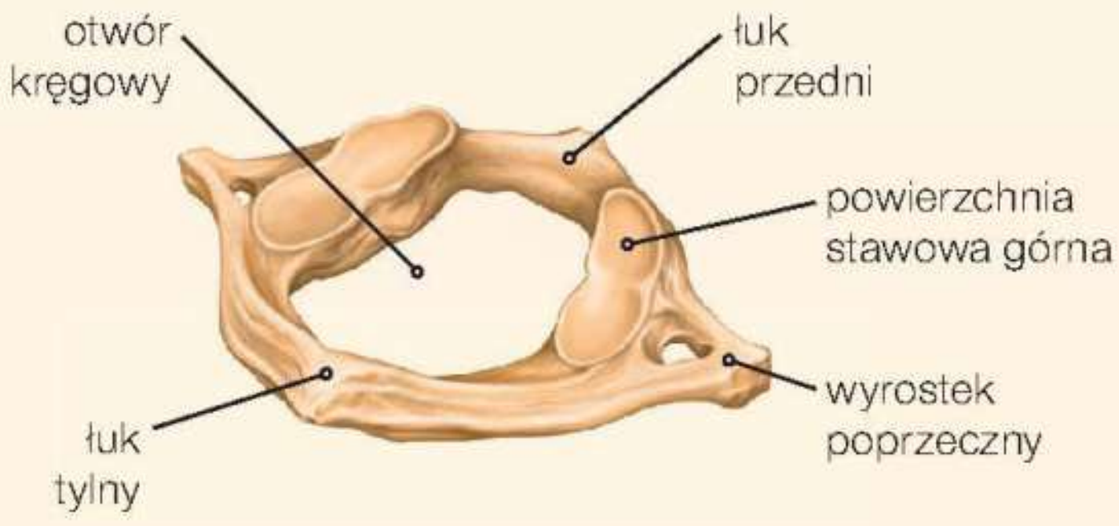
Kręgi to kości różnokształtne. Większość z nich jest zbudowana z trzonu, łuku oraz wyrostków. Łuki kręgów ograniczają otwór kręgowy, przez który przechodzi rdzeń kręgowy.



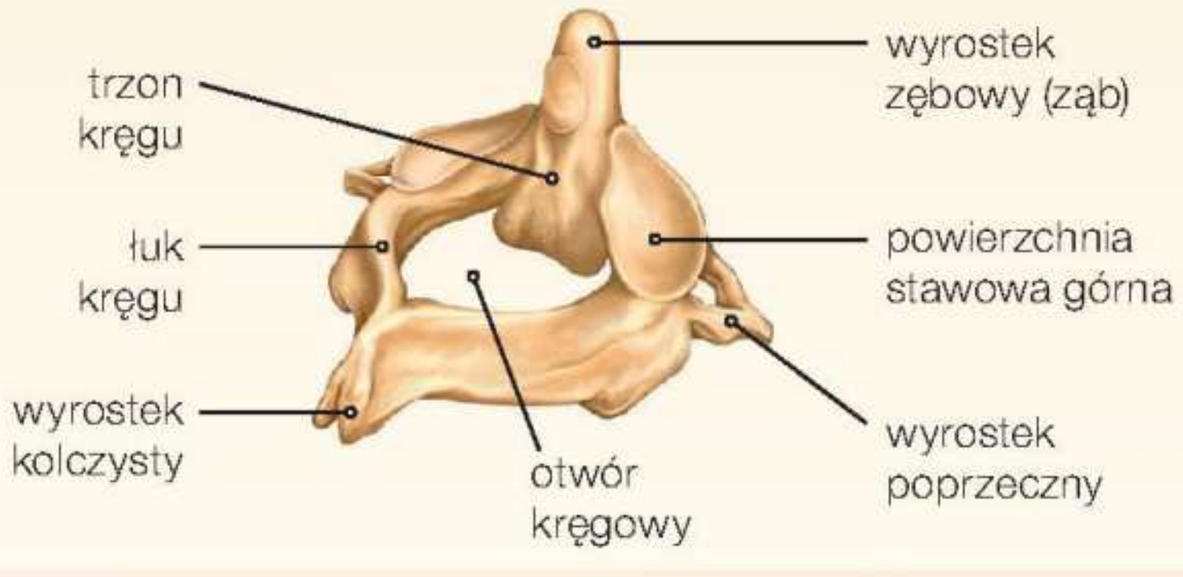
Rodzaje kręgów

Kręgi poszczególnych odcinków różnią się od siebie szczegółami budowy, wynikającymi z ich położenia w kręgosłupie i przystosowania do pełnionej funkcji.

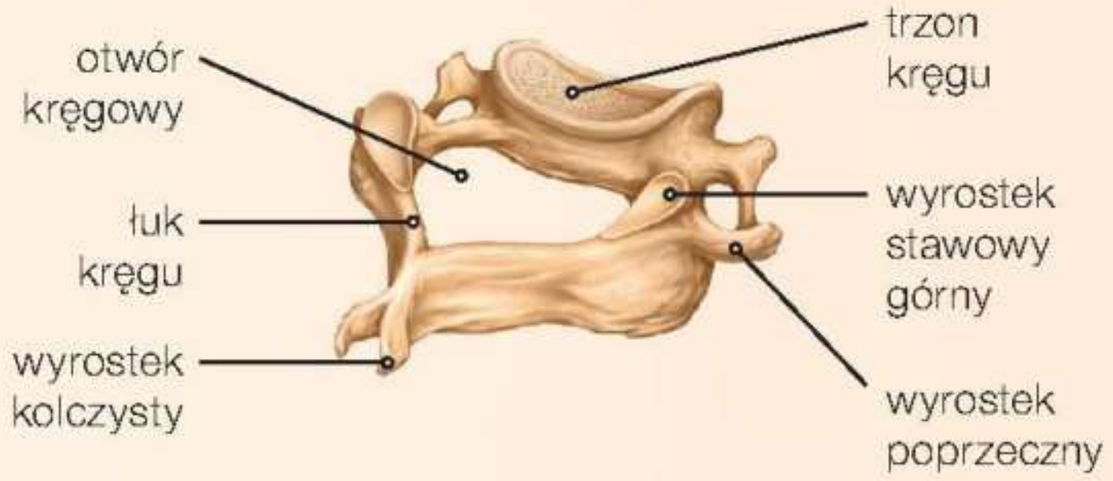
- **Dźwigacz** (atlas, kręg szczytowy) to pierwszy kręg szyjny. Nie ma trzonu, lecz składa się z dwóch łuków. Na tylnej części łuku przedniego leży powierzchnia stawowa połączona z zębem obrotnika. Na częściach bocznych znajdują się powierzchnie stawowe dla kłykci potylicznych czaszki oraz następnego kręgu. Dźwigacz umożliwia wykonywanie ruchów potakujących.



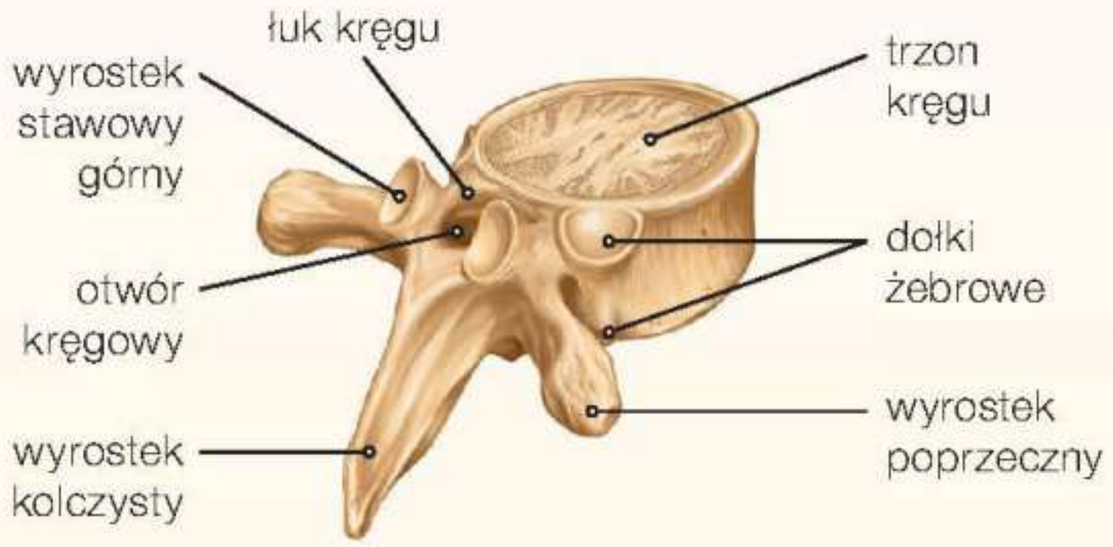
Obrotnik (kręg obrotowy) to drugi kręg szyjny. Ma trzon wyposażony w wyrostek zębowy, zwany również zębem. Ruchy przeczące głowy są możliwe dzięki obracaniu się dźwigacza wokół wyrostka zębowego.



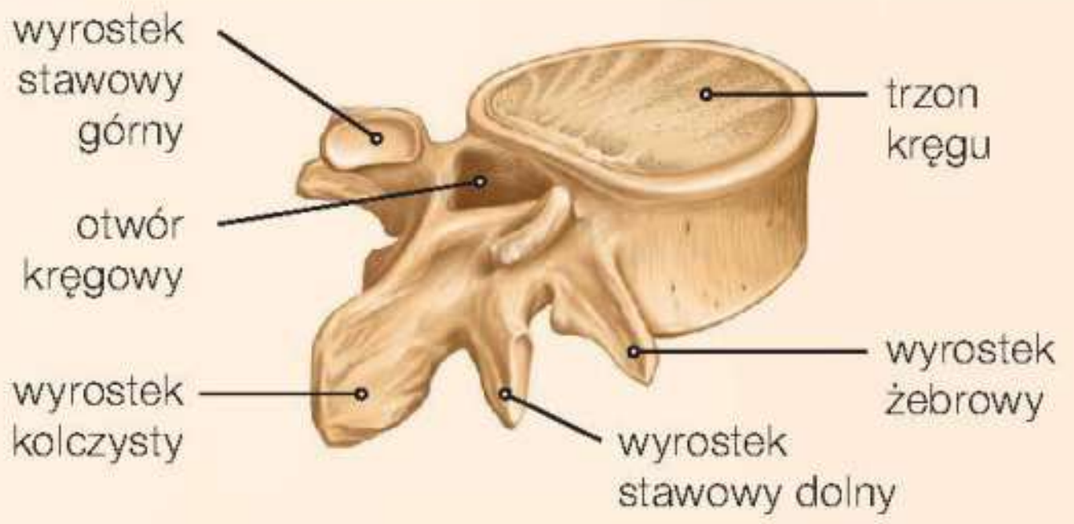
Typowe kręgi szyjne – od trzeciego do szóstego – mają małe trzony, rozwidlone wyrostki kolczyste i niskie wyrostki stawowe. W wyrostkach poprzecznych znajdują się pionowe otwory, przez które przechodzą tętnice i żyły kręgowe. Otwór kręgowy ma trójkątny kształt.



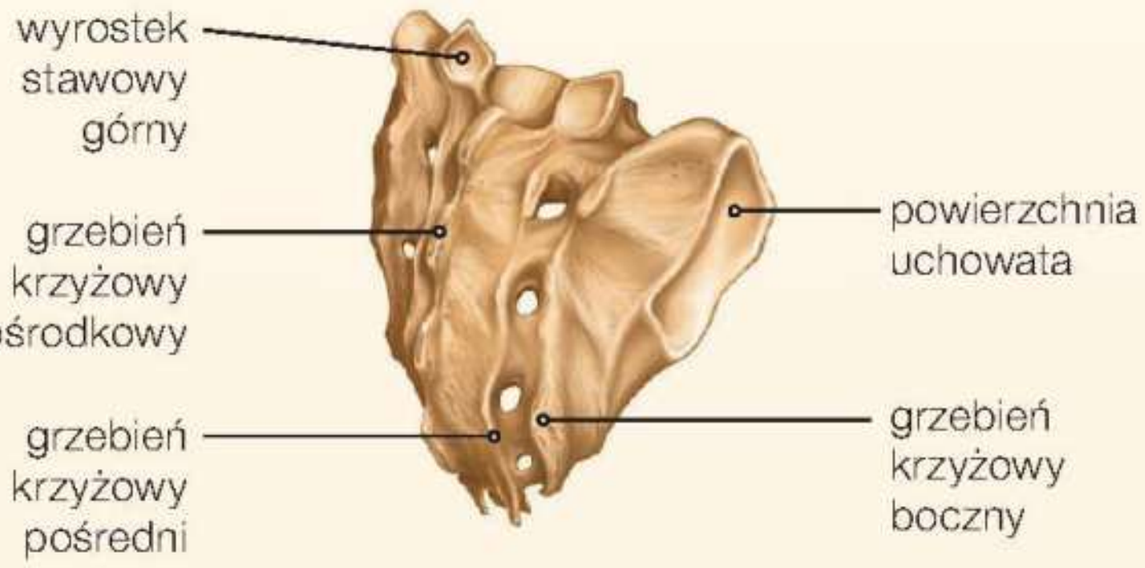
Kręgi piersiowe są większe od kręgów szyjnych. Na bokach ich trzonów znajdują się powierzchnie stawowe żeber (dołki żebrowe). Długie i pochylone ku dołowi wyrostki kolczyste zachodzą na siebie, co uniemożliwia wyginanie się odcinka piersiowego do tyłu.



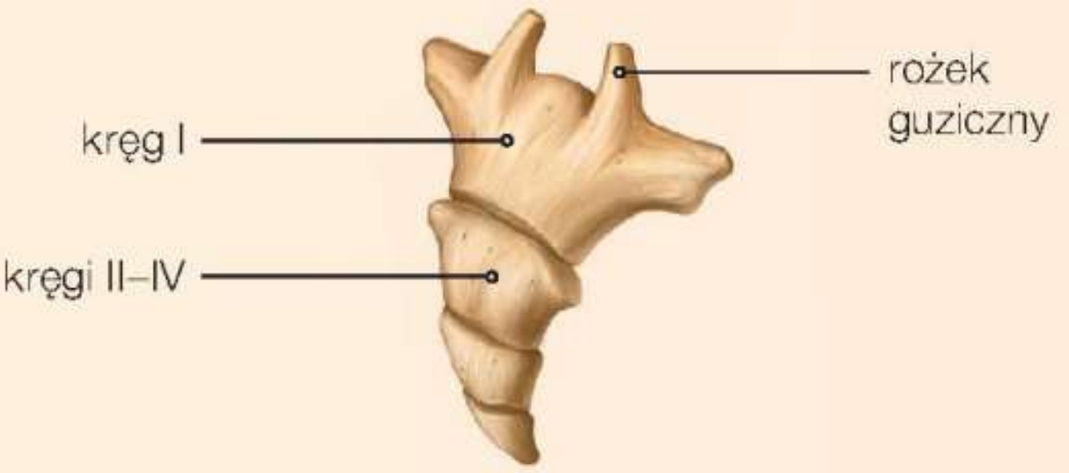
Kręgi lędźwiowe, największe ze wszystkich kręgów, mają trzony o kształcie nerkowatym. Ustawione poziomo wysokie i płaskie wyrostki kolczyste pozwalają na wyginanie się odcinka lędźwiowego do tyłu. Wyrostki poprzeczne, nazywane żebrowymi, są cienkie i długie.



Kość krzyżowa o kształcie klina powstaje ze zrośnięcia się kręgów krzyżowych. Kość ta ma cztery powierzchnie stawowe. Górna łączy się z ostatnim kręgiem lędźwiowym, dolna – z kością guziczną, a dwie boczne – z kośćmi miednicy.



Kręg ogonowy łączący się z kością krzyżową ma wyrostki stawowe. Pozostałe kręgi są zbudowane jedynie z małych, trójkątnych trzonów.



Szkielet klatki piersiowej

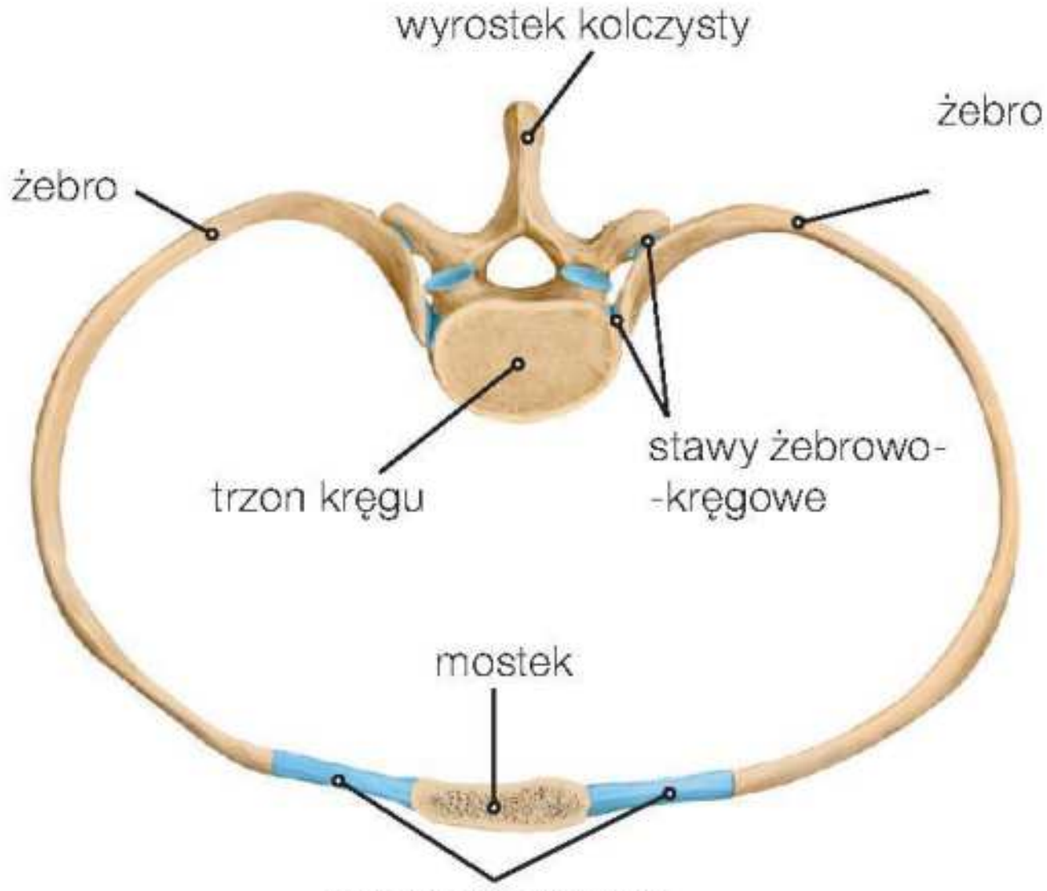
Szkielet klatki piersiowej tworzą: piersiowy odcinek kręgosłupa, 12 par żeber oraz mostek, które są połączone ze sobą stawami i chrząstkozrostami. Dzięki chrzęstno-kostnej budowie klatka piersiowa jest mocna i sprężysta. Zapewnia ochronę znajdującym się w niej narządom, m.in. płucom i sercu. Jej zdolność do zmiany objętości umożliwia wykonywanie wdechów i wydechów.

Żebra to **kości długie,** spłaszczone w związku z pełnioną funkcją. Ich trzony nie mają jamy szpikowej. Większość żeber ma jeden koniec (tylny) połączony stawowo z kręgosłupem, a drugi (przedni) z mostkiem. W zależności od sposobu połączenia żeber w obrębie klatki piersiowej wyróżnia się:

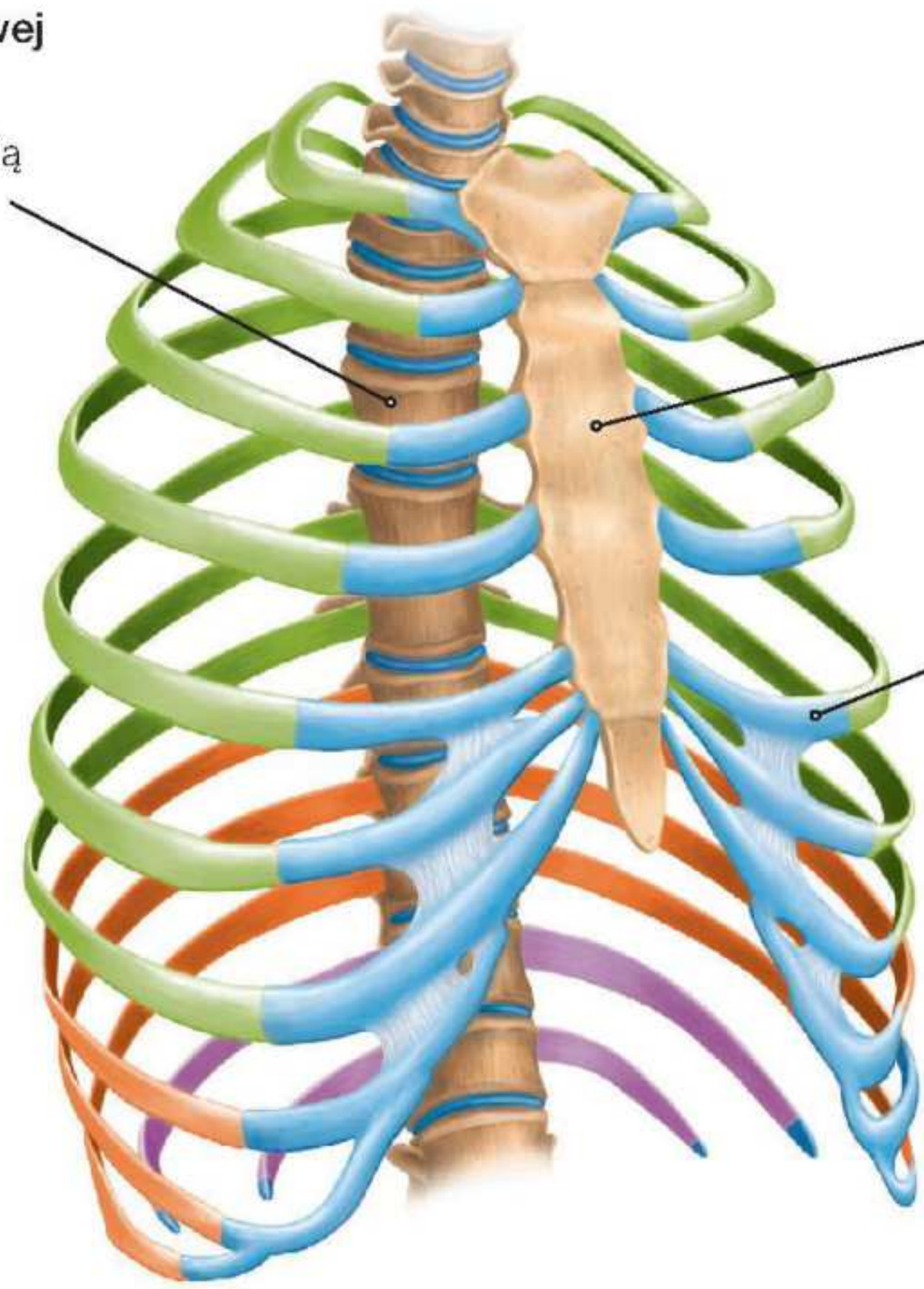
- **żebra prawdziwe** (pary I–VII) – dochodzą bezpośrednio do mostka i łączą się z nim za pomocą chrząstek żebrowych,
- **żebra rzekome** (pary VIII–X) – łączą się z mostkiem przez chrząstkę żebra VII,
- **żebra wolne** (pary XI i XII) – nie mają połączenia z mostkiem, kończą się swobodnie w ścianach jamy brzusznej.

Mostek jest nieparzystą kością płaską, zamykającą klatkę piersiową od przodu. Składa się z trzech części: rozszerzonej górnej (rękojeści mostka), wydłużonej środkowej (trzonu mostka), a także małej, wąskiej dolnej (wyrostka mieczykowatego mostka).

Połączenie żeber z kręgiem piersiowym i mostkiem



Budowa klatki piersiowej



Kręgi piersiowe – stanowią miejsce przyczepu żeber.

Żebra prawdziwe (7 par) – łączą się z mostkiem bezpośrednio za pomocą chrząstek.

Żebra rzekome (3 pary) – łączą się z mostkiem za pośrednictwem chrząstki siódmego żebra.

Żebra wolne (2 pary) – nie są połączone z mostkiem.

Mostek – należy do kości płaskich. Stanowi miejsce przyczepu żeber i ochrania serce.

Chrząstki żebrowe – łączą żebra z mostkiem.

żebra prawdziwe
żebra rzekome
żebra wolne
chrząstki żebrowe

Szkielet kończyn

Do szkieletu kończyn zalicza się: kości kończyn górnych wolnych, kości obręczy barkowej, kości kończyn dolnych wolnych oraz kości obręczy miednicowej (miednicznej). Kończyny dolne mają podobną budowę do kończyn górnych, ale ich kości są zdecydowanie masywniejsze, ponieważ muszą utrzymywać ciężar górnej części ciała.

Szkielet kończyny górnej

Szkielet kończyny górnej składa się ze **szkieletu kończyny górnej wolnej** oraz **szkieletu obręczy barkowej**. W skład szkieletu kończyny górnej wolnej wchodzą: kość ramienna, kości przedramienia (łokciowa i promieniowa) oraz kości ręki (nadgarstka, śródręcza i palców). Z kolei szkielet obręczy barkowej tworzą dwa obojczyki oraz dwie łopatki. Obojczyk łączy kość ramienną z mostkiem, który jest częścią szkieletu osiowego, natomiast łopatka tworzy z kością ramienną **staw barkowy** (ramienny).

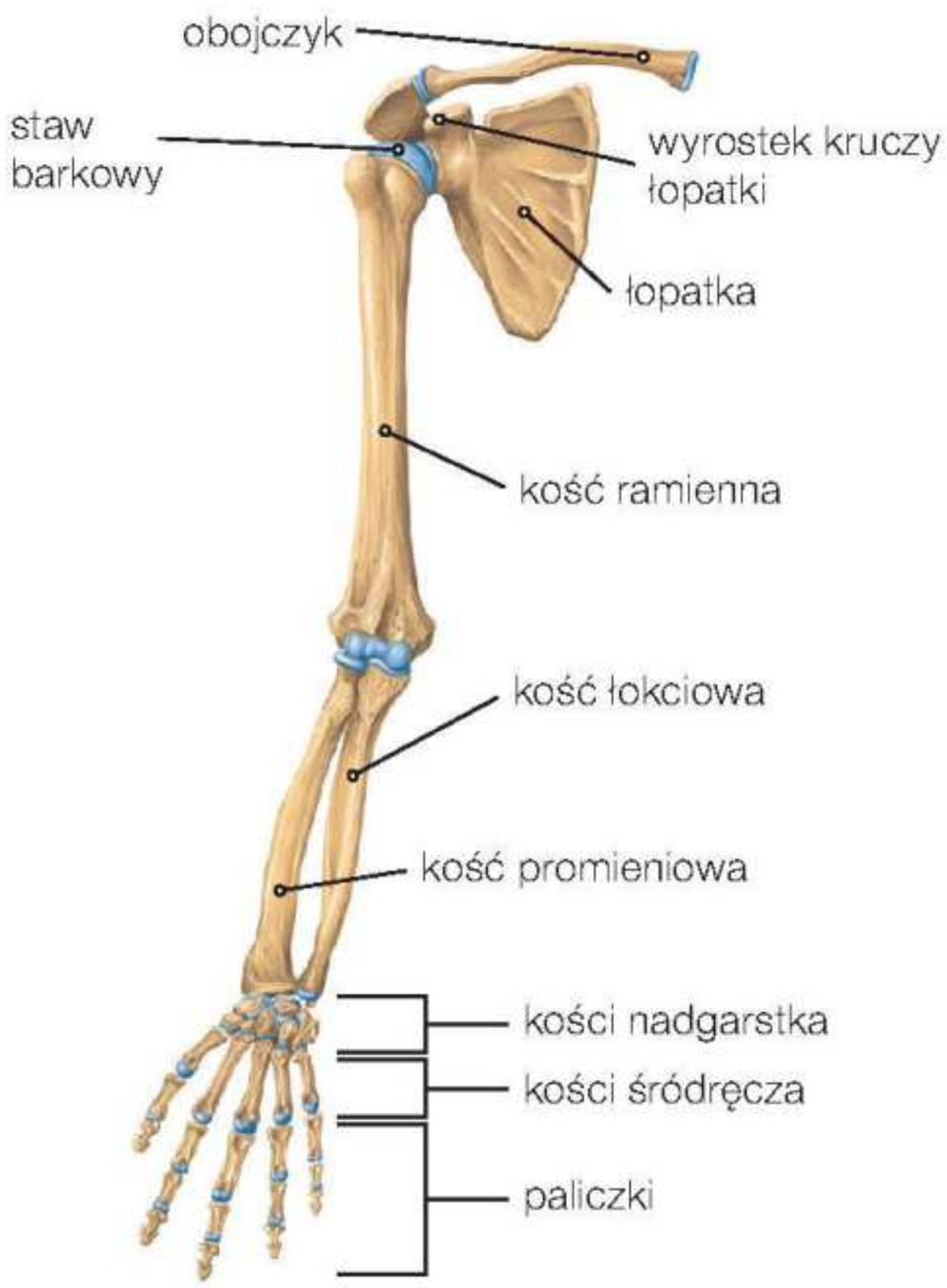
Kości kończyny górnej wraz z łączącymi je stawami oraz mięśniami umożliwiają wykonywanie różnorodnych, nawet bardzo precyzyjnych ruchów. Z tego powodu kończyna górna pełni funkcje: chwytną, manipulacyjną, lokomocyjną (wspinaczka, pływanie) oraz komunikacyjną (gesty).

Szkielet kończyny dolnej

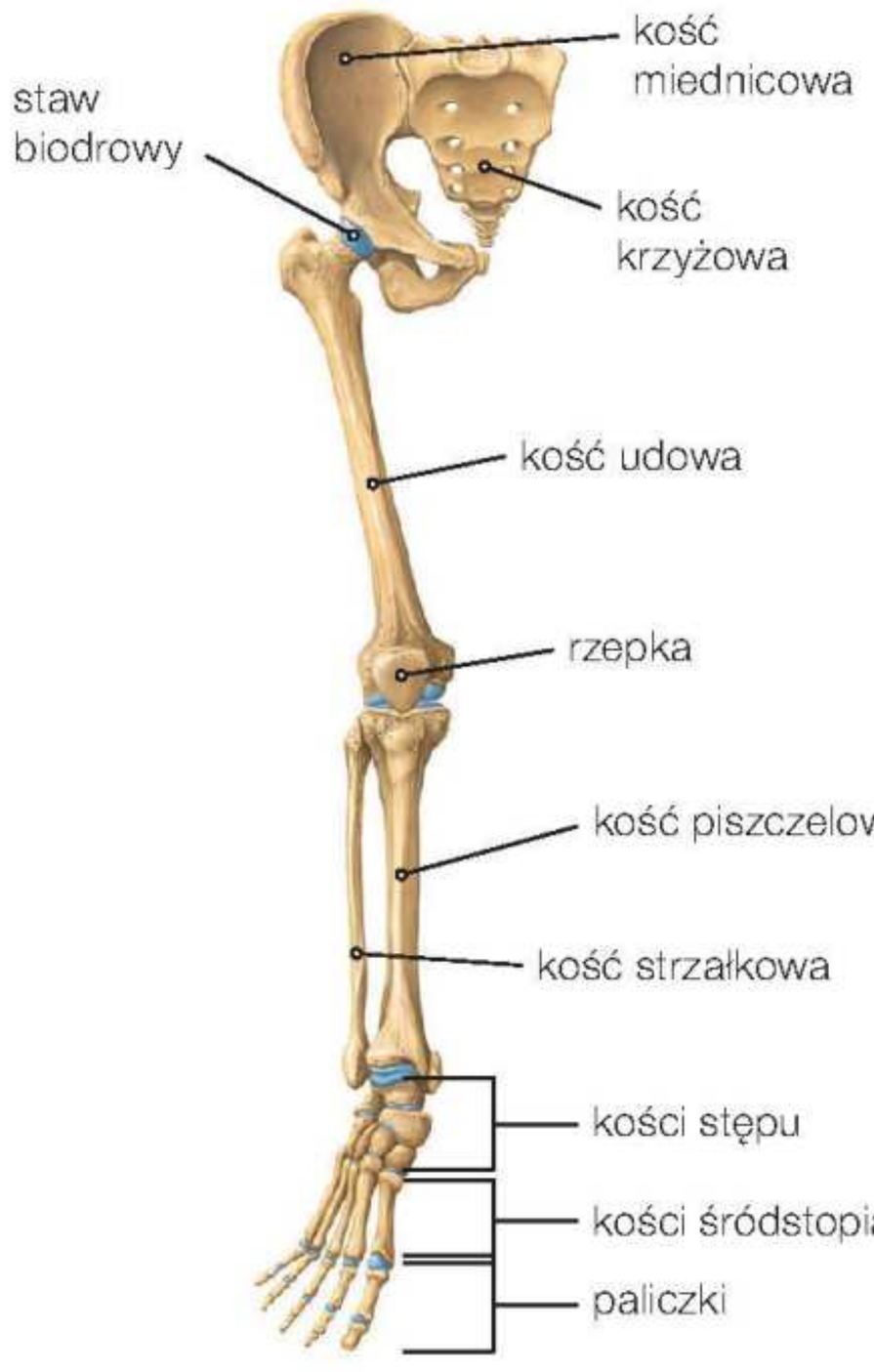
Szkielet kończyny dolnej składa się ze **szkieletu kończyny dolnej wolnej** oraz **szkieletu obręczy miednicowej**. W skład szkieletu kończyny dolnej wolnej wchodzą: kość udowa, kości podudzia (piszczelowa i strzałkowa) oraz kości stopy (stępu, śródstopia i palców). Z kolei szkielet obręczy miednicowej – miednicy – tworzą kość krzyżowa, kość guziczna oraz dwie kości miednicowe (miedniczne) powstałe ze zrośnięcia kości biodrowych, kulszowych i łonowych. Kość miednicowa tworzy z kością udową **staw biodrowy** oraz łączy szkielet kończyny dolnej wolnej z kręgosłupem, który jest częścią szkieletu osiowego. Obie kości miednicowe są połączone od przodu **spojeniem łonowym**.

Kończyna dolna pełni funkcję lokomocyjną – umożliwia poruszanie się.

Budowa kończyny górnej



Budowa kończyny dolnej



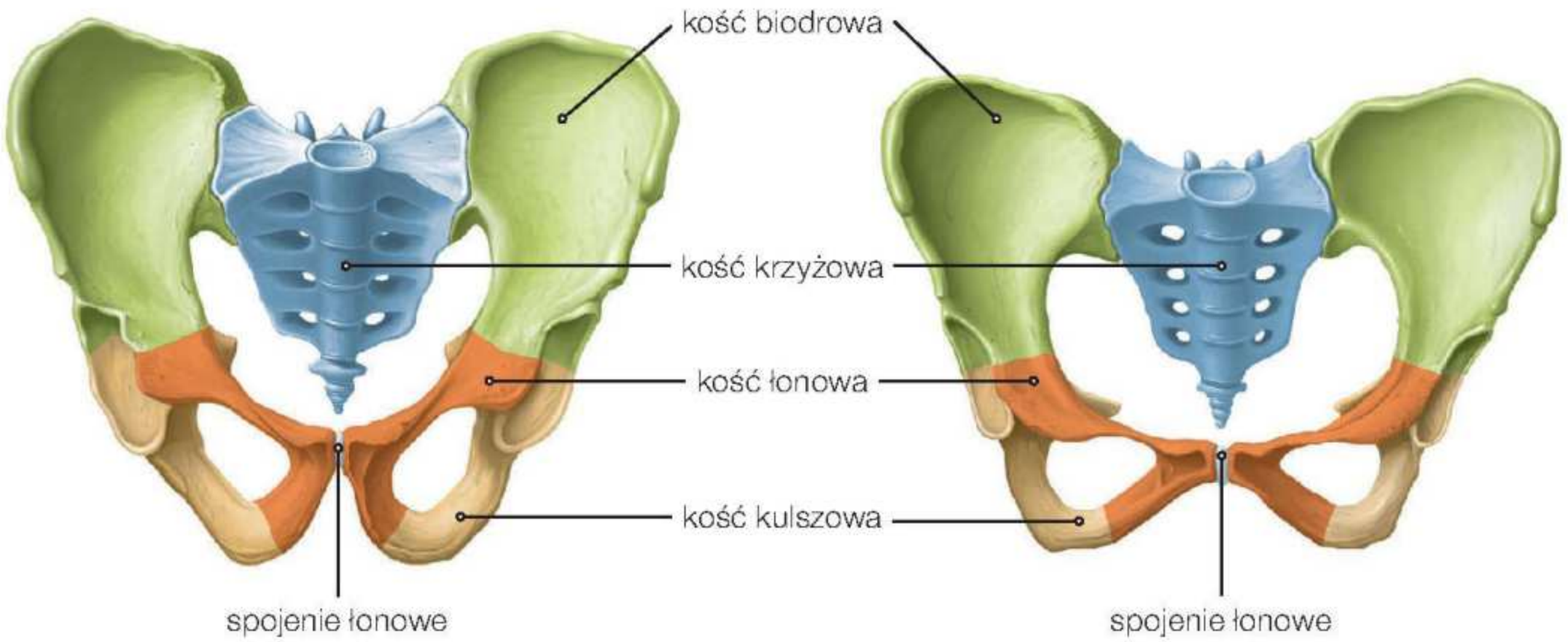
Czy wiesz, że...

W różnych miejscach ciała występują drobne kostki, zwane trzeszczkami, włączone w ścięgna lub więzadła. Największą trzeszczką człowieka jest rzepka znajdująca się w stawie kolanowym. Z kolei w stopie występują dwie trzeszczki, które są zlokalizowane po obu stronach pierwszej kości śródstopia. Główną funkcją trzeszczek kończyny dolnej jest amortyzowanie wstrząsów powstających podczas chodzenia, biegania czy skakania.



Porównanie miednicy kobiety z miednicą mężczyzny

Miednica kobiety, ze względu na przystosowanie do porodu, różni się szczegółami budowy od miednicy mężczyzny.



Miednica mężczyzny ma wąski, sercowaty otwór górny, a jej kanał, czyli przestrzeń ograniczona przez kości, ma kształt lejka. Kąt między kośćmi łonowymi jest ostry.

Miednica kobiety jest niższa i szersza niż miednica mężczyzny, a kości biodrowe są bardziej rozchylone na boki. Otwór górny miednicy jest duży i owalny, a jej kanał ma kształt cylindryczny. Kąt między kośćmi łonowymi jest rozwarty.

Polecenia kontrolne

1. Podaj funkcje poszczególnych elementów szkieletu osiowego.
2. Określ rolę mózgoczaszki i twarzoczaszki.
3. Wyjaśnij, jaką funkcję pełnią zatoki przynosowe.
4. Omów budowę kręgosłupa.
5. Porównaj budowę kręgu piersiowego z budową kręgu lędźwiowego. Wymień trzy cechy, którymi różnią się te kręgi.
6. Wyjaśnij związek między budową klatki piersiowej a jej funkcjami.
7. Wymień odcinki kręgosłupa, w których występują naturalne krzywizny. Określ rolę krzywizn.
8. Porównaj budowę kończyny górnej z budową kończyny dolnej.
9. Wymień trzy cechy szkieletu, na podstawie których można przypuszczać, że należy on do kobiety, a nie do mężczyzny.

3.5. Budowa i funkcjonowanie układu mięśniowego

Zwróć uwagę na:
- podział i budowę mięśni szkieletowych,
- mechanizm skurczu mięśni,
- źródła energii dla mięśni,
- antagonizm i współdziałanie mięśni w wykonywaniu ruchów.

Mięśnie są narządami odpowiedzialnymi za ruch. Ich cechami charakterystycznymi są:
- **pobudliwość**, czyli zdolność reagowania na bodźce dopływające ze środowiska zewnętrznego lub wewnętrznego organizmu,
- **kurczliwość**, czyli zdolność wykonywania skurczów, których wynikiem jest zmiana długości lub napięcia mięśni.

Wszystkie mięśnie ciała tworzą układ mięśniowy. Ze względu na rodzaj budujących je tkanek wyróżnia się mięśnie szkieletowe, mięsień sercowy oraz mięśnie gładkie.

Mięśnie szkieletowe

Mięśnie szkieletowe są przymocowane do kości szkieletu. Dzięki temu stanowią część czynną układu ruchu – umożliwiają ruch całego organizmu lub jego części oraz utrzymują odpowiednią postawę ciała. Do pozostałych funkcji mięśni szkieletowych zalicza się wytwarzanie ciepła i wspomaganie układu krążenia.

Mięśnie szkieletowe są zbudowane z **tkanki mięśniowej poprzecznie prążkowanej szkieletowej**. Głównym elementem strukturalnym tej tkanki są długie, cylindryczne, wielojądrowe włókna mięśniowe. Odznaczają się one dużą zawartością regularnie ułożonych miofibryli, co pozwala na wykonywanie szybkich i silnych skurczów. Skurcze mięśni poprzecznie prążkowanych są zwykle zależne od woli.

Mięśnie szkieletowe dzieli się na grupy według różnych kryteriów:
- ze względu na położenie wyróżnia się mięśnie: głowy, szyi, klatki piersiowej, grzbietu, brzucha oraz kończyn,
- ze względu na kształt wyróżnia się mięśnie: długie (np. mięśnie kończyn), krótkie (np. niektóre mięśnie kręgosłupa), szerokie (np. mięśnie brzucha) oraz mieszane (np. mięsień okrężny ust),
- ze względu na zakres wykonywanych ruchów wyróżnia się m.in. zginacze i prostowniki oraz przywodziciele i odwodziciele.

Położenie mięśni szkieletowych a ich funkcja

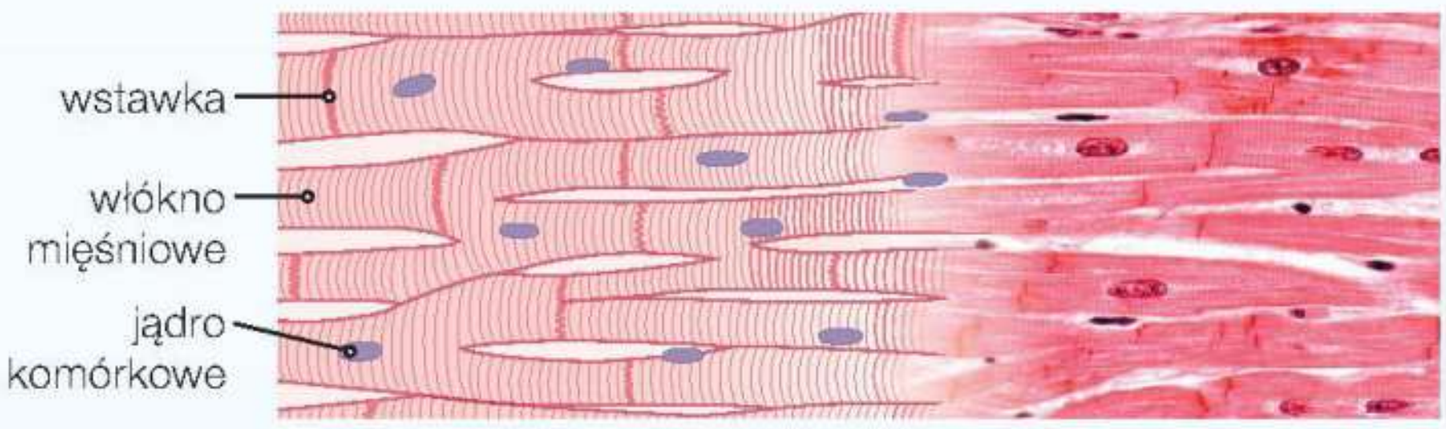
Położenie	Przykłady funkcji
Mięśnie głowy	• odpowiadają za mimikę twarzy • uczestniczą w rozdrabnianiu pokarmów
Mięśnie szyi	• umożliwiają ruchy głowy
Mięśnie klatki piersiowej	• uczestniczą w ruchach oddechowych • uczestniczą w ruchach ramion
Mięśnie grzbietu	• pozwalają zachować prawidłową postawę ciała • uczestniczą w ruchach ramion
Mięśnie brzucha	• pozwalają poruszać tułowiem i zachować prawidłową postawę ciała
Mięśnie kończyny górnej	• umożliwiają ruchy kończyny górnej
Mięśnie kończyny dolnej	• utrzymują ciężar ciała • umożliwiają ruchy kończyny dolnej

Przypomnij sobie

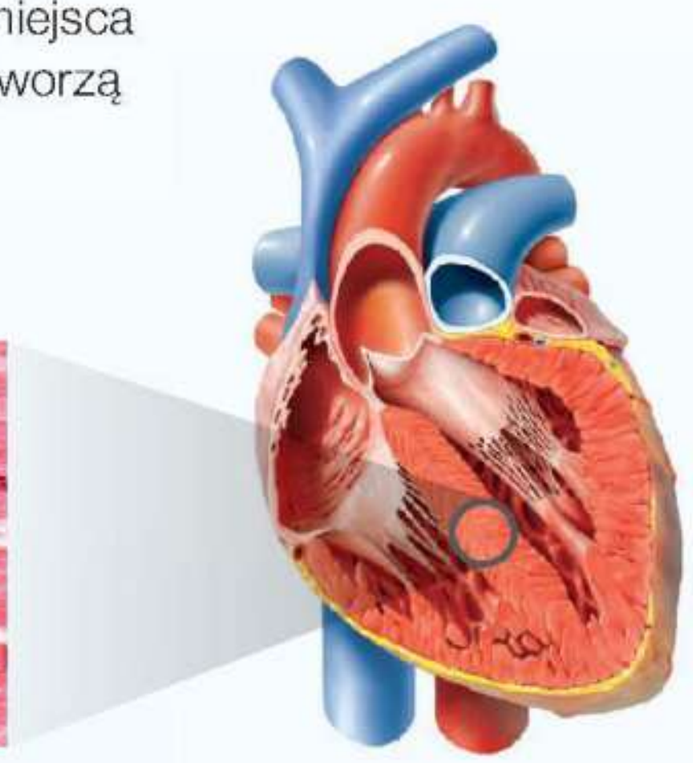
Mięsień sercowy i mięśnie gładkie

Mięsień sercowy

Mięsień sercowy jest zbudowany z **tkanki mięśniowej poprzecznie prążkowanej serca**. Komórki tej tkanki, zwane również kardiomiocytami albo włóknami mięśniowymi, mają widlasto rozgałęzione końce oraz jedno lub dwa jądra położone centralnie. Komórki przylegają do siebie, a miejsca ich styku są widoczne jako tzw. wstawki. Dzięki nim kardiomiocyty tworzą przestrzenną sieć, której skurcz zmniejsza objętość jam serca.



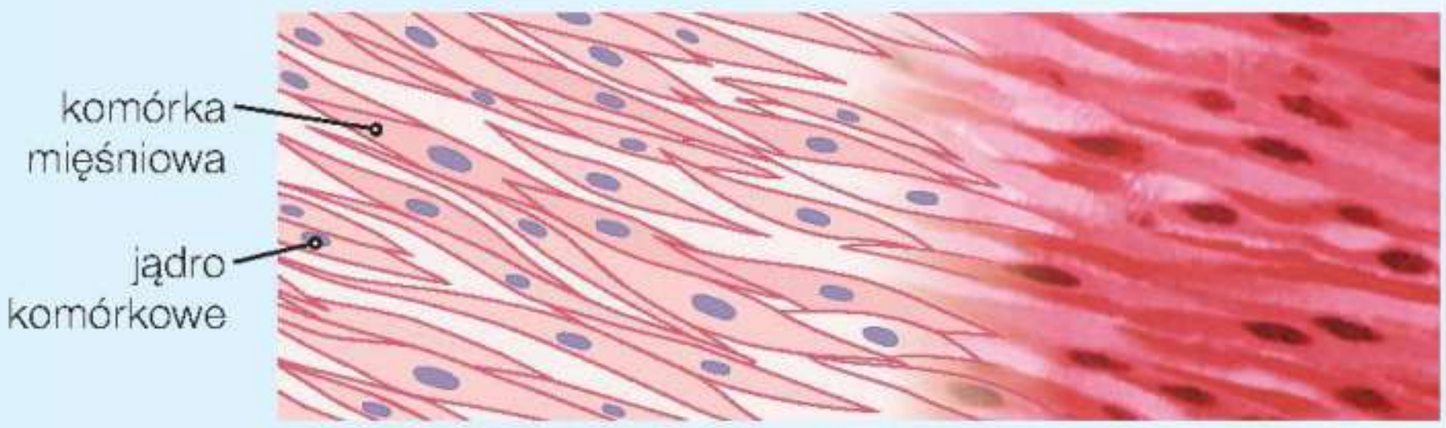
W mięśniu sercowym jest mniej miofibryli niż w mięśniach szkieletowych, co powoduje, że jego skurcze są słabsze. Mięsień ten kurczy się niezależnie od woli.



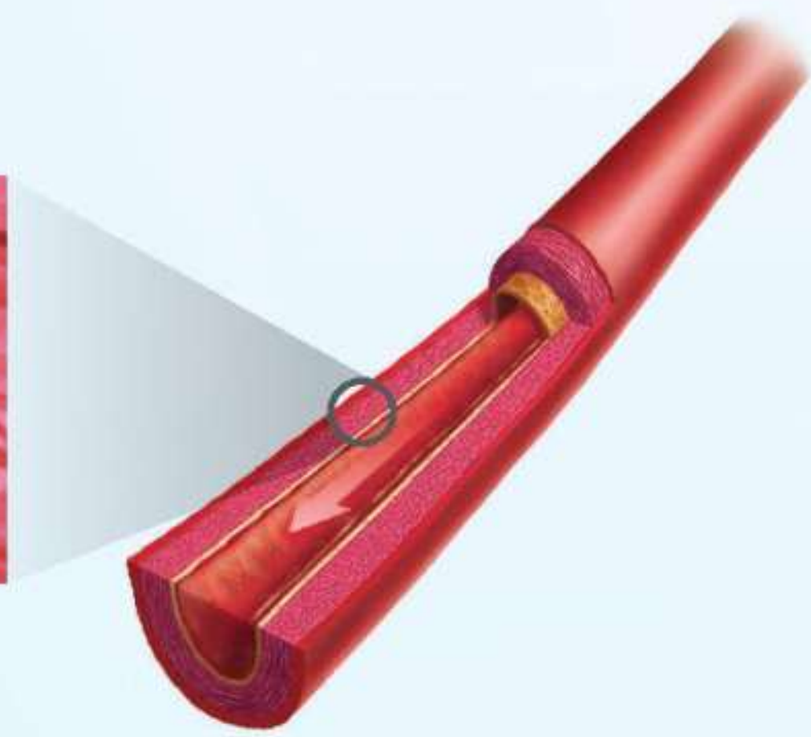
Skurcze mięśnia sercowego umożliwiają rozprowadzanie krwi po całym organizmie.

Mięśnie gładkie

Mięśnie gładkie są zbudowane z **tkanki mięśniowej gładkiej**. Komórki tej tkanki mają wrzecionowaty kształt i zwykle jedno centralnie położone jądro komórkowe.



Komórki mięśni gładkich zawierają kilkakrotnie mniej miofibryli niż włókna mięśni szkieletowych oraz mięśnia sercowego, dlatego ich skurcze są słabsze, powolne i trwają dłużej. Są one niezależne od woli.



Mięśnie gładkie występują w ścianach narządów wewnętrznych, m.in. naczyń krwionośnych i przewodu pokarmowego, gdzie wywierają nacisk na otaczaną przez siebie przestrzeń. Tym samym umożliwiają np. utrzymanie odpowiedniego ciśnienia krwi czy przesuwanie się pokarmu.

Wybrane mięśnie szkieletowe człowieka

Mięśnie szkieletowe stanowią ok. 40% masy ciała człowieka. Jest ich ok. 400. Każdy z nich ma swoją nazwę, która pochodzi od położenia mięśnia, miejsca jego przyczepu, kształtu, budowy lub wykonywanej czynności.

Mięsień piersiowy większy – bierze udział w poruszaniu kończyną górną, np. opuszcza uniesione ramię.

Mięsień dwugłowy ramienia (biceps) – odpowiada m.in. za zginanie kończyny w stawie łokciowym.

Mięsień prosty brzucha – tworzy ścianę brzucha, a jego skurcz powoduje zgięcie tułowia do przodu.



Mięsień trójgłowy ramienia (triceps) – odpowiada m.in. za prostowanie kończyny górnej w stawie łokciowym.

Mięsień czworoboczny – bierze udział w ruchach głowy, pozwala również na podnoszenie kończyny górnej.

Mięsień pośladkowy wielki – utrzymuje pionową postawę ciała, prostuje kończynę dolną w stawie biodrowym.



Mięsień czworogłowy uda – unosi udo podczas chodzenia i prostuje nogę w kolanie.

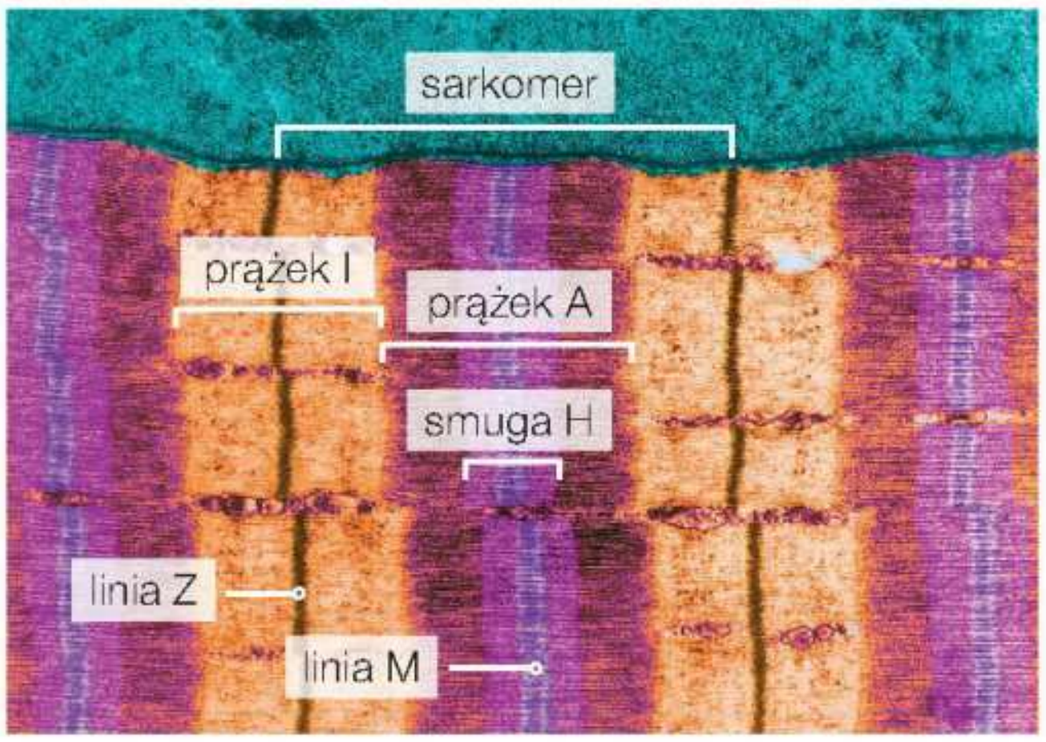
Budowa mięśni szkieletowych

Mięsień poprzecznie prążkowany szkieletowy składa się z **brzuśca** oraz **ścięgien**. Brzusiec to środkowa kurczliwa część mięśnia, natomiast ścięgna to mocne, niekurczliwe pasma tkanki łącznej, przytwierdzające mięsień do kości. W niektórych mięśniach brzusiec jest podzielony na kilka części zwanych **głowami**. Z tego względu wyróżnia się mięśnie dwugłowe, trójgłowe i czworogłowe. Czasami mięsień jest zbudowany z dwóch brzuśców umieszczonych jeden za drugim i oddzielonych ścięgnem pośrednim. Wtedy określa się go mianem mięśnia dwubrzuścowego.

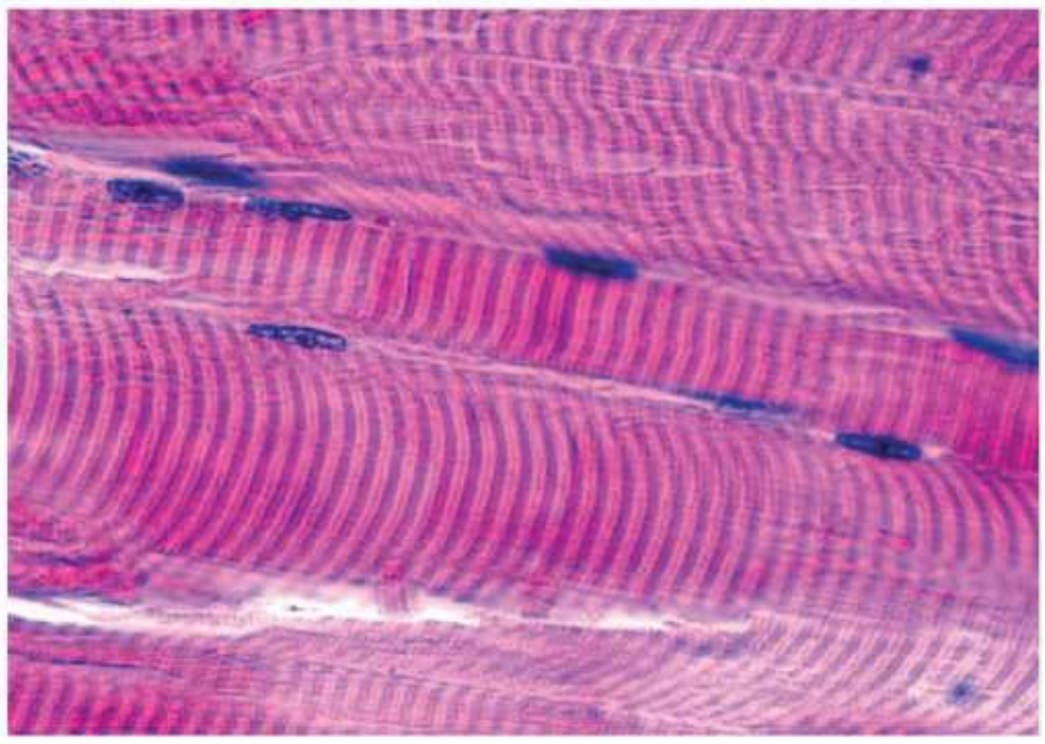
Brzusiec pokrywa łącznotkankowa błona – **namięsna** – pod którą znajdują się równoległe pęczki **włókien mięśniowych**. Są one oddzielone od siebie pasmami tkanki łącznej, w której znajdują się naczynia krwionośne i nerwy. Pojedyncze włókno mięśniowe zawiera wiele jąder komórkowych rozmieszczonych tuż pod **sarkolemą** (błoną komórkową). Błona ta tworzy liczne wpuklenia do wnętrza włókien, zwane **kanalikami T**. Wewnątrz włókien kanaliki T przylegają do błon **siateczki sarkoplazmatycznej** (siateczki śródplazmatycznej gładkiej), w której są magazynowane jony wapnia. Odgrywają one istotną rolę w procesie skurczu włókna mięśniowego i całego mięśnia. W **sarkoplazmie** (cytoplazmie) znajdują się liczne mitochondria dostarczające energii koniecznej do skurczu, a także glikogen oraz mioglobina. Wnętrze włókna mięśniowego prawie w całości wypełniają **miofibryle**. Składają się one z ułożonych naprzemiennie **miofilamentów cienkich** (aktynowych) i **miofilamentów grubych** (miozynowych). Miofilamenty cienkie są utworzone z dwóch skręconych ze sobą łańcuchów **aktyny**, przyczepionych jednym końcem do poprzecznej błony – **linii Z**. Drugi koniec pozostaje wolny. W skład miofilamentów cienkich wchodzą dodatkowo dwa inne białka: **tropomiozyna** i **troponina**, które uczestniczą w procesie skurczu mięśnia. Miofilamenty grube składają się z cząsteczek **miozyny**, przy czym pojedyncza cząsteczka jest zróżnicowana na głowę i ogon. Są one przyczepione do **linii M**.

Miofibryle oglądane pod mikroskopem wykazują poprzeczne prążkowanie, spowodowane różnym sposobem załamywania światła przez aktynę i miozynę. Odcinki miofibryli, w których występuje miozyna, to prążki ciemne (anizotropowe – A), natomiast odcinki miofibryli, w których występuje aktyna, a nie występuje miozyna, to prążki jasne (izotropowe – I). W obrębie prążka A wyróżnia się smugę H, czyli obszar zajmowany przez odcinki włókien miozyny niezachodzące na włókna aktyny. W leżących obok siebie miofibrylach odcinki jasne i ciemne stykają się ze sobą i w ten sposób tworzą poprzeczne prążkowanie całego włókna mięśniowego.

Podstawową jednostką kurczliwą włókna mięśniowego jest **sarkomer**, czyli część miofibryli, ograniczona z obu stron liniami Z. Obejmuje on połowę prążka I, prążek A oraz połowę następnego prążka I. Podczas pracy mięśnia zmienia się szerokość prążka I oraz smugi H. Szerokość prążka A pozostaje taka sama.



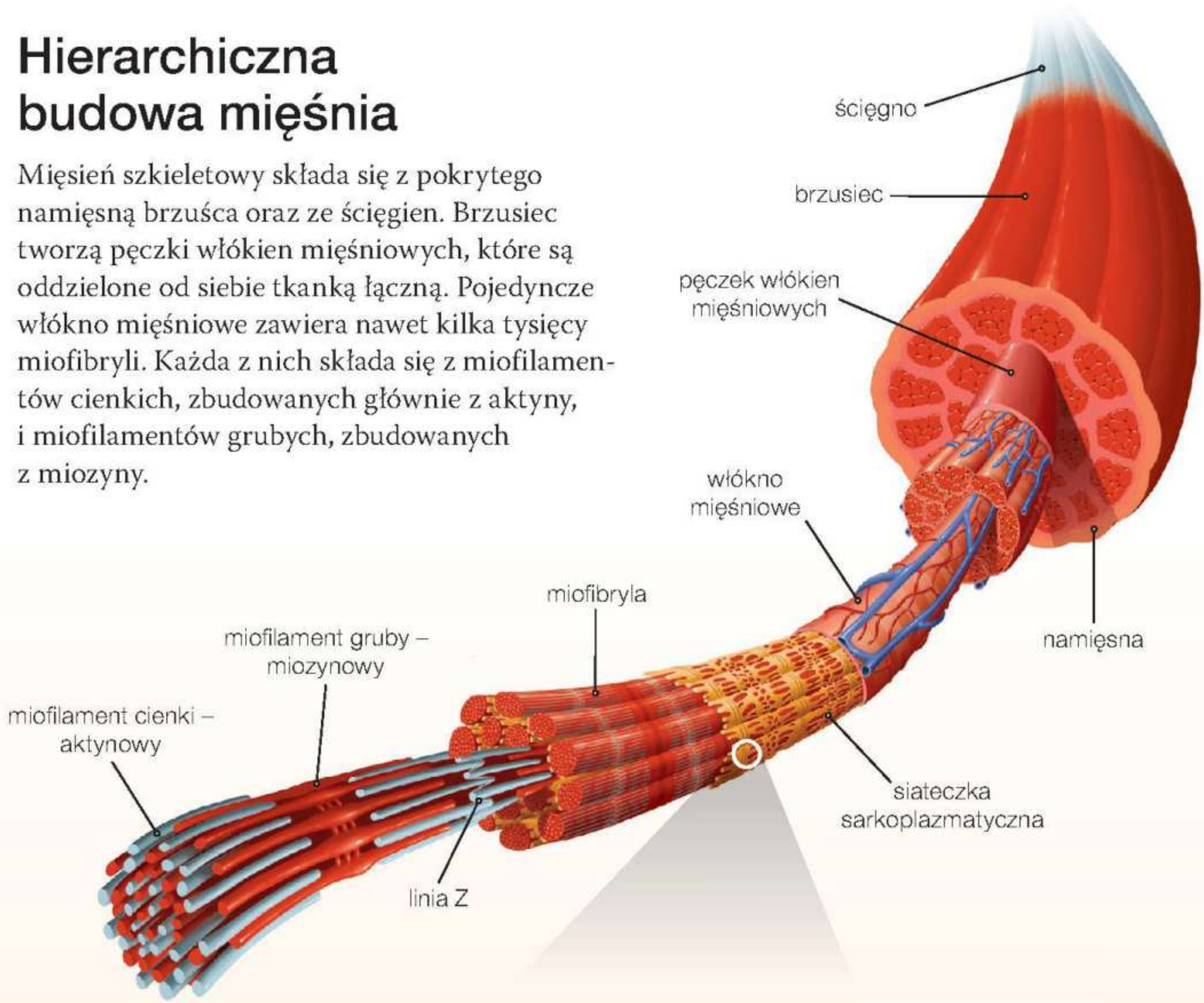
Włókno mięśniowe (obraz spod TEM).



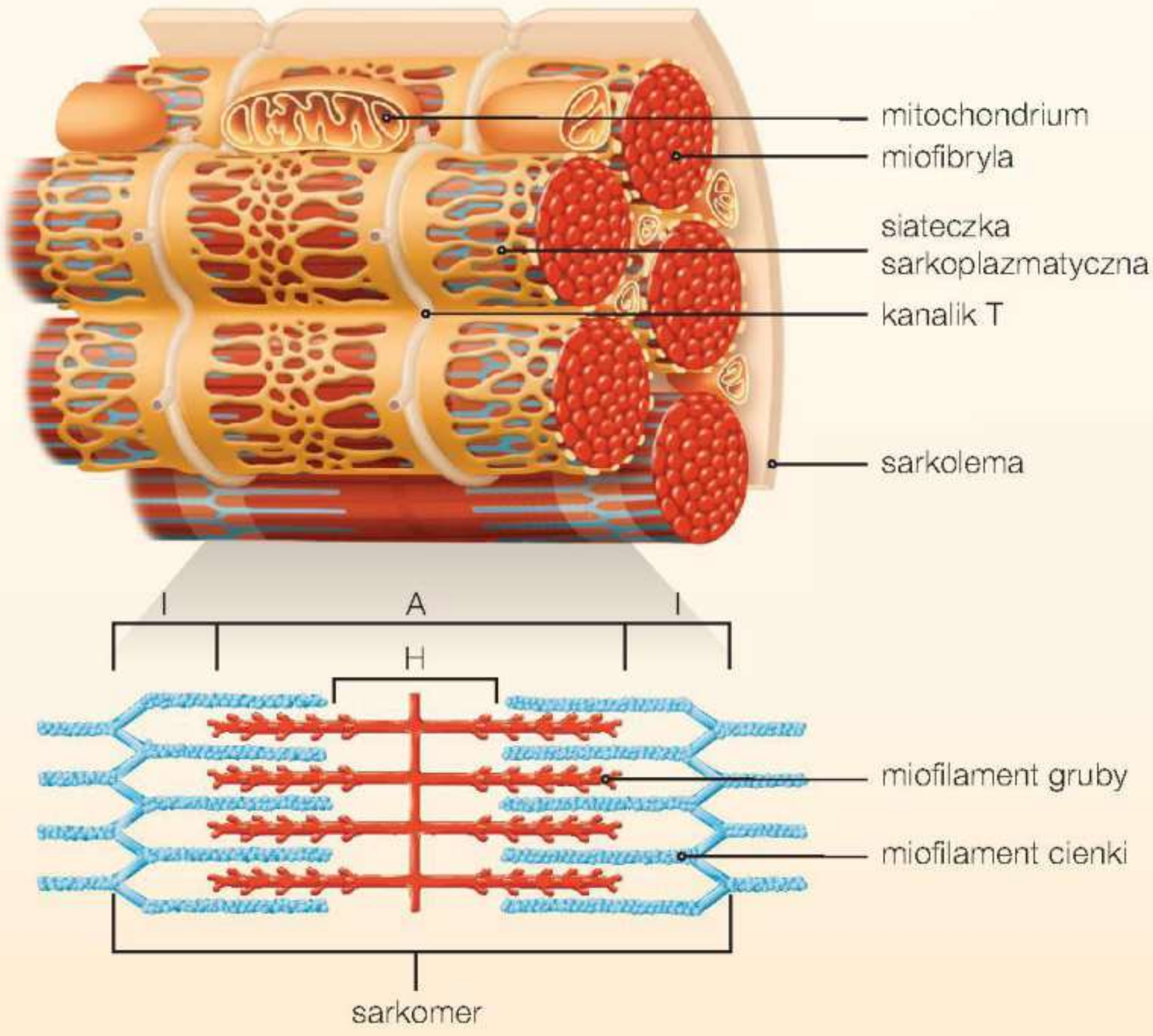
Włókno mięśniowe (obraz spod mikroskopu optycznego).

Hierarchiczna budowa mięśnia

Mięsień szkieletowy składa się z pokrytego namięsną brzuśca oraz ze ścięgien. Brzusiec tworzą pęczki włókien mięśniowych, które są oddzielone od siebie tkanką łączną. Pojedyncze włókno mięśniowe zawiera nawet kilka tysięcy miofibryli. Każda z nich składa się z miofilamentów cienkich, zbudowanych głównie z aktyny, i miofilamentów grubych, zbudowanych z miozyny.



Włókno mięśniowe jest otoczone sarkolemą, która wpukla się do sarkoplazmy, tworząc kanaliki T. Przylegają one do błon siateczki sarkoplazmatycznej magazynującej jony wapnia. W sarkoplazmie włókna mięśniowego znajdują się liczne mitochondria.



Włókno mięśniowe jest wypełnione miofibrylami, zbudowanymi z miofilamentów cienkich – aktynowych – i miofilamentów grubych – miozynowych.

Mechanizm skurczu mięśnia szkieletowego

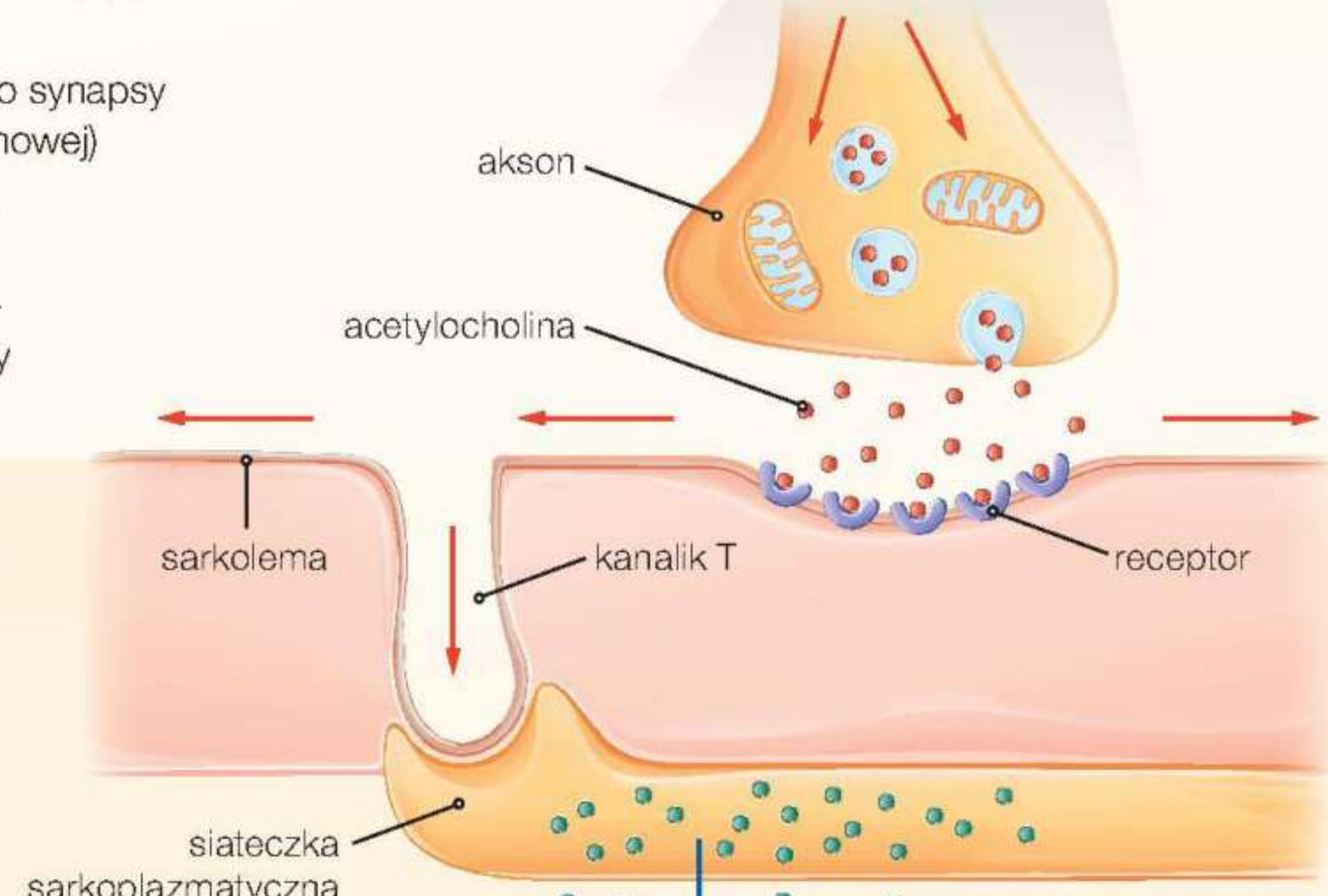
Mięśnie szkieletowe kurczą się pod wpływem impulsów przesyłanych za pomocą komórek nerwowych. Rozgałęzienia aksonów docierają do włókien mięśniowych i tworzą z nimi synapsy nerwowo-mięśniowe. Stan pobudzenia zostaje przekazany na sarkolemę, a następnie na błonę siateczki sarkoplazmatycznej, z której są uwalnianie jony wapnia. Jony te inicjują skurcz mięśnia.



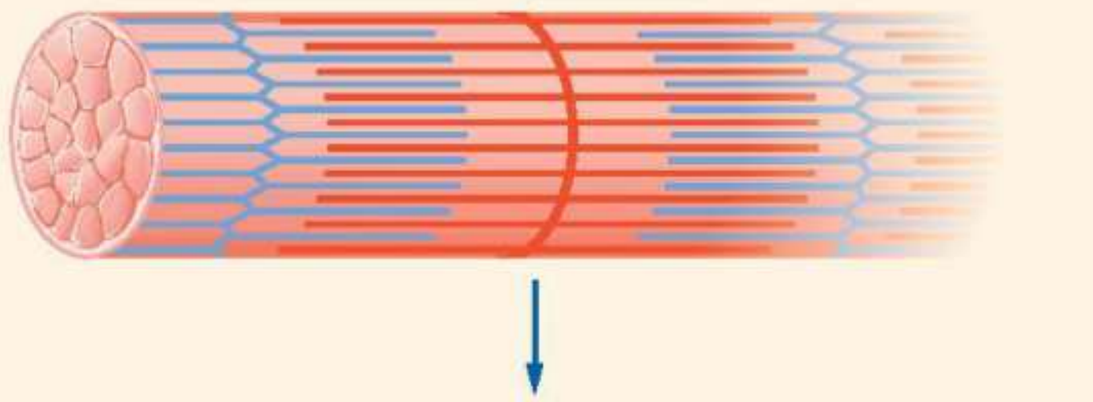
1. Zakończenie aksonu wydziela do synapsy nerwowo-mięśniowej (płytki ruchowej) neuroprzekaźnik acetylocholinę.

2. Acetylocholina łączy się z receptorami na powierzchni sarkolemy i generuje stan pobudzenia.

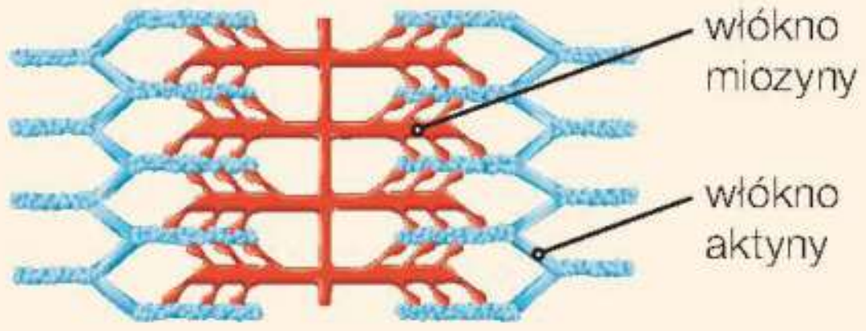
3. Pobudzenie sarkolemy rozprzestrzenia się na kanaliki T.



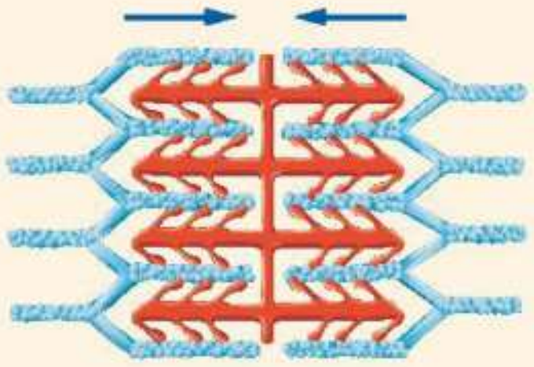
4. Pod wpływem pobudzenia docierającego przez kanaliki T siateczka sarkoplazmatyczna uwalnia zmagazynowane jony Ca^{2+}.



5. Jony Ca^{2+} wywołują we włóknie mięśniowym szereg procesów, w wyniku których miofilamenty aktynowe wślizgują się między miofilamenty miozynowe.



6. Skracanie się sarkomerów powoduje skurcz włókna mięśniowego. Po zakończonym skurczu pompa wapniowa transportuje jony wapnia z sarkoplazmy do siateczki sarkoplazmatycznej.



Molekularny mechanizm skurczu mięśnia szkieletowego

W skurczu mięśnia szkieletowego biorą udział jony wapnia oraz białka wchodzące w skład miofilamentów cienkich i grubych. Tropomiozyna i troponina pełnią funkcję regulatorową, natomiast aktyna i miozyna odpowiadają za skracanie się sarkomerów.

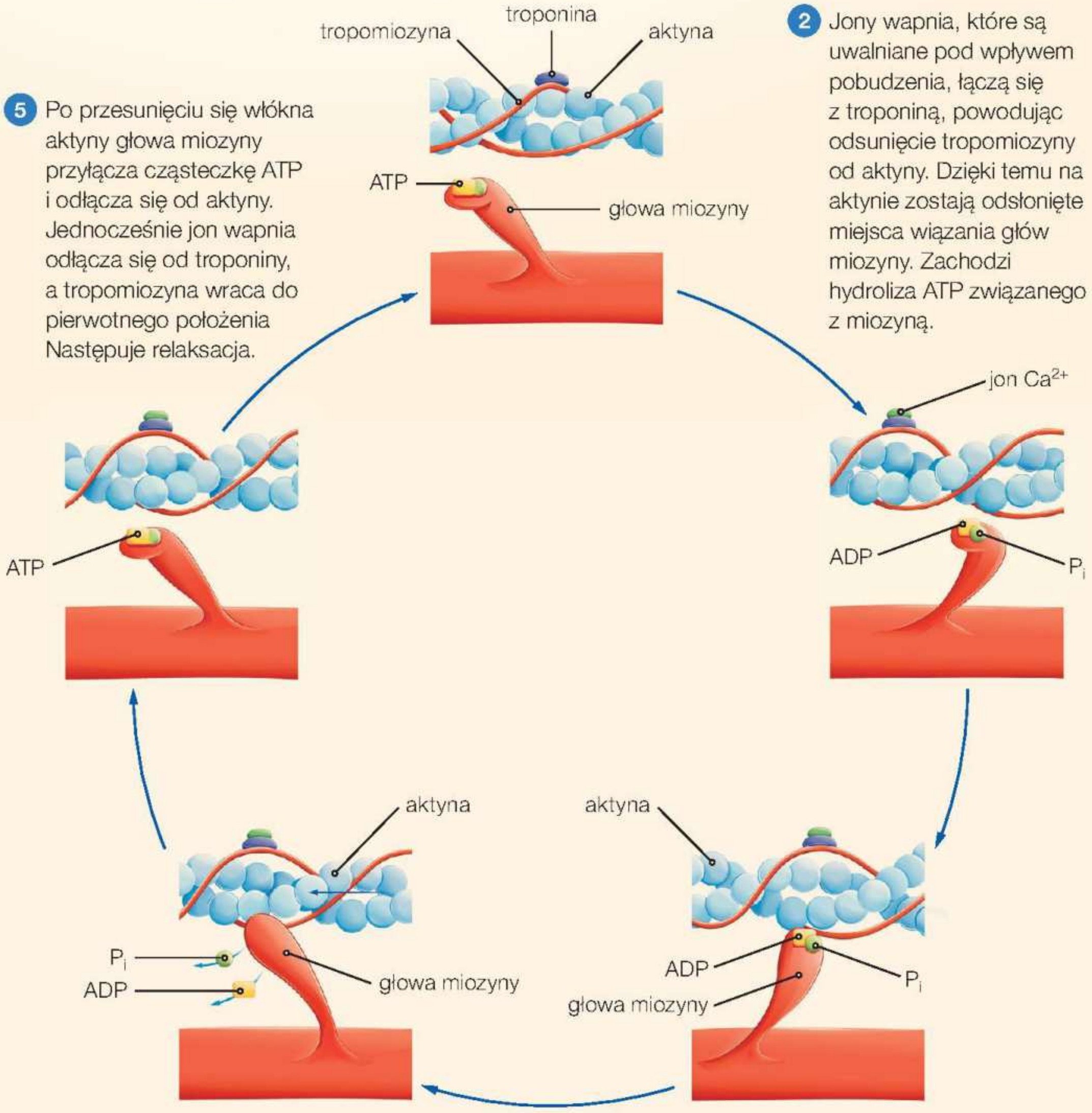
1 Tropomiozyna blokuje połączenie miozyny z aktyną.

2 Jony wapnia, które są uwalniane pod wpływem pobudzenia, łączą się z troponiną, powodując odsunięcie tropomiozyny od aktyny. Dzięki temu na aktynie zostają odsłonięte miejsca wiązania głów miozyny. Zachodzi hydroliza ATP związanego z miozyną.

3 Aktyna łączy się z miozyną.

4 ADP i P_i odłączają się od głowy miozyny. Wywołuje to wiosłowy ruch cząsteczki miozyny, która – zginając się – pociąga za sobą włókno aktyny. Następuje skrócenie sarkomeru.

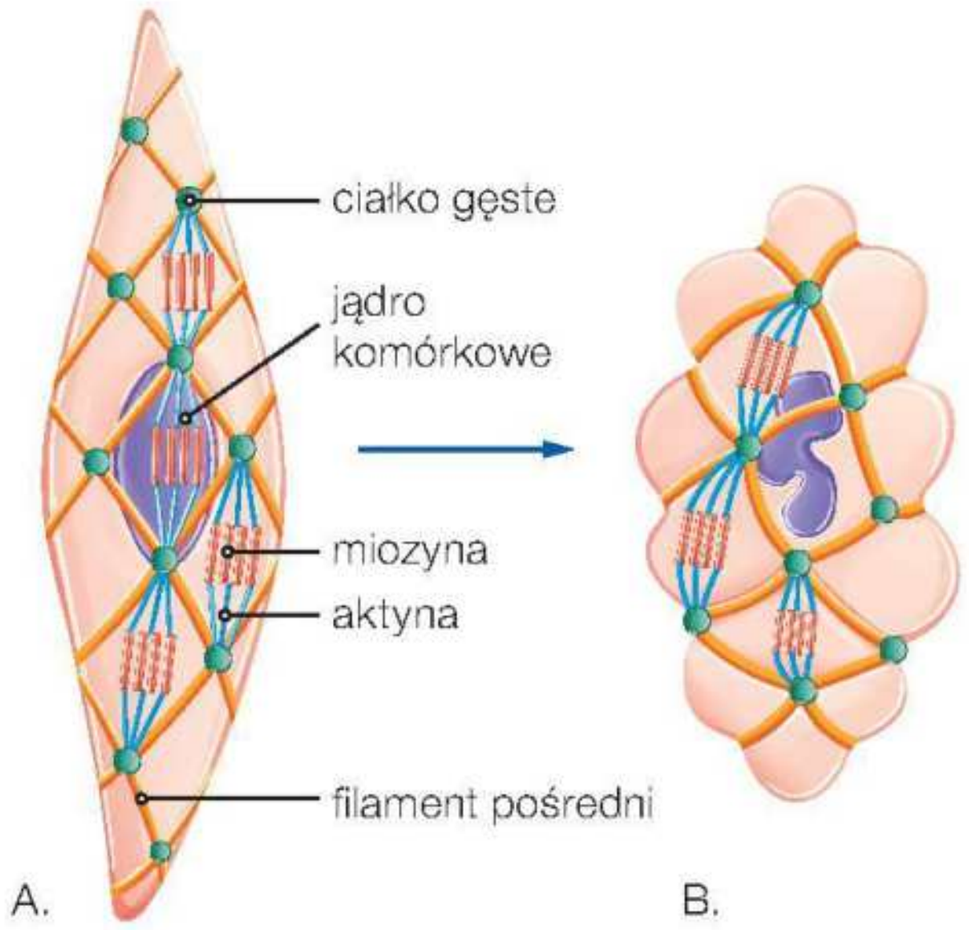
5 Po przesunięciu się włókna aktyny głowa miozyny przyłącza cząsteczkę ATP i odłącza się od aktyny. Jednocześnie jon wapnia odłącza się od troponiny, a tropomiozyna wraca do pierwotnego położenia Następuje relaksacja.



Dowiedz się więcej

Skurcz mięśnia gładkiego

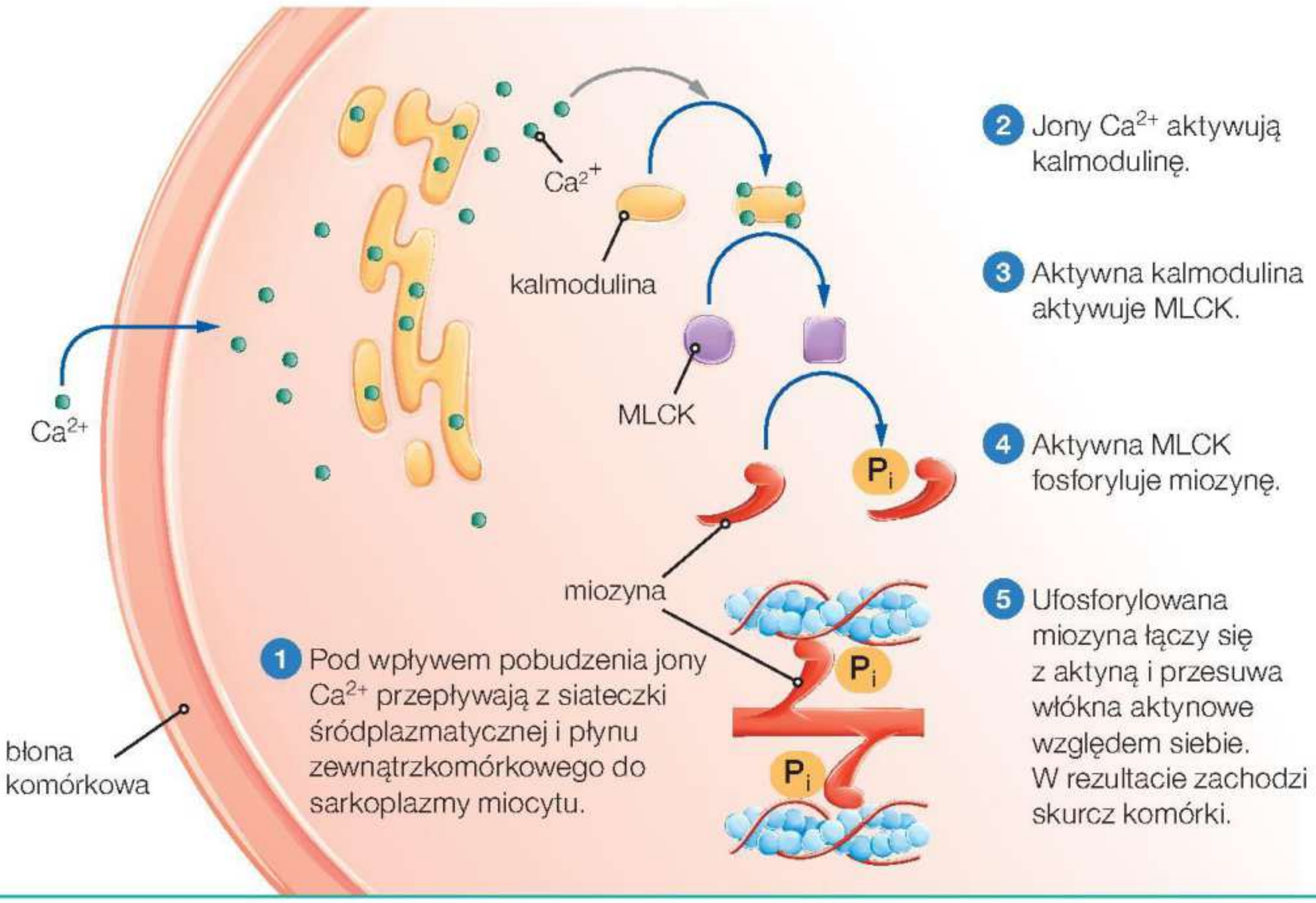
Komórki mięśni gładkich są otoczone sarkolemą zawierającą liczne jamki (odpowiedniki kanalików T). Z kolei w sarkoplazmie występują ciałka gęste (odpowiedniki linii Z), do których przytwierdzone są filamenty cienkie (aktynowe) oraz filamenty pośrednie (desminowe). Pomiędzy filamentami cienkimi znajdują się filamenty grube (miozynowe). W skład filamentów cienkich wchodzi również tropomiozyna, nie ma w nich natomiast troponiny. Skurcz komórek mięśni gładkich, podobnie jak skurcz mięśni szkieletowych, polega na wsuwaniu się włókien aktyny między włókna miozyny.



Komórki mięśnia gładkiego w stanie relaksacji (A) i w stanie skurczu (B).

Mechanizm skurczu mięśnia gładkiego

W mechanizmie skurczu mięśnia gładkiego biorą udział: białko sygnałowe – kalmodulina – którego aktywacja odbywa się poprzez przyłączenie jonów Ca^{2+}, a także enzym – kinaza łańcuchów lekkich miozyny (MLCK) – który fosforyluje miozynę.



Działanie mięśni

Skurcze mięśni szkieletowych powodują poruszanie się dźwigni utworzonych przez kości połączone stawami. Mięśnie mogą jednak tylko pociągać kości, do których są przyczepione, nie mogą ich popychać, dlatego muszą działać parami. Ze względu na wykonywane czynności wyróżnia się np. **mięśnie zginacze** i **prostowniki, przywodziciele** i **odwodziciele** oraz **dźwigacze** i **mięśnie obniżające**. Podane przykłady reprezentują mięśnie antagonistyczne, uczestniczące w wykonywaniu czynności przeciwstawnych. Podział ten odnosi się jedynie do kierunku działania mięśni, w rzeczywistości bowiem każdy ruch wymaga jednoczesnego działania obu antagonistów – jeden z nich (np. zginacz) działa silniej w porównaniu z drugim, który odpowiednio hamuje ruch (np. prostownik). Mięśnie współdziałające w wykonaniu jednego ruchu w tym samym kierunku noszą nazwę **mięśni synergistycznych**. Należą do nich np. przepona i mięśnie międzyżebrowe, współpracujące w wykonywaniu wdechów i wydechów. Współdziałanie wielu mięśni sprawia, że ruchy wykonywane przez człowieka są skoordynowane i precyzyjne.

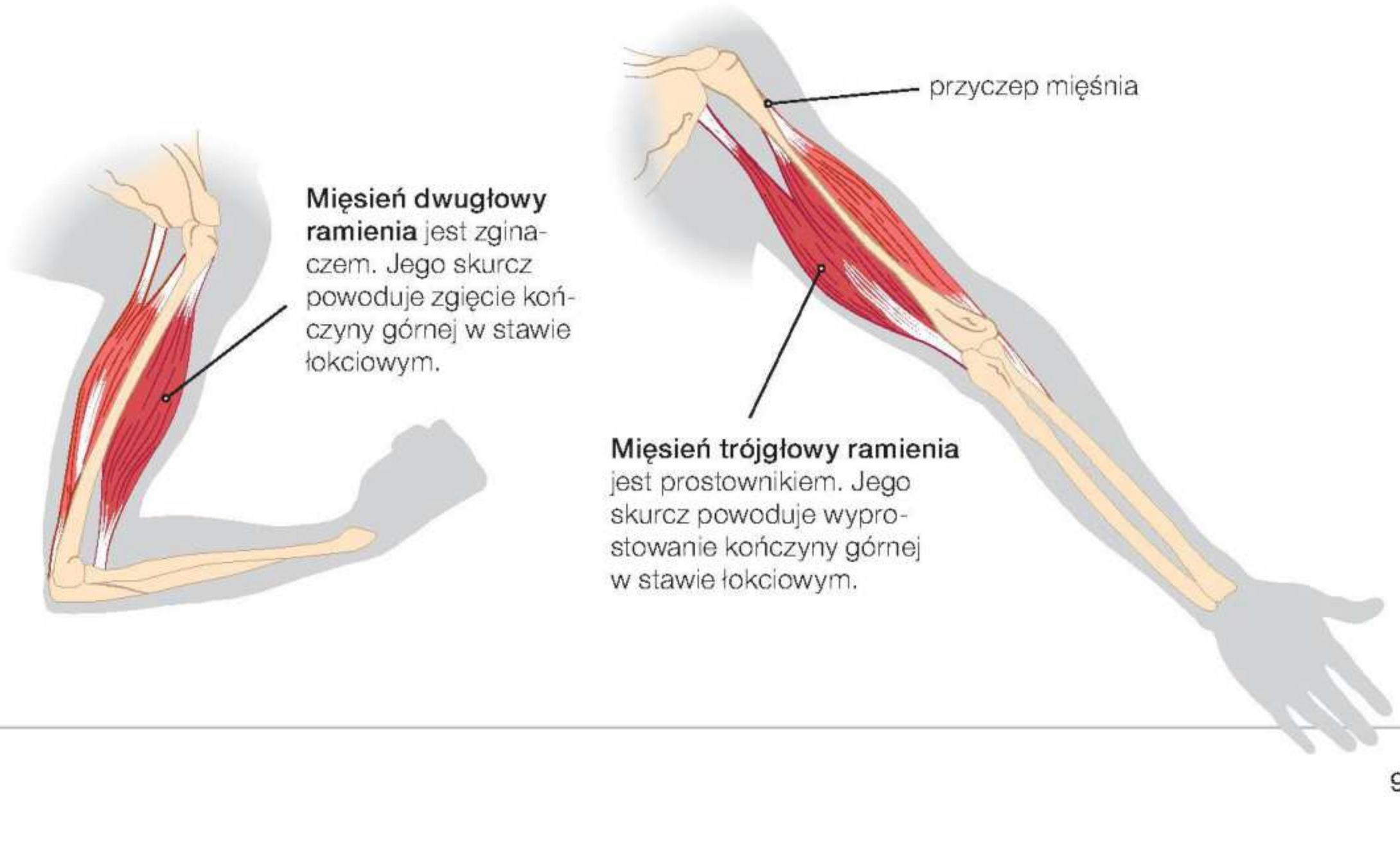
Duże znaczenie dla organizmu ma udział mięśni szkieletowych w reakcji na zimno. Zsynchronizowane, niezależne od woli skurcze zginaczy i prostowników umiejscowionych w obrębie głowy, tułowia i kończyn powodują uwalnianie ciepła, które jest wykorzystywane do ogrzania organizmu. Taki sposób produkcji ciepła nosi nazwę **termogenezy drżeniowej**.

Przemiany biochemiczne w mięśniu

Pracujący mięsień uzyskuje energię potrzebną do skurczu z rozkładu **ATP**. Po ułamku sekundy zapas wolnego ATP w mięśniu zostaje zużyty. Źródłem grup fosforanowych do odtwarzania ATP jest **fosfokreatyna**, magazynowana wyłącznie w mięśniach poprzecznie prążkowanych. Po zużyciu zapasów fosfokreatyny następuje utlenianie **glukozy** powstałej z rozkładu glikogenu oraz glukozy i **kwasów tłuszczowych** dostarczanych przez krew.

Mięśnie antagonistyczne ramienia

Przykładem pary mięśni działających antagonistycznie są mięśnie uczestniczące w zginaniu i prostowaniu stawu łokciowego. Ich przyczepy (ścięgna) są zlokalizowane w obrębie stawów barkowego i łokciowego, co umożliwia przemieszczanie się kości względem siebie.



Przemiany biochemiczne zachodzące podczas długotrwałej pracy mięśni

Cecha	Przemiana	Czas pracy mięśnia
Źródła bezpośrednie	$ATP \rightarrow ADP + P_i$ + energia	ułamek sekundy
	fosfokreatyna + ADP → kreatyna + ATP	2–4 sekundy
	glukoza + ADP + P_i + $O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$ + ATP	do kilkunastu minut
Rezerwy	glikogen + H_2O → glukoza	do 40 minut
	tłuszcze + H_2O → glicerol + kwasy tłuszczowe	do kilku godzin
Zaciąganie długu tlenowego	glukoza + ADP + P_i → mleczan + ATP	po wyczerpaniu zapasów fosfokreatyny i przy niedoborze tlenu

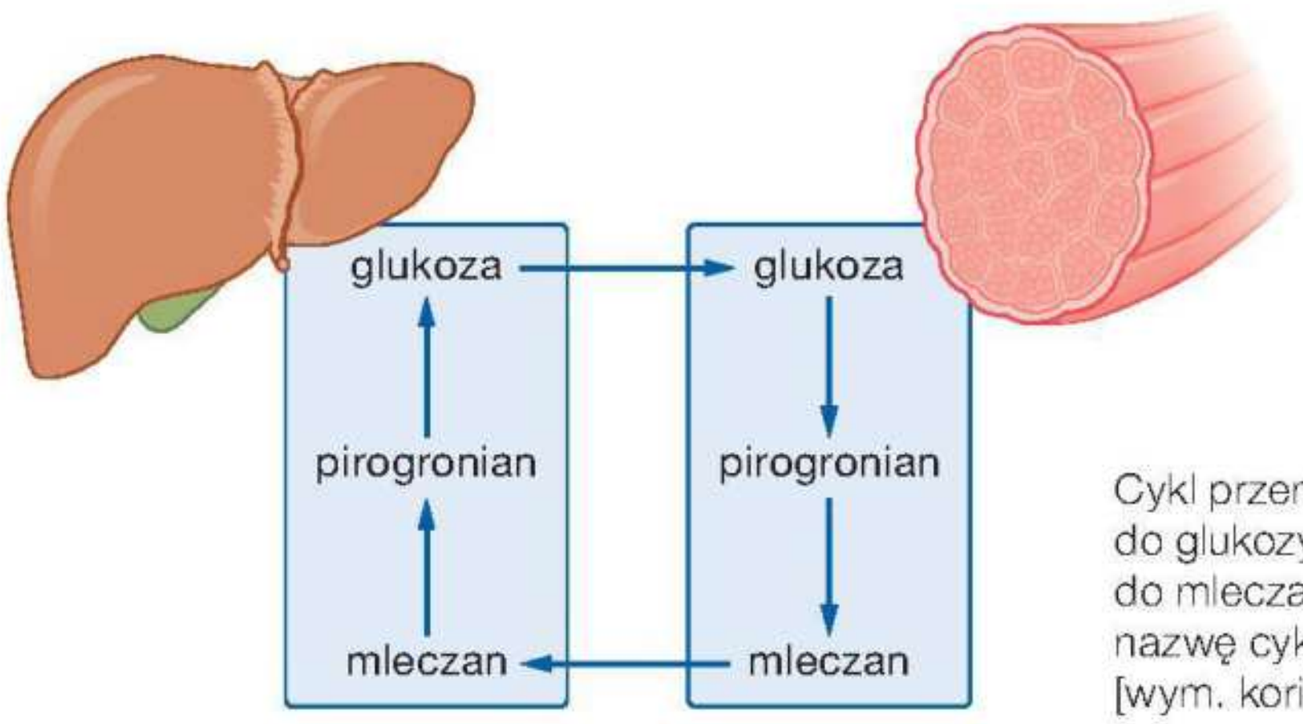
Podczas dużego wysiłku fizycznego stężenie tlenu we krwi jest niewystarczające do całkowitego utlenienia substratów oddechowych. Zostaje wówczas uruchomiony zapas tlenu zgromadzony w mięśniu w postaci **oksymioglobiny** (utlenowanej mioglobiny). Po wyczerpaniu zapasów oksymioglobiny organizm zaciąga **dług tlenowy** – czasowo przestawia się na **fermentację mleczanową**, czyli proces beztlenowego uzyskiwania energii. W wyniku fermentacji w mięśniach gromadzi się **mleczan** (kwas mlekowy). Po przywróceniu warunków tlenowych część mleczanu (ok. 1/5) ulega rozkładowi do dwutlenku węgla i wody. Pozostała część (ok. 4/5) zostaje przetransportowana do wątroby, gdzie w procesie **glukoneogenezy** przekształca się w glukozę. Następnie w mięśniu zachodzi odtworzenie rezerw fosfokreatyny i oksymioglobiny.

Do niedawna uważano, że mleczan nagromadzony we włóknach mięśniowych powoduje obniżenie pH sarkoplazmy, a w konsekwencji – sztywność, ból i zmęczenie mięśni. Zgodnie z nowszą teorią dolegliwości te, zwane **zespołem opóźnionego bólu mięśniowego** (potocznie zakwasami), są spowodowane mikrouszkodzeniami mięśni, powstającymi w wyniku wysiłku fizycznego.

Przypomnij sobie

Glukoneogeneza

Glukoneogeneza jest procesem anabolicznym, który polega na syntezie glukozy ze związków innych niż cukry. Glukoneogeneza zachodzi głównie w wątrobie, a jednym z jej substratów jest mleczan, który powstaje w mięśniach szkieletowych w warunkach niedoboru tlenu. Zarówno mleczan, jak i glukoza są transportowane przez krew.



Cykl przemian mleczanu do glukozy oraz glukozy do mleczanu nosi nazwę cyklu Corich [wym. korih].

Typy włókien mięśniowych

Warunkiem prawidłowego funkcjonowania mięśni są ciągłe dostawy ATP. W zależności od sposobu regeneracji tego związku można wyróżnić trzy typy włókien mięśniowych: czerwone, białe i pośrednie.

- **Włókna czerwone** przeprowadzają metabolizm tlenowy, co oznacza, że ATP powstaje w nich w wyniku oddychania tlenowego. Włókna te zawierają dużo mioglobiny, dlatego mają intensywnie czerwoną barwę. Charakteryzują się powolnym narastaniem siły skurczu i dużą odpornością na zmęczenie.
- **Włókna białe** przeprowadzają metabolizm glikolityczny – uzyskują ATP na drodze beztlenowej (fermentacja mleczanowa). Zawierają mało mioglobiny, dzięki czemu mają jasne zabarwienie. Charakteryzują się również szybszymi skurczami i mniejszą wytrzymałością niż włókna czerwone.
- **Włókna pośrednie** przeprowadzają metabolizm glikolityczno-tlenowy. Mają niektóre cechy właściwe włóknom czerwonym, a inne – właściwe włóknom białym.

Mięśnie człowieka zawierają wszystkie rodzaje włókien, a ich wzajemny stosunek jest różny w każdym z nich. Z reguły w mięśniach utrzymujących postawę ciała przeważają włókna czerwone, z kolei w mięśniach lokomotorycznych udział wszystkich rodzajów włókien jest taki sam. Istnieją jednak różnice indywidualne, np. u sprinterów i sportowców uprawiających dyscypliny siłowe w mięśniach przeważają włókna białe, natomiast u maratończyków i kolarzy – włókna czerwone.

Rodzaje skurczów

W stanie spoczynku mięśnie szkieletowe wykazują **napięcie spoczynkowe** (tonus), wynikające z ich obciążenia przez kości i narządy wewnętrzne. Na utrzymanie stanu napięcia wpływają dochodzące do nich nerwy. Mięśnie szkieletowe kurczą się pod wpływem impulsów nerwowych, które docierają przez aksony neuronów. Do każdego włókna mięśniowego dochodzą zakończenia tylko jednego neuronu, z kolei jeden neuron pobudza do skurczu wiele włókien mięśniowych. Zespół włókien mięśniowych unerwionych przez jeden neuron nazywa się **jednostką motoryczną** (ruchową) mięśnia.

Włókno mięśnia szkieletowego pobudzone pojedynczym impulsem nerwowym odpowiada **pojedynczym skurczem**. Reaguje zgodnie z zasadą **wszystko albo nic**, co oznacza, że kurczy się maksymalnie, a dalszy wzrost siły bodźca nie powoduje zwiększenia siły skurczu. Natomiast cały mięsień może kurczyć się z różną siłą, zależną od liczby pobudzonych jednostek motorycznych (np. skurcz maksymalny dotyczy wszystkich jednostek motorycznych mięśnia).



Podczas długotrwałego wysiłku o umiarkowanym natężeniu, np. maratonu, wykorzystywane są głównie włókna mięśniowe czerwone.



Podczas krótkotrwałego wysiłku o dużym natężeniu, np. biegu na 100 m, wykorzystywane są głównie włókna mięśniowe białe.

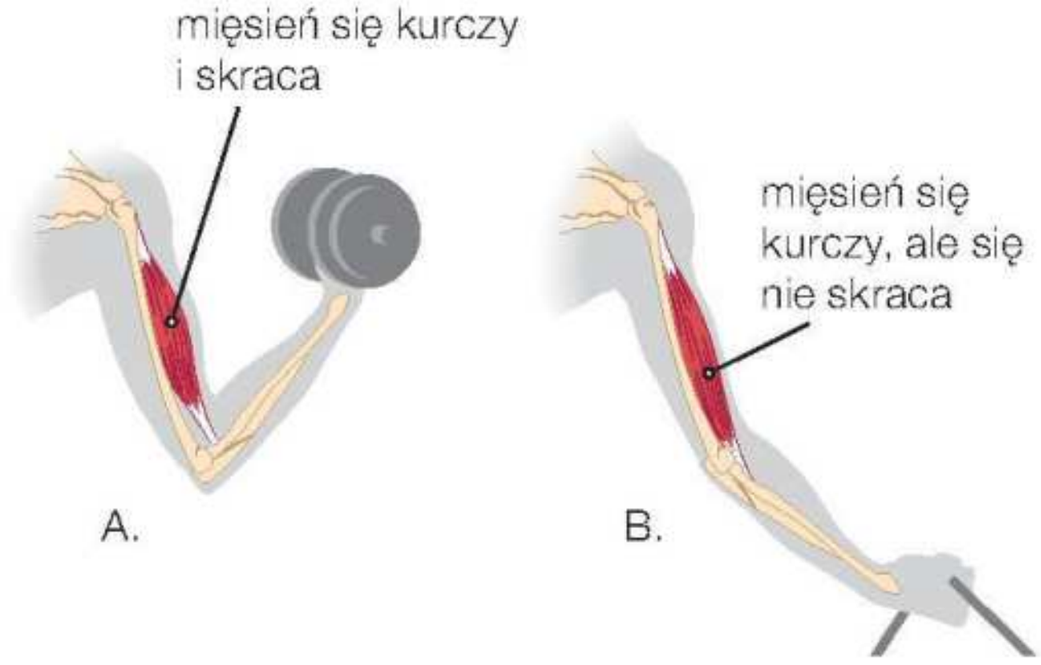
Porównanie włókien mięśniowych

Porównywana cecha	Włókna czerwone (typ I)	Włókna pośrednie (typ II A)	Włókna białe (typ II B)
Pobudzanie przez neurony	stałe	częste	przy maksymalnym wysiłku
Sposób uzyskiwania energii	oddychanie tlenowe	oddychanie tlenowe	fermentacja mleczanowa
Zawartość mioglobiny	duża	średnia	mała
Zawartość glikogenu	mała	średnia	duża
Tempo skurczu	wolne	szybkie	szybkie
Odporność na zmęczenie	duża	średnia	mała

W organizmie nie obserwuje się skurczów pojedynczych mięśnia, gdyż docierają do niego serie impulsów nerwowych następujące po sobie w krótkich odcinkach czasu. W efekcie zachodzi sumowanie się kolejnych skurczów mięśniowych, czyli ich nakładanie się, aż do uzyskania długotrwałego skurczu, zwanego **skurczem tężcowym**. Skurcz tężcowy może być:

- **zupełny**, gdy bodźce pobudzają mięsień, zanim nastąpi jego rozkurcz, co powoduje stan ciągłego skurczu. Skurcz tężcowy zupełny występuje zwykle w stanach patologicznych, np. w przypadku tężyczki lub tężca;
- **niezupełny**, gdy bodźce pobudzają mięsień, który zaczyna się już rozkurczać. Jest to fizjologiczny typ skurczu, który występuje podczas większości czynności ruchowych organizmu.

Efektem skurczu mięśnia może być **praca dynamiczna** (skrócenie mięśnia) lub **praca statyczna** (zwiększenie napięcia mięśnia). Skurcz wywołujący skrócenie mięśnia bez zmiany jego napięcia nosi nazwę **skurczu izotonicznego**. Skurcz, w którego przebiegu nie dochodzi do skrócenia mięśnia, a jedynie do zmiany jego napięcia (np. przy zaciskaniu zębów, prężeniu się na baczność), nazywa się **skurczem izometrycznym**. W normalnych warunkach każdy skurcz mięśnia jest **skurczem auksotonicznym** (mieszanym), gdyż obejmuje następujące po sobie fazy: izometryczną (wykonanie pracy polegającej na pokonaniu pewnego oporu) oraz izotoniczną (skrócenie mięśnia).



Podczas skurczu izotonicznego (A) zmienia się długość mięśnia – bez zmiany jego napięcia. Podczas skurczu izometrycznego (B) wzrasta napięcie mięśnia, ale nie zmienia się jego długość.

Polecenia kontrolne

1. Skonstruuj tabelę, w której porównasz budowę i funkcjonowanie mięśni gładkich, mięśnia sercowego oraz mięśni szkieletowych.
2. Podaj trzy funkcje mięśni szkieletowych.
3. Wymień główne grupy mięśni człowieka. Podaj co najmniej po dwa przykłady ich funkcji.
4. Wyjaśnij, na czym polega antagonizm pracy mięśni. Podaj przykłady mięśni antagonistycznych.
5. Omów hierarchiczną budowę mięśni szkieletowych.
6. Określ, jakie cechy budowy mięśni sprawiają, że wykazują one zdolność kurczenia się.
7. Wyjaśnij mechanizm skurczu mięśnia szkieletowego.
8. Wymień źródła energii niezbędnej do pracy mięśni.
9. Określ, w jakich warunkach w mięśniach powstaje deficyt tlenowy.

3.6. Higiena i choroby układu ruchu

Zwróć uwagę na:

- wpływ diety i aktywności fizycznej na rozwój oraz stan układu ruchu,
- wpływ dopingu na organizm człowieka,
- przyczyny i profilaktykę wybranych chorób oraz zaburzeń układu ruchu.

Dolegliwości układu ruchu wynikają najczęściej z urazów mechanicznych, chorób, wad budowy i nieprawidłowej postawy ciała. Do ich powstania dodatkowo mogą przyczynić się niewłaściwa dieta, utrzymywanie nieprawidłowej pozycji ciała i brak aktywności fizycznej.

Dieta

Na rozwój oraz stan kości i mięśni człowieka w dużym stopniu wpływa sposób odżywiania się. Aby układ ruchu funkcjonował prawidłowo, należy włączać do posiłków wartościowe składniki pokarmowe i unikać produktów wysoko przetworzonych, zawierających szkodliwe dodatki i konserwanty. Warto też ograniczyć spożywanie produktów wysokokalorycznych, które mogą doprowadzić do nadwagi – zbyt duża masa ciała stanowi zbędne obciążenie dla układu ruchu. W przypadku zwiększonego zapotrzebowania lub niedoboru określonych składników pokarmowych można je uzupełnić dzięki stosowaniu suplementów diety. Należy jednak pamiętać, że nie zastąpią one zdrowych i zbilansowanych posiłków.

Wpływ aktywności fizycznej na zdrowie

Regularna i częsta aktywność fizyczna ma pozytywny wpływ na organizm, m.in.:

- redukuje stres i rozładowuje napięcia,
- zmniejsza bóle kręgosłupa,
- zapobiega otyłości,
- wzmacnia wytrzymałość stawów, kości i mięśni,
- zwiększa wydolność serca,
- zmniejsza ryzyko chorób układu krążenia,
- wzmacnia odporność organizmu.

Rodzaj wykonywanych ćwiczeń powinien być dostosowany do indywidualnych preferencji, poziomu kondycji fizycznej oraz stanu zdrowia.

Układ ruchu a zdrowa dieta

Prawidłowe funkcjonowanie układu ruchu jest możliwe dzięki diecie bogatej w różnorodne składniki pokarmowe, m.in.:

- **białka** – podstawowy element budulcowy mięśni szkieletowych. Są niezbędne do prawidłowego rozwoju mięśni;
- **składniki mineralne** – głównie wapń, fosfor i potas. Wzmacniają kości i umożliwiają prawidłową pracę mięśni;
- **witaminę D_3** – pobudza wchłanianie z przewodu pokarmowego wapnia, który wchodzi w skład kości;
- **witaminę C** – jest niezbędna do syntezy kolagenu odpowiedzialnego za elastyczność kości i chrząstek;
- **wodę** – jest konieczna do pracy wszystkich narządów i chłodzenia organizmu podczas wysiłku.



Wpływ dopingu na organizm człowieka

Doping ma na celu zwiększenie masy mięśniowej i wydolności organizmu w jak najkrótszym czasie, aby umożliwić sportowcom uzyskiwanie lepszych wyników. Polega on na sztucznym podnoszeniu wydolności, np. przy użyciu środków farmakologicznych czy przez transfuzję krwi. Metody te wpływają jednak negatywnie na organizm.

Środki anaboliczne (np. testosteron)

Przyspieszają przyrost masy mięśniowej oraz zwiększają siłę i wytrzymałość mięśni.

Przykładowe skutki uboczne:

- zmiany skórne, łysienie,
- bezpłodność,
- zaburzenia funkcjonowania układu pokarmowego, np. biegunki, wymioty, uszkodzenie wątroby,
- powiększenie gruczołów mlekowych u mężczyzn,
- choroby układu krążenia, m.in. nadciśnienie, zawał serca,
- obniżenie odporności i wzrost ryzyka rozwoju nowotworów,
- wahania nastroju, agresywne zachowanie, depresja.

Erytropoetyna (EPO)

Pobudza wytwarzanie erytrocytów w czerwonym szpiku kostnym, co prowadzi do zwiększenia efektywności transportu tlenu w organizmie.

Przykładowe skutki uboczne:

- tworzenie się zakrzepów,
- zawał serca,
- udar mózgu,
- podwyższone ciśnienie krwi.

Środki pobudzające i przeciwbólowe

Wywołują pobudzenie psychoruchowe i eliminują zmęczenie, znoszą odczuwanie bólu.

Przykładowe skutki uboczne:

- prowadzą do skrajnego wyczerpania,
- uzależniają psychicznie i fizycznie.



Właściwym sposobem na zwiększanie sprawności fizycznej i wytrzymałości, a także osiąganie dobrych wyników jest odpowiednio zaplanowany trening i zbilansowana dieta.

Manipulacje genetyczne

Polegają na wprowadzaniu zmian w materiale genetycznym sportowca, aby przyspieszyć wzrost jego masy mięśniowej. Skutki uboczne są trudne do przewidzenia. Manipulacje genetyczne mogą prowadzić np. do rozwoju nowotworów.



Transfuzja krwi

Polega na przetaczaniu krwi własnej (uprzednio zmagazynowanej) lub cudzej. Transfuzja krwi, podobnie jak stosowanie erytropoetyny, prowadzi do zwiększenia liczby erytrocytów. Dzięki temu do komórek jest dostarczana większa ilość tlenu, co umożliwia uwalnianie większej ilości energii niezbędnej do wykonania wysiłku.

Przykładowe skutki uboczne:

- zakażenie wirusem zapalenia wątroby typu B lub C, zakażenie wirusem HIV,
- wzrost ciśnienia krwi,
- wzrost ryzyka zakrzepów, zawału serca i udaru mózgu,
- infekcje bakteryjne.

Operacje chirurgiczne

Polegają na przeszczepianiu mięśni i ścięgien oraz usuwaniu nadmiaru tkanki tłuszczowej. Skutkami ubocznymi są m.in. zakażenia wirusowe i bakteryjne. Dodatkowo każda operacja niesie ryzyko zagrożenia życia.

☑ Choroby i zaburzenia układu ruchu

■ Wady postawy – skrzywienia kręgosłupa

Zniekształcenia naturalnych krzywizn kręgosłupa.

- **Przyczyny:** długotrwałe utrzymywanie nieprawidłowej pozycji ciała, nierównomierne obciążenie szkieletu.
- **Profilaktyka:** utrzymywanie prawidłowej postawy ciała, aktywność fizyczna.



Skolioza polega na bocznym skrzywieniu kręgosłupa. Nieleczona może prowadzić do silnego bólu kręgosłupa, a zniekształcona klatka piersiowa może uciskać serce i płuca.



Nadmierna kifoza piersiowa polega na zbyt dużym wygięciu kręgosłupa ku tyłowi. Nieleczona może doprowadzić m.in. do powstania garbu i problemów z oddychaniem.



Nadmierna lordoza lędźwiowa polega na zbyt dużym wygięciu kręgosłupa do przodu. Prowadzi do wywierania nadmiernego ucisku na kręgosłup, co objawia się bólem.

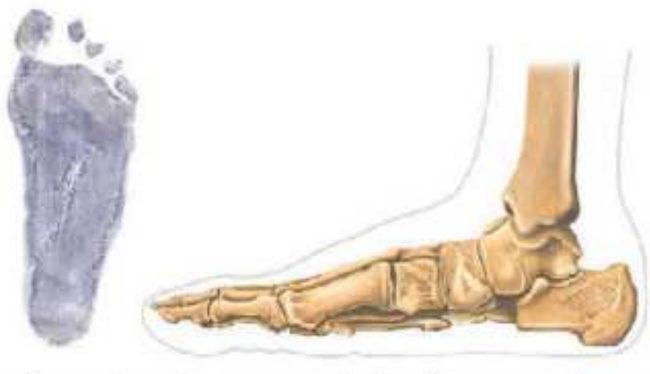
■ Płaskostopie

Wada polegająca na obniżeniu fizjologicznego wysklepienia stopy. Powoduje ból i drętwienie stóp w czasie stania i poruszania się.

- **Przyczyny:** osłabienie mięśni i więzadeł stopy. Może być ono wrodzone lub nabyte w wyniku urazów.



Stopa o prawidłowej budowie nie dotyka podłoża całą powierzchnią. Jej kości układają się w łuk.



Płaskostopie powoduje, że prawie cała stopa przylega do podłoża. Kości w takiej stopie leżą w linii prostej.

- **Profilaktyka:** noszenie odpowiedniego obuwia, utrzymywanie prawidłowej masy ciała, ćwiczenia.

■ Urazy mechaniczne

Do urazów mechanicznych szkieletu należą: zwichnięcia i skręcenia stawów oraz złamania kości.

- **Skręcenie** stawu polega na niewielkim uszkodzeniu torebki stawowej i więzadeł.
- **Zwichnięcie** stawu polega na zerwaniu torebki stawowej i więzadeł oraz przemieszczeniu względem siebie powierzchni stawowych kości.
- **Złamanie** kości polega na przerwaniu ciągłości kości.

Choroby układu ruchu

Osteoporoza

Zmniejszenie gęstości mineralnej kości i zmiany ich struktury.

- **Przyczyny:** zmniejszone wydzielanie hormonów płciowych i niedobór wapnia w organizmie.
- **Na rozwój choroby wpływają:** starszy wiek (zwłaszcza u kobiet), czynniki genetyczne, dieta uboga w wapń i białko, długotrwałe unieruchomienie, zbyt mała aktywność fizyczna, przyjmowanie niektórych leków (np. sterydowych), niedobór witaminy D_3, palenie papierosów i nadużywanie alkoholu.
- **Objawy:** w początkowej fazie choroba przebiega bezobjawowo. Po pewnym czasie, zwłaszcza pod wpływem obciążenia, zaczynają pojawiać się bóle kości długich. Może też dojść do obniżenia wzrostu w związku ze złamaniami kręgów lub powstania nadmiernej kifozy piersiowej oraz złamań kości długich przy niewielkich urazach.
- **Profilaktyka:** uzupełnianie niedoborów wapnia, witaminy D_3 oraz białka w diecie, aktywność fizyczna, unikanie picia alkoholu i palenia papierosów.

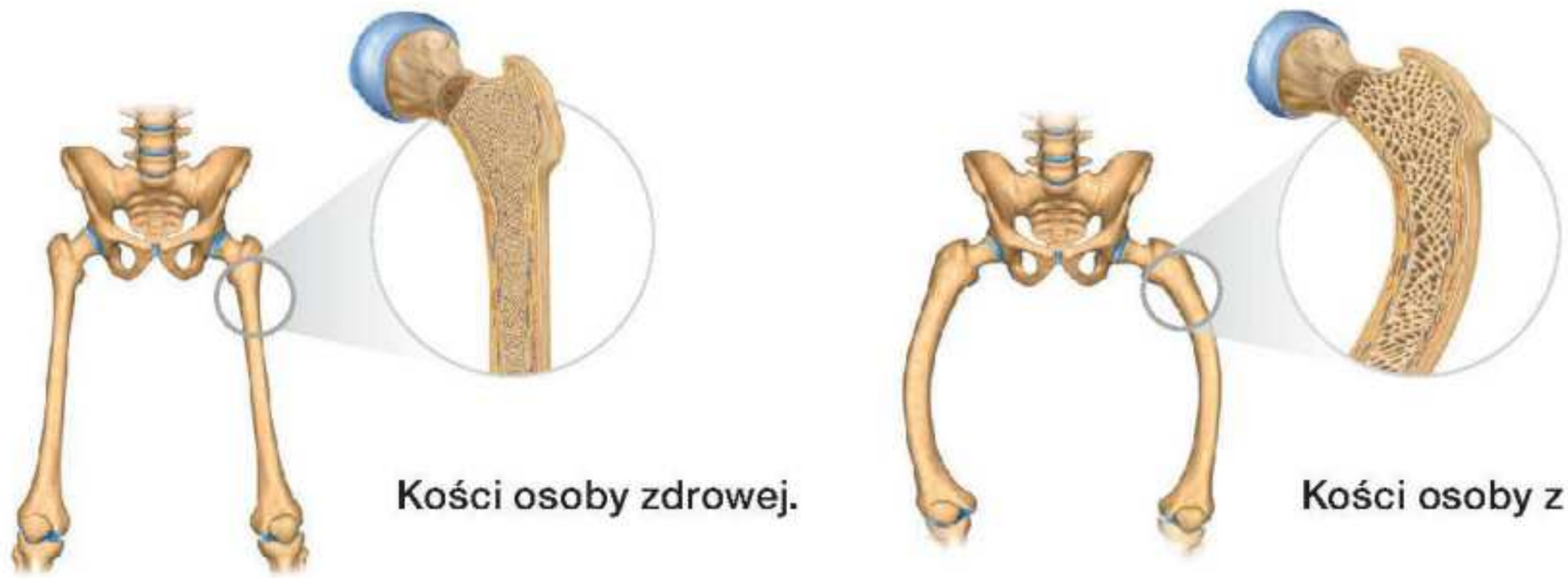


Kość prawidłowa. Osteoporoza. Złamanie kości.

Krzywica

Zmniejszenie mineralizacji kości podczas ich wzrostu w wyniku zaburzeń gospodarki wapniowo-fosforanowej. Choroba ta dotyczy głównie dzieci – sprawia, że ich kości stają się miękkie i podatne na deformacje.

- **Przyczyny:** niedobór witaminy D_3.
- **Objawy:** zniekształcenie kości kończyn, nadmierne spłaszczenie lub uwypuklenie klatki piersiowej.
- **Profilaktyka:** dieta bogata w witaminę D_3 i wapń oraz bezpieczna ekspozycja skóry na działanie promieni słonecznych.



Kości osoby zdrowej. Kości osoby z krzywicą.

Jak zapobiegać wadom postawy?

Aby zachować prawidłowe krzywizny kręgosłupa, należy pamiętać o kilku ważnych zasadach.

Głowa znajduje się w jednej linii z klatką piersiową.

Plecy są wyprostowane.

cofnij głowę

wyprostuj się

opuść barki

Ramiona są opuszczone i znajdują się na tej samej wysokości.

napnij brzuch



Do czego prowadzą złe nawyki?

- Osobie, która się garbi, grozi **nadmierna kifoza piersiowa**.



- Długotrwałe przebywanie w pozycji stojącej, nadwaga i nieodpowiednie obuwie mogą doprowadzić do obniżenia naturalnych sklepień stopy, czyli do **płaskostopia**.



- Nierównomierne, jednostronne obciążanie kręgosłupa może doprowadzić do bocznego skrzywienia kręgosłupa – **skoliozy**.



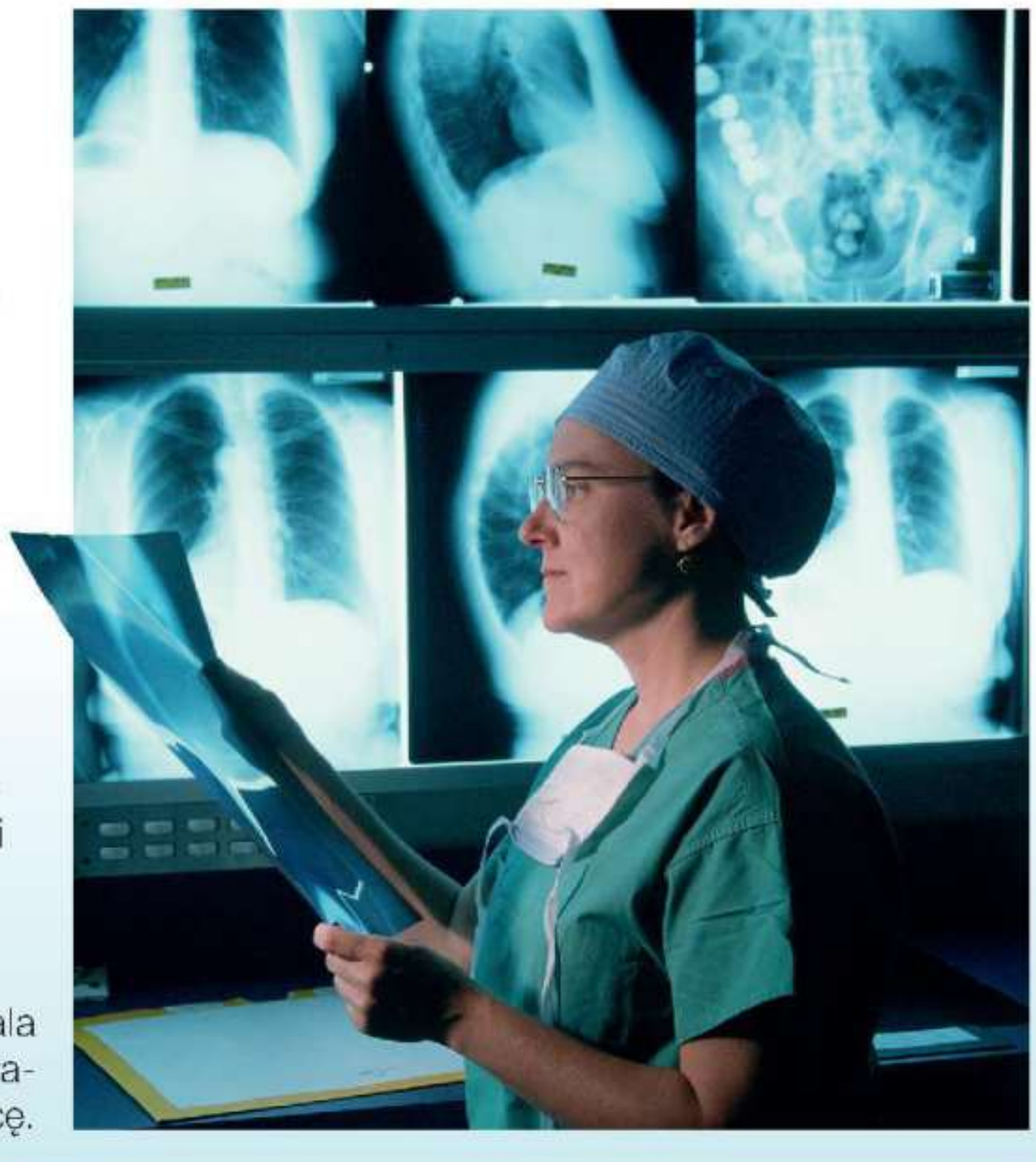
- Nadwaga oraz częste pochylanie ciała do przodu, np. podczas siedzenia przy biurku, mogą doprowadzić do **nadmiernej lordozy lędźwiowej**.



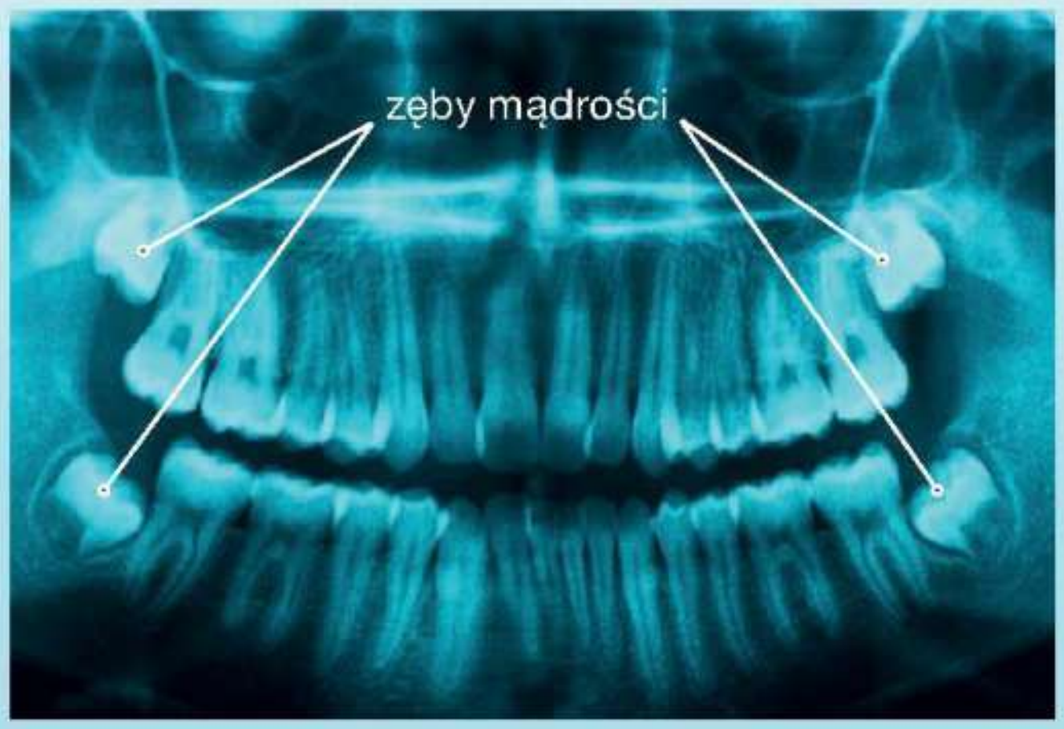
Biologia w **medycynie**

Badanie rentgenowskie (RTG)

Badanie RTG polega na prześwietleniu fragmentu ciała promieniowaniem rentgenowskim i uzyskaniu obrazu tkanek na błonie światłoczułej. Tkanki mają różną zdolność do pochłaniania promieniowania, dlatego na zdjęciu RTG widoczne są zacienienia i przejaśnienia, które świadczą o strukturze danego narządu. Promieniowanie rentgenowskie ma działanie mutagenne i w dużych dawkach może prowadzić do rozwoju nowotworów, dlatego podczas jego wykonywania należy stosować odpowiednie środki ochronne. Może też ono powodować wady rozwojowe u płodu – z tego powodu nie przeprowadza się go u kobiet w ciąży. Badanie rentgenowskie służy m.in. do diagnostyki chorób płuc, a także zwyrodnień i urazów układu kostnego. Jest ono również pomocne w stomatologii i chirurgii szczękowo-twarzowej.



RTG klatki piersiowej pozwala na wykrycie w płucach zmian wywołanych np. przez nowotwory lub gruźlicę.



RTG panoramiczne szczęki i żuchwy wykonuje się m.in. przed usuwaniem nieprawidłowo wyrastających zębów mądrości (trzecich zębów trzonowych), by określić ich położenie i układ korzeni.



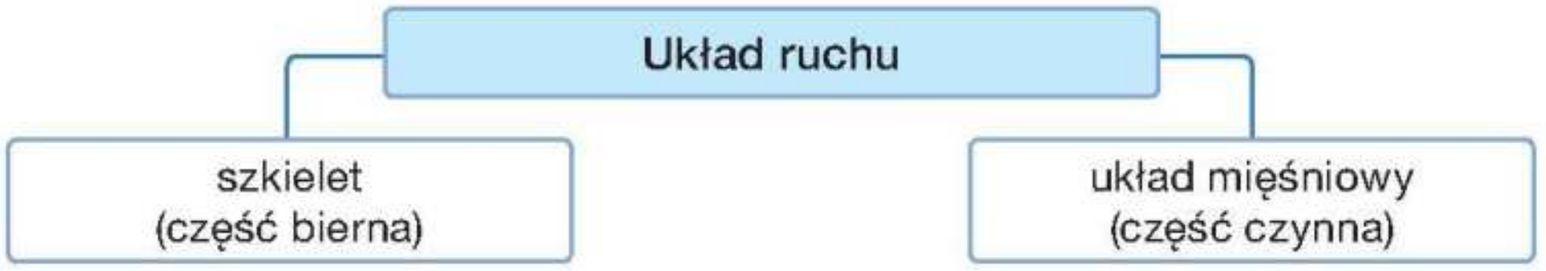
Wykonywanie RTG w diagnostyce urazów układu ruchu pozwala m.in. na odróżnienie złamania kości od zwichnięcia lub skręcenia stawu i zastosowanie odpowiedniego leczenia.

Polecenia kontrolne

1. Wymień trzy korzyści, jakie organizm człowieka czerpie z regularnej aktywności fizycznej.
2. Zaproponuj zdrowy jednodniowy jadłospis dla sportowca, któremu zależy na przyroście masy mięśniowej.
3. Wymień dwa zalecenia, których należy przestrzegać, aby zmniejszyć ryzyko rozwoju wad postawy.
4. Uzasadnij za pomocą trzech argumentów, że stosowanie dopingu przez sportowców może mieć poważne konsekwencje dla ich zdrowia.

Podsumowanie

1 Budowa układu ruchu



2 Funkcje szkieletu:

- chroni narządy wewnętrzne (np. mózg, płuca),
- stanowi miejsce przyczepu mięśni,
- jest rusztowaniem dla ciała i nadaje mu kształt,
- magazynuje składniki mineralne, m.in. sole wapnia,
- produkuje elementy morfotyczne krwi.

3 Budowa szkieletu człowieka:

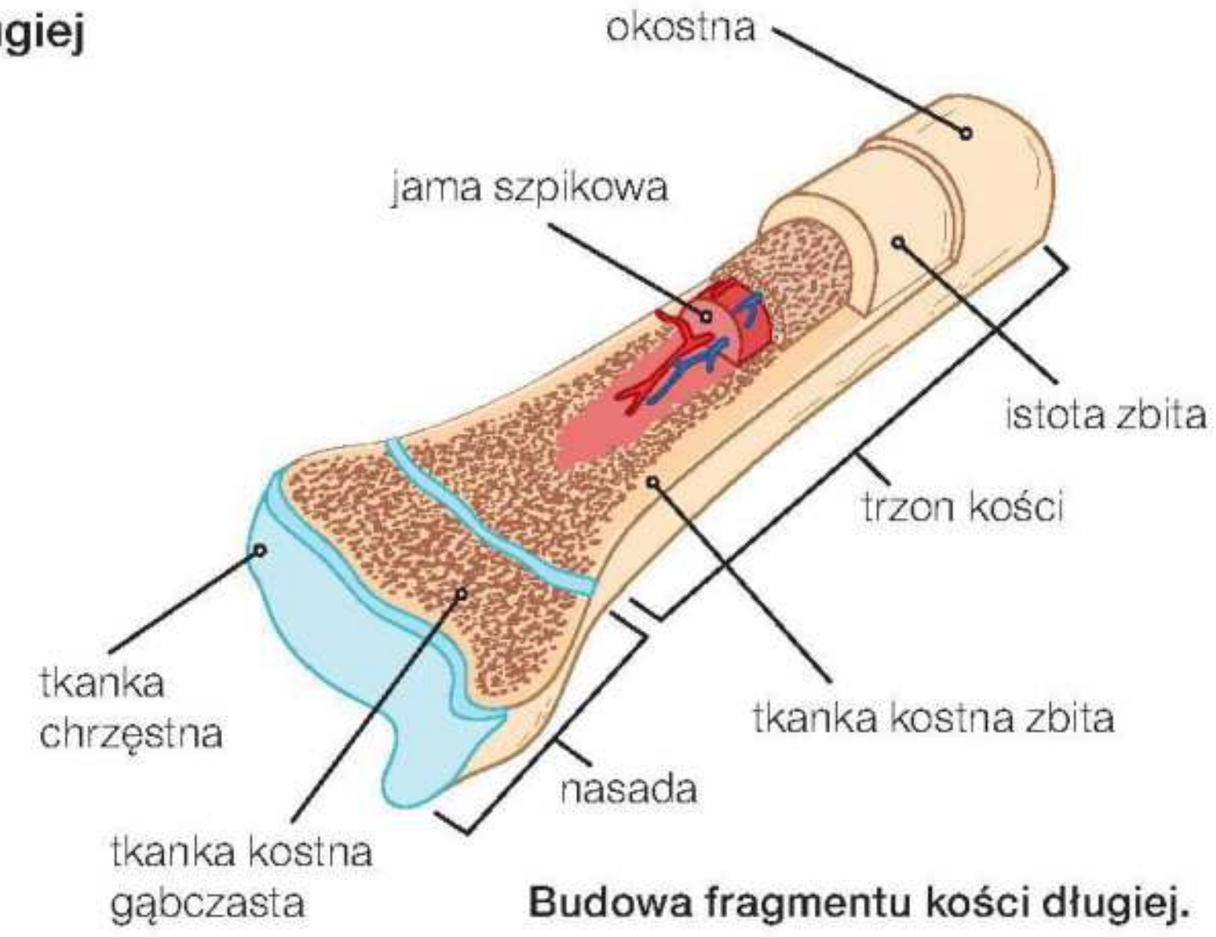
- szkielet osiowy (czaszka, kręgosłup, szkielet klatki piersiowej),
- szkielet kończyn (kości kończyn wolnych i kości obręczy).

4 Podział kości ze względu na kształt



5 Budowa kości na przykładzie kości długiej

- Kości z zewnątrz są pokryte **okostną** – łącznotkankową błoną, która odżywia kość oraz uczestniczy w przebudowie i regeneracji kości, np. po złamaniach.
- Trzon jest zbudowany głównie z **tkanki kostnej zbitej**, a nasady kości – z **tkanki kostnej gąbczastej**.
- Wewnątrz kości znajduje się **jama szpikowa**, wypełniona szpikiem kostnym.
- Powierzchnie stawowe kości są chronione przed urazami przez **tkankę chrzęstną**.



Budowa fragmentu kości długiej.

6 Rodzaje połączeń kości:

- **połączenia ruchome (stawy)** – razem z mięśniami umożliwiają ruch kości względem siebie w jednej lub kilku płaszczyznach,
- **połączenia ścisłe** – zapobiegają przemieszczaniu się kości względem siebie, mają ograniczoną ruchomość lub są nieruchome.

Rodzaje połaczeń ścisłych	Opis	Przykłady
Więzozrosty	Kości są połączone za pomocą tkanki łącznej włóknistej.	• szwy łączące kości czaszki • więzozrosty włókniste, łączące np. kość łokciową z kością promieniową
Chrząstkozrosty	Kości są połączone za pomocą tkanki chrzęstnej.	• krążki międzykręgowe w kręgosłupie • połączenia żeber z mostkiem
Kościozrosty	Kości są połączone za pomocą tkanki kostnej.	• kość krzyżowa powstająca przez zrośnięcie się kręgów krzyżowych kręgosłupa

7 Budowa szkieletu osiowego

Szkielet osiowy

czaszka

Jest zbudowana z dwóch części:
- **mózgoczaszki**, która składa się z kości: czołowej, klinowej, potylicznej oraz parzystych kości ciemieniowych i skroniowych,
- **twarzoczaszki**, która składa się z żuchwy, kości gnykowej oraz parzystych kości nosowych, jarzmowych, podniebiennych i szczękowych.

klatka piersiowa

Jest zbudowana z odcinka piersiowego kręgosłupa, mostka oraz 12 par żeber. Rodzaje żeber ze względu na sposób połączenia z mostkiem:
- **żebra prawdziwe** – połączone z mostkiem bezpośrednio za pomocą chrząstek,
- **żebra rzekome** – połączone z mostkiem za pomocą chrząstki siódmego żebra,
- **żebra wolne** – nie mają połączenia z mostkiem.

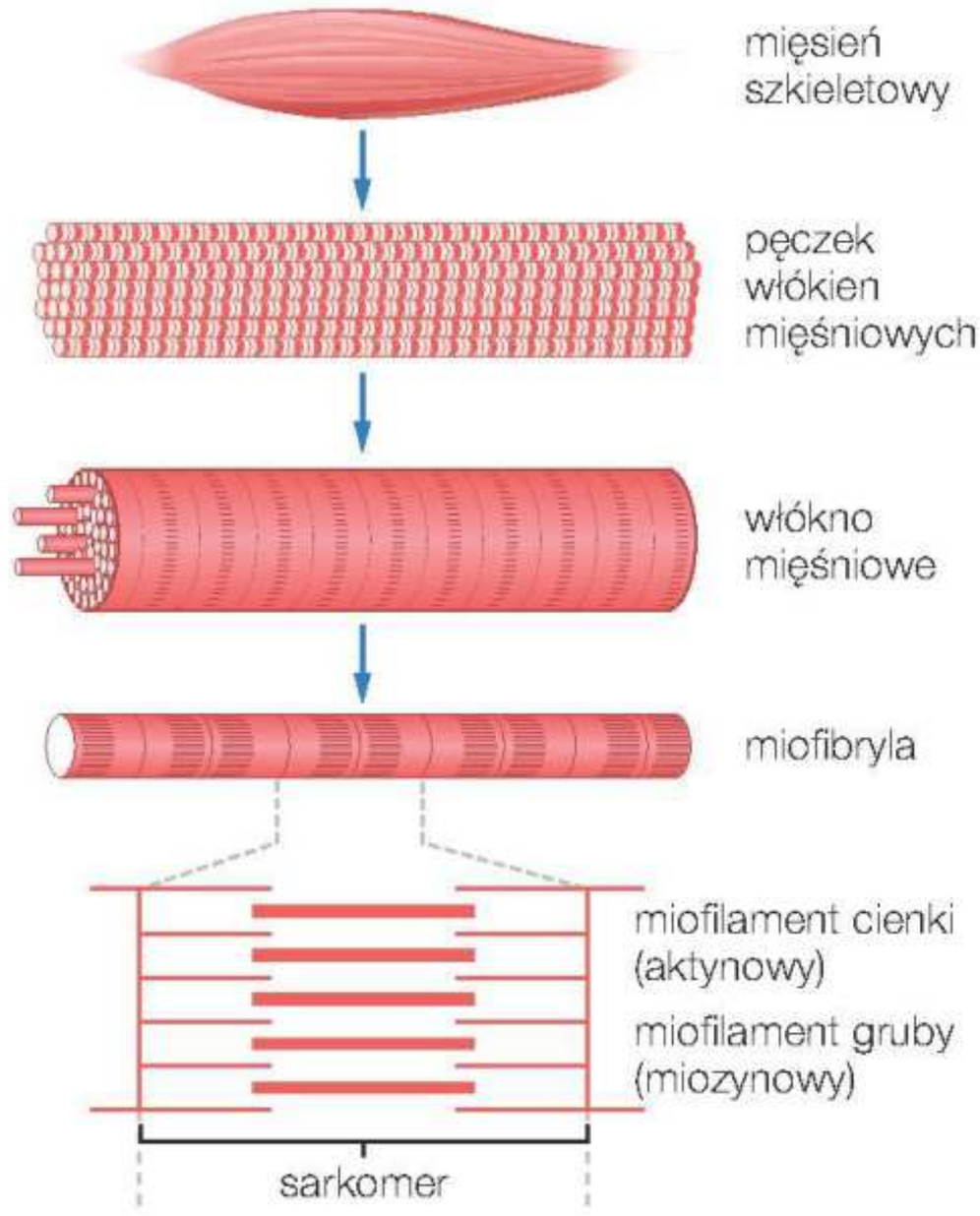
kręgosłup

Jest zbudowany z 33–34 kręgów. Pomiędzy kręgami znajdują się chrząstki, tzw. krążki międzykręgowe, które amortyzują wstrząsy i nadają kręgosłupowi giętkość.



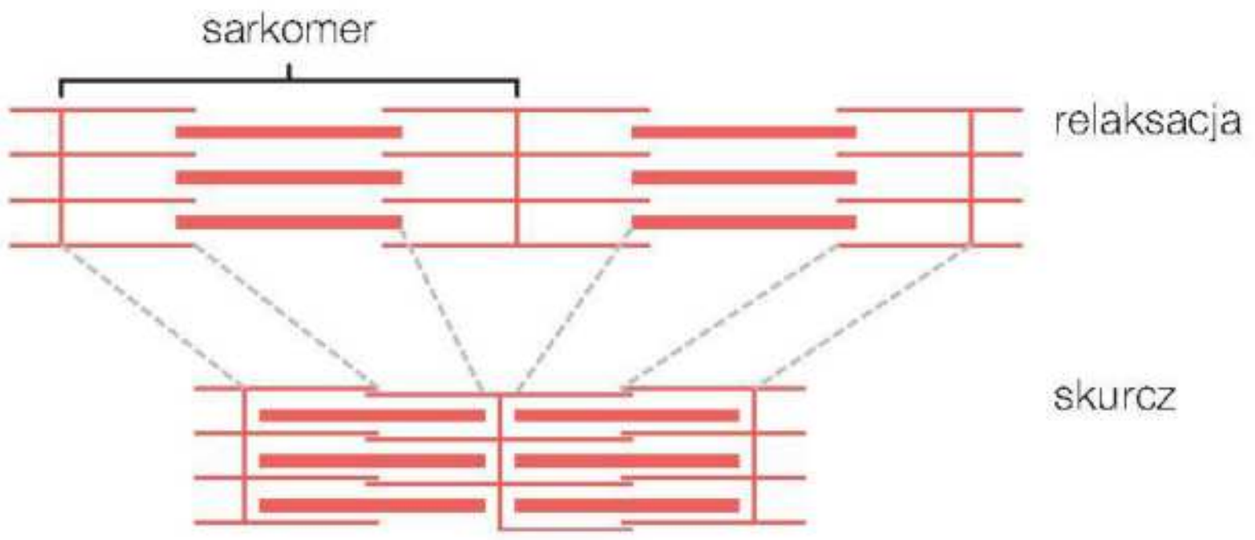
8 Budowa mięśnia szkieletowego

Sarkomer – podstawowa jednostka funkcjonalna (kurczliwa) mięśnia szkieletowego.



9 Mechanizm skurczu mięśnia

Podczas skurczu mięśnia w każdym sarkomerze włókna aktyny wsuwają się między włókna miozyny. W ten sposób sarkomer się skraca. Skrócenie kolejnych sarkomerów powoduje skrócenie całej miofibryli. Skracanie się wszystkich włókien mięśniowych sprawia, że kurczy się cały mięsień.



10 Źródła energii potrzebnej do pracy mięśni



Sposób na zadania

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 „Szwy znajdują się tylko w głowie i bez nich trudno byłoby wyobrazić sobie wzrost i rozwój skomplikowanej struktury czaszki. [...] Wspólnie z ciemiączkami pełnią istotną rolę podczas przechodzenia głowy przez kanał rodny. W pokrywie czaszki występuje system szwów strzałkowych, koronowych i węgłowych, jak też czasowy szew dzielący kości czołowe.

[...] Pojemność czaszki, która w pierwszym roku życia wynosi 50% pojemności dorosłego, wzrasta do 75% w trzecim roku życia i 90% w 7. roku życia [...]. [...] Średni obwód głowy noworodka wynosi 35 cm. Wymiar ten powiększa się o 5 cm podczas pierwszych 4 miesięcy i o 10 cm podczas pierwszego roku życia. Pozostałe 10 cm przyrostu ma miejsce pomiędzy 1. rokiem życia a wiekiem dojrzałym.

[...] Przednie ciemiączko (w miejscu przecięcia się szwów strzałkowych i koronowych) zamyka się w wieku od 6 do 20 miesięcy. Tylne ciemiączko (w miejscu przecięcia szwów strzałkowych i węgłowych) zamyka się w wieku 3 miesięcy. Szew dzielący kości czołowe zanika w 7 miesiącu życia. Zamknięcie koronowych i strzałkowych szwów zaczyna się w wieku lat 30., zaś szwów węgłowych w wieku 40 lat [...]".

Źródło: M. Kulewicz, *Wzrost i rozwój twarzoczaszki*, „Acta Clinica" 2002, 2 (2), s. 168–178.

a) Uzasadnij, że zmiany wymiarów czaszki, które są możliwe dzięki obecności szwów pomiędzy jej kośćmi, pozwalają na prawidłowy rozwój człowieka.

b) Wyjaśnij, w jaki sposób ciemiączka umożliwiają przejście głowy noworodka przez kanał rodny podczas porodu. W odpowiedzi uwzględnij budowę ciemiączek.

c) Oceń, czy poniższe stwierdzenia dotyczące połączeń kości czaszki są prawdziwe. Zaznacz P, jeśli stwierdzenie jest prawdziwe, albo F – jeśli jest fałszywe.

1.	Ciemiączka zamykają się po okresie wzrostu czaszki.	P	F
2.	Ciemiączka występują pomiędzy kośćmi mózgoczaszki.	P	F
3.	Zamknięcie się szwów czaszki ok. 30. roku życia polega na ich skostnieniu.	P	F

d) Uzupełnij poniższe zdania tak, aby zawierały prawdziwe informacje dotyczące kształtu i miejsca występowania kości czaszki. Wybierz właściwe określenia spośród podanych.

1. Kość potyliczna to kość (*płaska / różnokształtna*) będąca elementem (*mózgoczaszki / twarzoczaszki*).
2. Żuchwa jest kością (*długą / różnokształtną*) i stanowi część (*mózgoczaszki / twarzoczaszki*).
3. Kości jarzmowe to kości (*krótkie / różnokształtne*), które znajdują się w (*mózgoczaszce / twarzoczaszce*).
4. Kości skroniowe to kości (*płaskie / krótkie*), które stanowią część (*mózgoczaszki / twarzoczaszki*).

Wskazówki

Podpunkt a)

1. Przypomnij sobie wiadomości dotyczące budowy i funkcji czaszki. Informacje na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 76–77.
2. Zwróć szczególną uwagę na miejsce występowania szwów. Przypomnij sobie, w której części czaszki się one znajdują.
3. Sformułuj odpowiedź.

Podpunkt b)

1. Zastanów się, jakie są proporcje głowy noworodka w stosunku do kanału rodnego.
2. Przypomnij sobie, czym są ciemiączka i jak są zbudowane. Informacje na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 76.
3. Zastanów się, w jaki sposób budowa ciemiączek umożliwia przejście głowy noworodka przez wąski kanał rodny.
4. Sformułuj odpowiedź.

Podpunkt c)

1. Aby określić, czy pierwsze stwierdzenie jest prawdziwe, przeczytaj uważnie tekst na początku zadania. Zwróć szczególną uwagę na wiek dziecka, w którym zanika ostatnie z ciemiączek, a także na okres życia człowieka, w którym czaszka przestaje rosnąć.
2. Na podstawie zgromadzonych informacji oceń, czy pierwsze z podanych stwierdzeń jest prawdziwe. Zaznacz odpowiednią literę.
3. Aby ustalić, czy drugie stwierdzenie jest prawdziwe, przeanalizuj jeszcze raz tekst dołączony do zadania – znajdują się w nim informacje na temat położenia poszczególnych ciemiączek. Przypomnij sobie także wiadomości o lokalizacji ciemiączek w czaszce. Informacje na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 76.
4. Na podstawie zgromadzonych informacji oceń, czy drugie stwierdzenie jest prawdziwe. Zaznacz odpowiednią literę.
5. Aby określić, czy trzecie zdanie jest prawdziwe, przypomnij sobie, jakim przekształceniom ulegają szwy w wieku ok. 30 lat. Informacje na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 72 i 76.
6. Na podstawie zgromadzonych informacji oceń, czy trzecie stwierdzenie jest prawdziwe. Zaznacz odpowiednią literę.

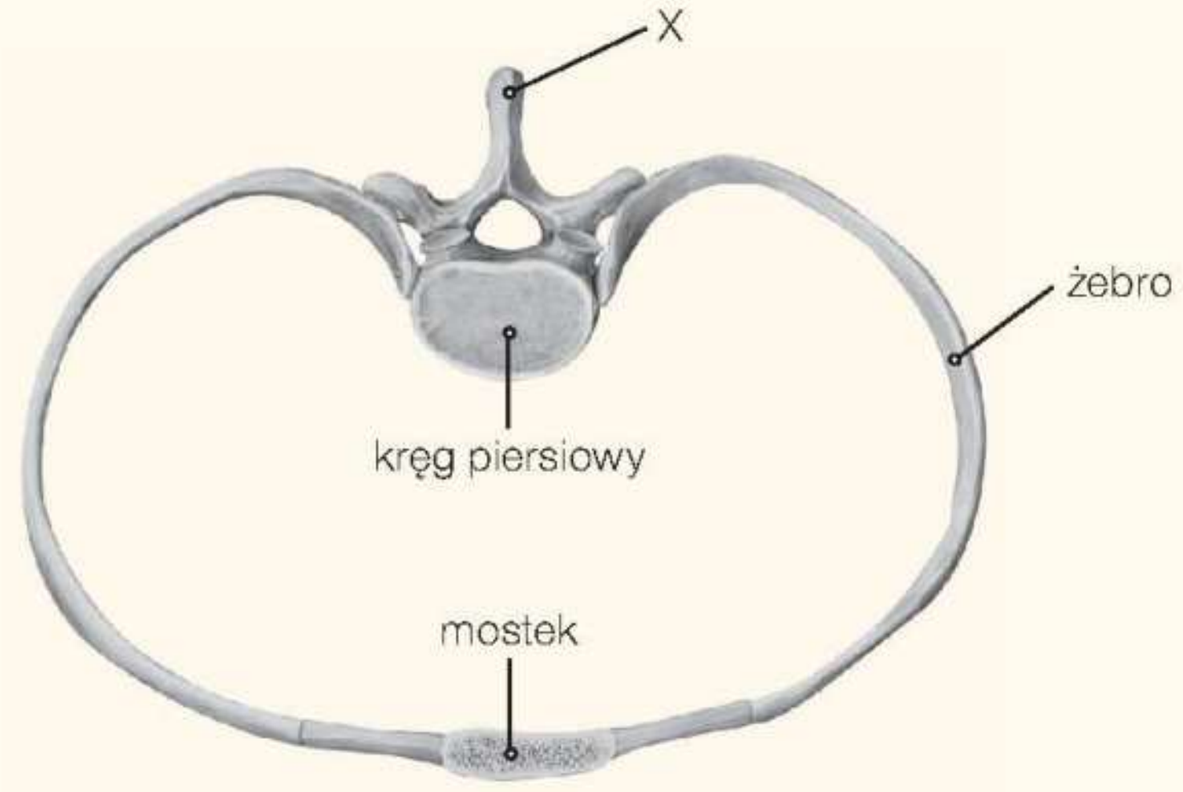
Podpunkt d)

1. Przypomnij sobie wiadomości dotyczące kształtów kości występujących u człowieka. Informacje na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 70.
2. Zastanów się, jakie są różnice między podstawowymi kształtami kości. Informacja ta znajduje się w podręczniku na s. 70.
3. Przypomnij sobie, które kości tworzą mózgoczaszkę i twarzoczaszkę. Informacje na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 76.
4. Przeanalizuj schematy mózgoczaszki i trzewioczaszki w podręczniku na s. 76. Zwróć szczególną uwagę na kształt kości wymienionych w treści zadania.
5. W każdym ze zdań wybierz właściwe określenia.

Zadania powtórzeniowe

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Schemat przedstawia połączenie jednej z par żeber z kręgiem piersiowym i mostkiem.



a) Określ, jakimi kośćmi ze względu kształt są: żebra, kręgi piersiowe i mostek.

b) Określ, które kości są względem siebie bardziej ruchome – żebra i kręgi piersiowe czy żebra i mostek. Odpowiedź uzasadnij, uwzględniając typy połączeń między wymienionymi kośćmi.

c) Wyjaśnij, w jaki sposób ruchomość żeber względem kręgów piersiowych i mostka pozwala na prawidłowe funkcjonowanie klatki piersiowej.

d) Podaj nazwę struktury oznaczonej na schemacie znakiem X i określ jej funkcję.

2 Włókna mięśniowe poprzecznie prążkowane charakteryzują się rozbudowaną siateczką śródplazmatyczną gładką, zwaną siateczką sarkoplazmatyczną, oraz obecnością licznych mitochondriów.

a) Wyjaśnij związek między obecnością licznych mitochondriów we włóknach mięśniowych poprzecznie prążkowanych a zdolnością tych włókien do skurczu.

b) Uzasadnij, że siateczka sarkoplazmatyczna pełni istotną funkcję podczas skurczu mięśnia.

3 Podczas intensywnego wysiłku fizycznego po pewnym czasie w mięśniach zaczyna brakować tlenu, który jest niezbędny do utlenienia substratów oddechowych i uzyskania energii potrzebnej do skurczów. Organizm zaciąga wtedy dług tlenowy, a mięśnie uzyskują energię w procesie, którego sumaryczną reakcję zapisano poniżej.

$$C_6H_{12}O_6 + 2\ ADP + 2\ P_i \rightarrow 2\ CH_3CH(OH)COOH + 2\ ATP$$

a) Podaj nazwę przedstawionego procesu.

b) Określ, co się dzieje z głównym produktem organicznym przedstawionego procesu po przywróceniu warunków tlenowych w mięśniach.

c) Uzupełnij poniższe zdania tak, aby zawierały prawdziwe informacje dotyczące włókien mięśniowych pobudzanych do pracy przy maksymalnym wysiłku. Wybierz właściwe określenia spośród podanych.

Przy maksymalnym wysiłku neurony pobudzają do pracy włókna mięśniowe (*białe / czerwone*). Włókna te mają (*dużą / małą*) zawartość mioglobiny oraz (*dużą / małą*) zawartość glikogenu. Tempo ich skurczu jest (*wolne / szybkie*), a odporność na zmęczenie (*mała / duża*).

4 Na rysunkach przedstawiono dwa rodzaje skurczów mięśni – izotoniczny i izometryczny.

a) Określ, który z rysunków przedstawia skurcz izometryczny. Odpowiedź uzasadnij, uwzględniając cechy tego skurczu.

b) Zaznacz poprawne dokończenie zdania.

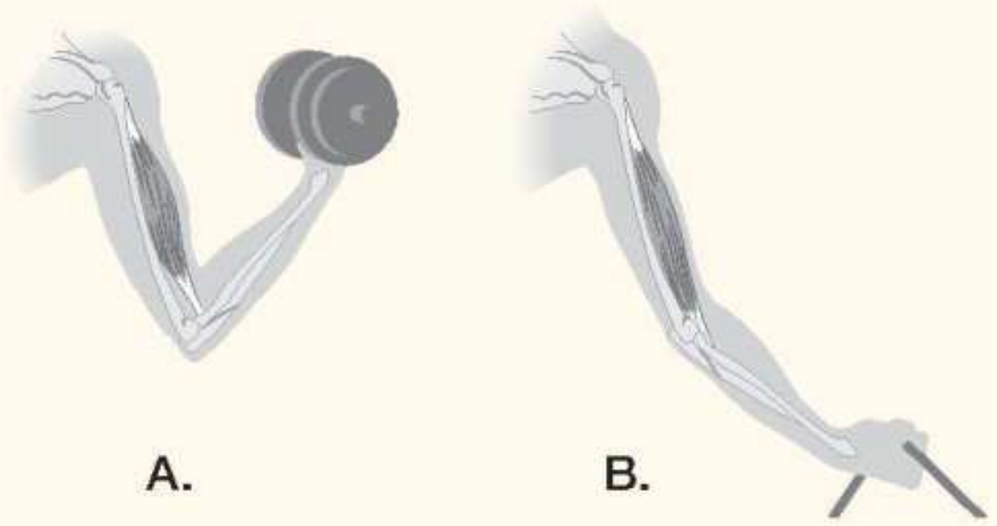
Do skurczu izotonicznego dochodzi podczas

A. stania na baczność.

B. odkręcania mocno zakręconej zakrętki słoika.

C. zaciskania zębów.

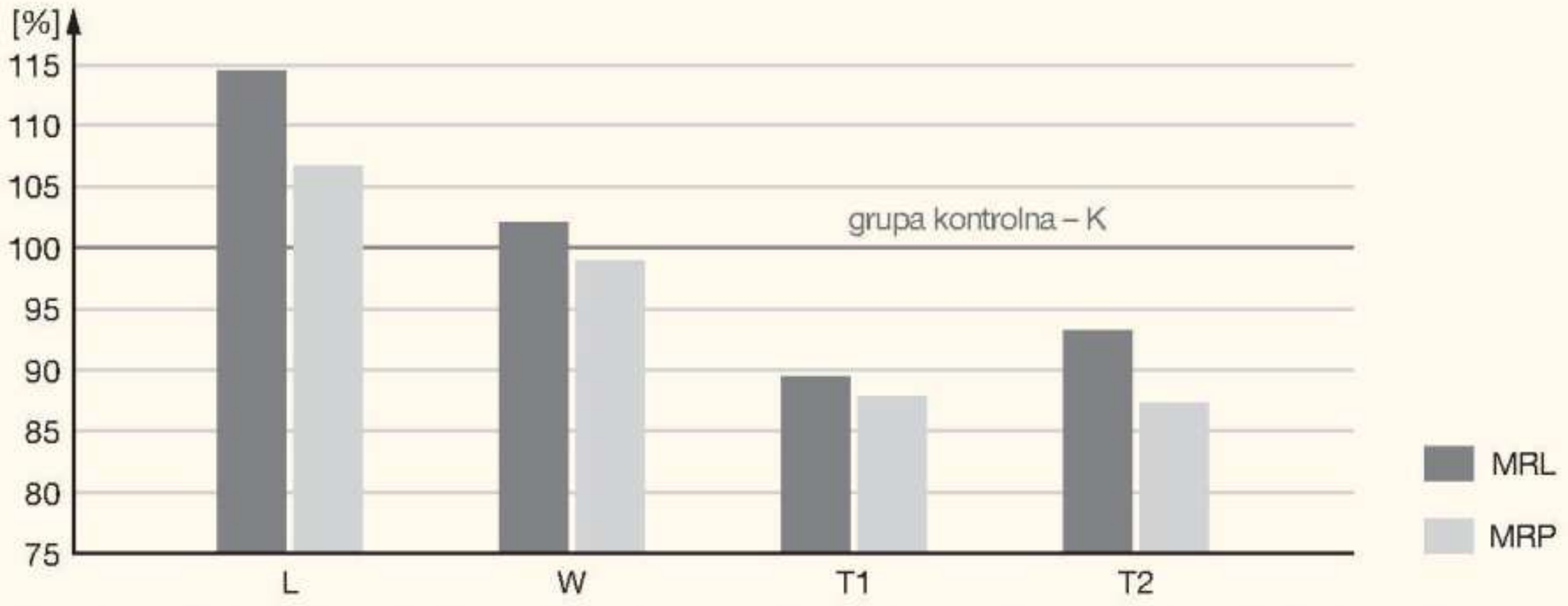
D. chodzenia.



A. B.

5 Przeprowadzono badania, w których wzięło udział 89 dziewcząt w wieku 10–18 lat. Wśród nich znalazło się 59 dziewcząt, u których rozpoznano cztery różne typy skoliozy, oraz 30 dziewcząt, które nie miały skrzywienia kręgosłupa i stanowiły grupę kontrolną.

Na wykresie przedstawiono wartości procentowe zakresu ruchów miednicy w pozycji stojącej – rotacji lewostronnej (MRL) i rotacji prawostronnej (MRP) – u badanych grup dziewcząt.



L – skoliozy jednołukowe lub skoliozy dwułukowe z dominującym skrzywieniem lędźwiowym lewostronnym
W – skoliozy wyrównane
T1 – skoliozy dwułukowe z dominującym skrzywieniem piersiowym
T2 – skoliozy jednołukowe piersiowe prawostronne

Na podstawie: A Stępień, *Zakresy rotacji tułowia i miednicy u dziewcząt ze skoliozą idiopatyczną*, „Postępy Rehabilitacji" 2011, nr 3, s. 5–12.

a) Sformułuj problem badawczy do opisanych badań.

b) Oceń, czy na podstawie analizy powyższego wykresu można sformułować wnioski podane w tabeli. Zaznacz T, jeśli wniosek wynika z analizy, albo N – jeśli z niej nie wynika.

1.	Zakres rotacji miednicy zależy od typu skrzywienia kręgosłupa.	T	N
2.	Wszystkie badane typy skoliozy prowadzą do zmniejszenia zakresów rotacji miednicy.	T	N
3.	Skolioza z dominującym skrzywieniem lędźwiowym lewostronnym prowadzi do asymetrii między zakresem lewostronnej rotacji miednicy a zakresem prawostronnej rotacji miednicy.	T	N

c) Określ zmienną zależną w opisanym badaniu.

d) Podaj nazwy dwóch skrzywień kręgosłupa innych niż skolioza, a także określ, na czym one polegają.

e) Podaj nazwy kości tworzących miednicę człowieka.

4. Układ pokarmowy

4.1. Odżywianie się zwierząt
4.2. Organiczne składniki pokarmowe
4.3. Rola witamin. Nieorganiczne składniki pokarmowe
4.4. Budowa i funkcje układu pokarmowego
4.5. Procesy trawienia i wchłaniania
4.6. Zasady racjonalnego odżywiania się
4.7. Choroby układu pokarmowego

Fot. Kosmek jelitowy (mikrofotografia elektronowa).

4.1. Odżywianie się zwierząt

Zwróć uwagę na:

- adaptacje w budowie i funkcjonowaniu układów pokarmowych zwierząt do rodzaju pokarmu oraz sposobu jego pobierania,
- trawienie wewnątrzkomórkowe i trawienie zewnątrzkomórkowe u zwierząt.

Do wzrostu i rozwoju organizmów niezbędne są związki organiczne o funkcjach budulcowej, energetycznej i regulującej. Zwierzęta należą do **heterotrofów**, co oznacza, że odżywiają się materią organiczną, którą pobierają ze środowiska, zjadając inne organizmy lub ich szczątki. Pokarm zwierząt składa się głównie z substancji wielkocząsteczkowych – białek, lipidów, polisacharydów oraz kwasów nukleinowych – które są nieprzyswajalne dla organizmu. Dlatego najpierw zachodzi trawienie związków pokarmowych, czyli ich enzymatyczny rozkład do substancji prostszych (również organicznych). Drobnocząsteczkowe produkty trawienia są następnie wykorzystywane przez komórki organizmu do budowy nowych wielkocząsteczkowych związków organicznych.

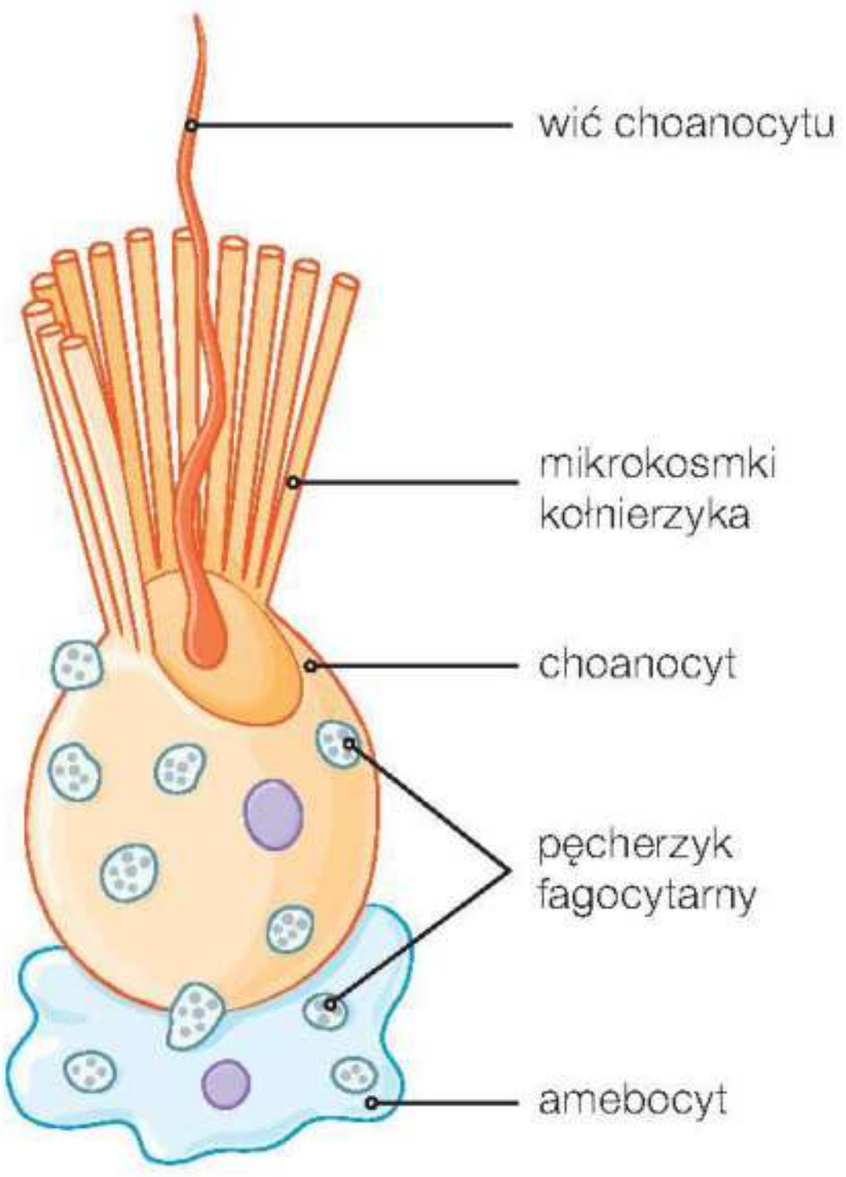
Sposoby pobierania pokarmu

Sposoby pobierania pokarmu zależą od jego wielkości oraz stanu skupienia. Zwierzęta, które pobierają **pokarm stały**, mogą go połykać w całości lub rozdrabniać na mniejsze fragmenty. Połykanie pokarmu w całości zachodzi m.in. u filtratorów (np. małże, niektóre ryby i ptaki wodne) oraz u zwierząt, których otwór gębowy ma możliwość szerokiego otwierania się (głównie kręgowce, np. węże). Zwierzęta, które rozdrabniają pokarm stały, mają specjalne struktury służące do jego cięcia lub rozrywania. Należą do nich np. zęby (większość ryb, gadów i ssaków), dzioby (ptaki i głowonogi), tarki (ślimaki), żuwaczki i szczęki (np. owady) czy płytki tnące (np. niektóre nicienie i pierścienice). Z kolei u zwierząt pobierających **pokarm płynny** występują ssawki (np. motyle), kłujki (np. komary) lub ryjki ssąco-liżące (np. muchy).

Trawienie i wchłanianie pokarmu

Po pobraniu pokarmu rozpoczyna się jego trawienie, a następnie wchłanianie. Trawienie może odbywać się wewnątrzkomórkowo lub zewnątrzkomórkowo.

- **Trawienie wewnątrzkomórkowe** polega na rozkładzie pokarmu bezpośrednio w komórkach za pomocą enzymów hydrolitycznych zawartych w **lizosomach**. Usprawnia to przyswajanie pokarmu, ale pozwala na pobieranie wyłącznie małych cząstek, ponieważ zwierzę nie ma możliwości rozdrobnienia pożywienia. Taki sposób trawienia jest charakterystyczny dla gąbek i wirkokształtnych.



W trawieniu wewnątrzkomórkowym gąbek uczestniczą komórki kołnierzykowe, które wychwytują z wody cząstki pokarmowe i wstępnie je fagocytują, oraz amebocyty, w których zachodzi ostateczny rozkład pokarmu.

- **Trawienie zewnątrzkomórkowe** pozwala na pobranie dużych porcji pokarmu. Odbywa się ono jednak w przewodzie pokarmowym, co wiąże się z jego specjalizacją. Trawienie zewnątrzkomórkowe zachodzi pod wpływem enzymów przewodu pokarmowego wydzielanych przez **gruczoły układu pokarmowego**, takie jak: ślinianki, wątroba czy trzustka. Produkty trawienia są następnie wchłaniane do krwi lub limfy i dostarczane do komórek ciała zwierzęcia. Tam zachodzi trawienie wewnątrzkomórkowe, polegające na ostatecznym rozkładzie pobranego pokarmu.

W rozwoju ewolucyjnym zwierząt obserwuje się coraz większy udział trawienia zewnątrzkomórkowego. Niektóre zwierzęta bezkręgowe (np. parzydełkowce) wykorzystują oba sposoby trawienia w porównywalnym stopniu, natomiast u wszystkich kręgowców wyraźnie dominuje trawienie zewnątrzkomórkowe.

U części zwierząt, np. pająków, występuje **trawienie zewnętrzne** (pozajelitowe). Zwierzę wprowadza soki trawienne do ciała ofiary, a następnie wsysa z niego drobnocząsteczkowe produkty trawienia. Z ciała ofiary pozostaje jedynie pusta powłoka.

Podział zwierząt ze względu na wielkość i stan skupienia spożywanego pokarmu

Ze względu na wielkość i stan skupienia spożywanego pokarmu zwierzęta dzieli się na makrofagi i mikrofagi. Odrębną grupę w tej klasyfikacji stanowią płynożercy.



Do makrofagów należą m.in. węże, które w całości połykają ofiary, często o rozmiarach większych niż szerokość ich głowy. Jest to możliwe dzięki specyficznej budowie czaszki: wydłużonej kości kwadratowej, obecności licznych połączeń stawowych oraz niezrośnięciu prawej i lewej części żuchwy.

Do mikrofagów należą m.in. małże. Ich pokarm stanowią drobne cząstki organiczne, które dostają się wraz z wodą do jamy płaszczowej i osiadają na dużych orzęsionych skrzelach. Dopiero stamtąd trafiają do otworu gębowego.

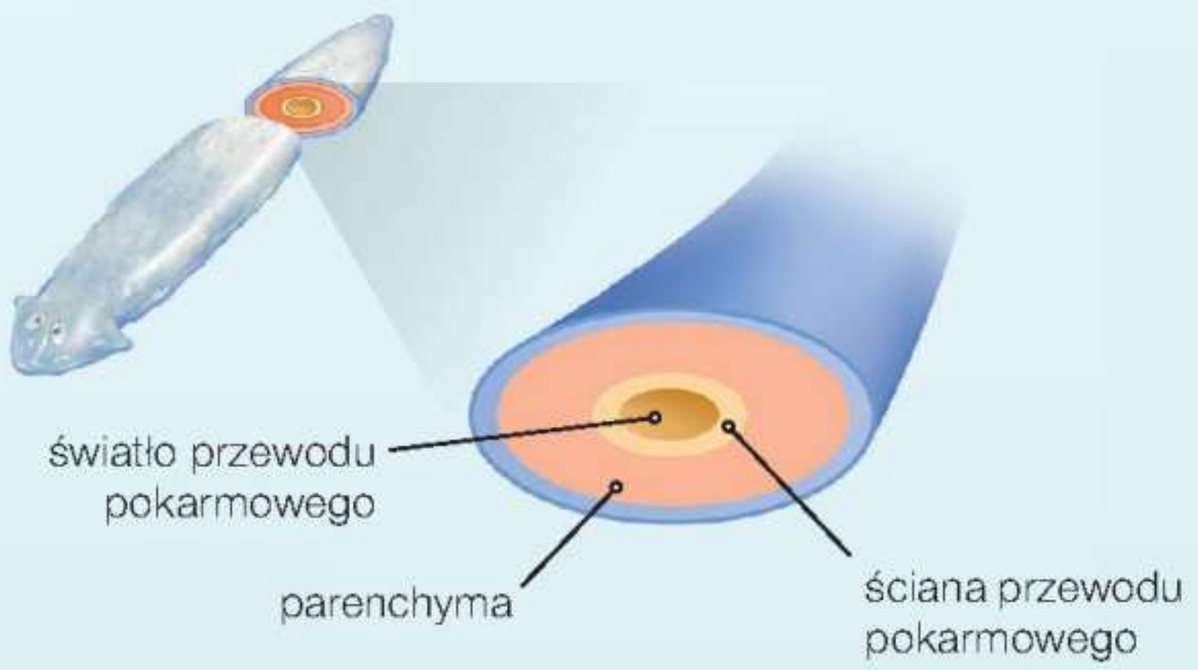


Do płynożerców należą m.in. motyle, np. zawisaki. Pobierają one płynny pokarm – nektar kwiatowy – za pomocą długiej i cienkiej ssawki. Zawisaki, w odróżnieniu od innych motyli, w trakcie pobierania pokarmu zawisają w locie nad kwiatem. W podobny sposób odżywiają się nektarożerne ptaki – kolibry.

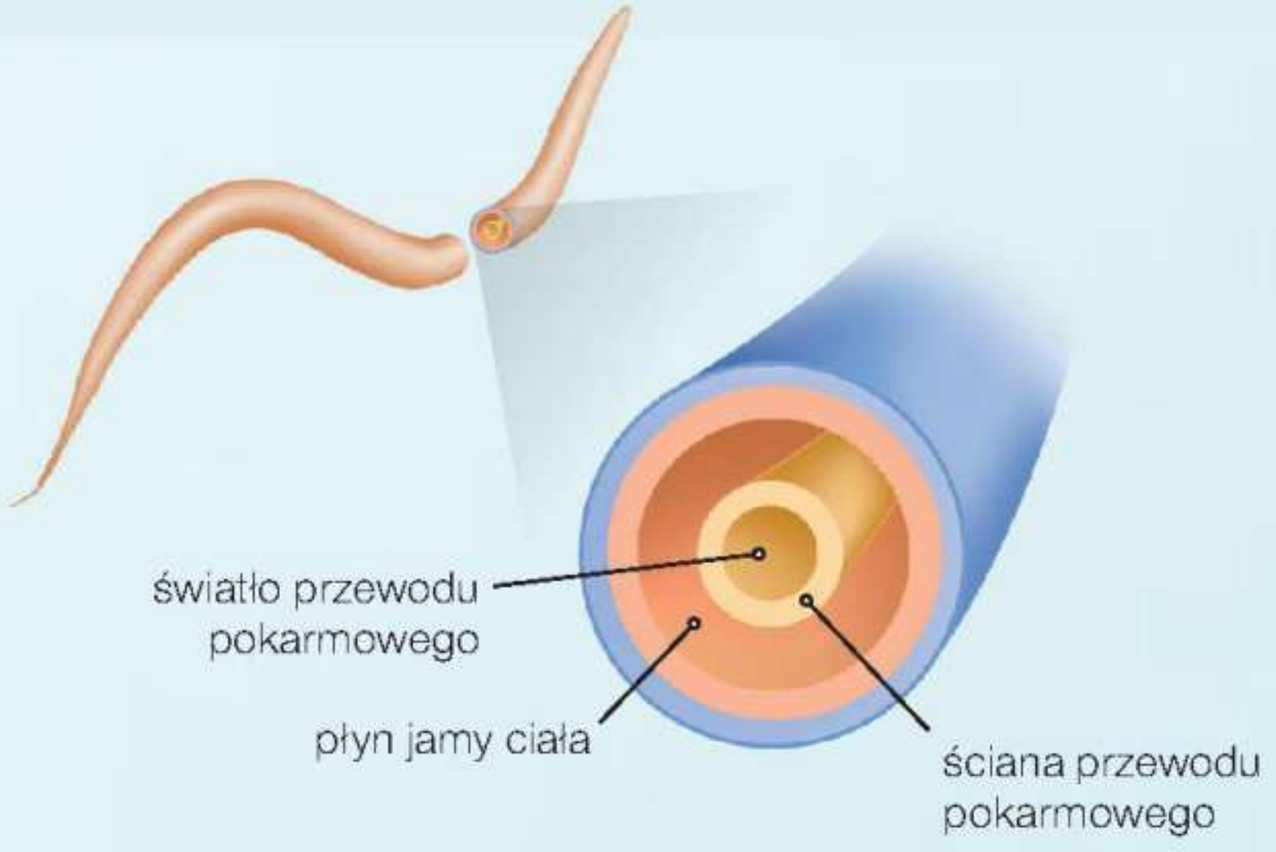
Ewolucja układu pokarmowego

Budowa układu pokarmowego jest ściśle związana z trybem życia zwierzęcia i stopniem zaawansowania jego rozwoju ewolucyjnego. Zwierzęta mało aktywne, których tempo metabolizmu jest niskie, spożywają niewielkie ilości pokarmu, a ich układy pokarmowe są często bardzo proste. Z kolei zwierzęta aktywne mają wysokie tempo metabolizmu, co wymaga pobierania dużej ilości pokarmu oraz sprawnych mechanizmów trawienia i wchłaniania. Dlatego w rozwoju ewolucyjnym układ pokarmowy zwierząt ulegał modyfikacjom, które sukcesywnie zwiększały jego wydajność.

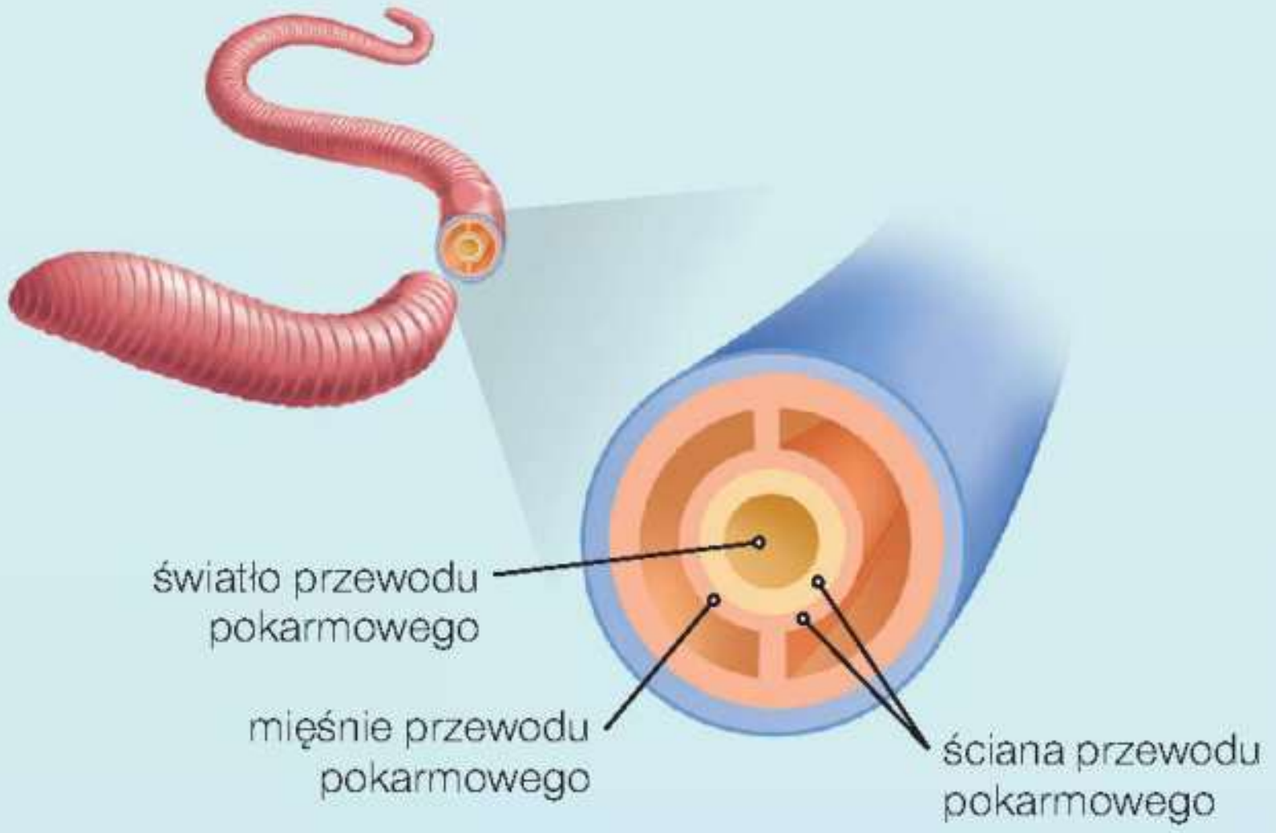
Zwierzęta acelomatyczne, np. płazińce, mają układ pokarmowy w postaci ślepo zakończonej, często rozgałęzionej rurki. Ze względu na brak otworu odbytowego niestrawione resztki pokarmu są usuwane przez otwór gębowy. W związku z tym nowa porcja pożywienia może zostać pobrana dopiero po strawieniu poprzedniej. Rozprowadzanie substancji pokarmowych odbywa się głównie za pośrednictwem parenchymy.



Zwierzęta pseudocelomatyczne, np. wrotki i nicienie, mają układ pokarmowy w postaci drożnego przewodu pokarmowego, który rozpoczyna się otworem gębowym, a kończy się otworem odbytowym. Pozwala to na pobranie nowej porcji pożywienia bez oczekiwania na strawienie poprzedniej, a tym samym umożliwia sprawniejszą niż u płazińców obróbkę pokarmu. Rozprowadzanie substancji pokarmowych odbywa się głównie za pośrednictwem płynu jamy ciała.



Zwierzęta celomatyczne, czyli wszystkie zwierzęta począwszy od pierścienic, mają drożny, umięśniony przewód pokarmowy. Ze względu na wykształcenie mięśni treść pokarmowa jest u nich przesuwana dzięki ruchom perystaltycznym. U większości zwierząt celomatycznych w skład przewodu pokarmowego wchodzą: jama gębowa, gardziel, przełyk, żołądek i jelito. Rozprowadzanie substancji pokarmowych odbywa się za pośrednictwem układu krążenia.



Podział zwierząt ze względu na rodzaj spożywanego pokarmu

Ze względu na rodzaj spożywanego pokarmu i sposób jego pozyskiwania zwierzęta dzieli się na: roślinożerne, mięsożerne, wszystkożerne i saprofagi. Oddzielną grupą są pasożyty, które odżywiają się kosztem innych organizmów.

Pokarm roślinny jest trudny do strawienia, ponieważ zawiera dużo **celulozy**. W związku z tym zwierzęta roślinożerne wykształciły przystosowania pozwalające na dokładne rozdrabnianie pokarmu oraz jego wydajne trawienie i wchłanianie. Należą do nich m.in.:

- **jama gębowa** zaopatrzona w struktury o dużych powierzchniach trących, np. tarkę u ślimaków czy zęby policzkowe pokryte guzkami u ssaków;
- **wole** u ptaków odżywiających się nasionami, w którym zachodzi rozmiękczanie pokarmu;
- **mikrobiom** (zespół mikroorganizmów) rozkładający celulozę, który znajduje się w różnych odcinkach przewodu pokarmowego, np. w żołądku wielokomorowym przeżuwaczy (m.in. żubrów, bydła, jeleni) czy jelicie ślepym innych ssaków roślinożernych (np. koni, kóz, zajęcy). W skład mikrobiomu jelitowego niektórych zwierząt, m.in. termitów, wchodzą mikroorganizmy zdolne do trawienia ligniny, co umożliwia im odżywianie się drewnem.

Pokarm zwierzęcy jest łatwy do strawienia, ponieważ zawiera głównie **białka**. Z tego powodu często bywa połykany w całości. Mięsożercy odżywiający się dużymi ofiarami rozdrabniają je zwykle za pomocą dziobów lub zębów. U ssaków drapieżnych wśród zębów występują kły służące do zabijania i przytrzymywania ofiary oraz łamacze, których funkcją jest cięcie tkanek miękkich i łamanie kości. Ponadto zwierzęta mięsożerne mają jednokomorowy żołądek przystosowany do wstępnego trawienia białek.

Pokarm mieszany wymaga adaptacji charakterystycznych zarówno dla roślinożerców, jak i dla mięsożerców.

Martwa materia organiczna jest pokarmem saprofagów. Zalicza się do nich m.in. glebożerną dżdżownicę czy kałożerne gatunki owadów. Zwierzęta te dysponują różnymi przystosowaniami do obróbki pobieranego pokarmu, np. dżdżownica ma uchodzące do przełyku gruczoły wapienne, których wydzielina zobojętnia treść pokarmową.

Tkankami i płynami ustrojowymi innych organizmów żywią się pasożyty. Wiele z nich, zwłaszcza pasożyty wewnętrzne, ma silnie uwstecznione układy pokarmowe. Jest to związane z wchłanianiem całą powierzchnią ciała drobnocząsteczkowych związków organicznych wprost z jelit żywicieli.

Przypomnij sobie

Różnice w długości przewodów pokarmowych drapieżnika i roślinożercy

Przewód pokarmowy ssaków ma różną długość uzależnioną od rodzaju pobieranego pokarmu. U roślinożerców przewód pokarmowy jest bardzo długi – może osiągać długość odpowiadającą kilkunastu długościom ciała lub większą. Wynika to z faktu, że pokarm roślinny jest trudno przyswajalny. Natomiast przewód pokarmowy drapieżników jest stosunkowo krótki – zaledwie kilka razy dłuższy od długości ciała – co ma związek z szybkim trawieniem oraz wchłanianiem pokarmu zwierzęcego.



Przewód pokarmowy kota (drapieżnika) ma długość równą 4 długościom jego ciała.



Przewód pokarmowy owcy (roślinożercy) ma długość równą 23 długościom jej ciała.

Przystosowania zwierząt do rodzaju spożywanego pokarmu

W toku ewolucji zwierzęta wykształciły szereg przystosowań do zdobywania i trawienia różnych rodzajów pokarmu.



Zwierzęta roślinożerne

Zwierzęciem typowo roślinożernym jest np. sarna europejska, która należy do przeżuwaczy. W jej uzębieniu występują zęby policzkowe o dużych powierzchniach trących pokrytych tępymi guzkami w kształcie półksiężyca. Żołądek jest czterokomorowy: w żwaczu, czepcu i księgach żyją mikroorganizmy symbiotyczne, które rozkładają celulozę. W ostatniej części – trawieńcu – występują gruczoły trawienne, których enzymy hydrolizują białka.

Zwierzęta mięsożerne

Do zwierząt mięsożernych należą drapieżniki, które polują na swoje ofiary, oraz padlinożercy, którzy odżywiają się martwymi zwierzętami lub resztkami pozostawionymi przez drapieżniki.



Ssakami lądowymi najlepiej przystosowanymi do drapieżnictwa są **kotowate**, np. ryś europejski. Zwierzęta te mają duże kły służące do zabijania ofiary oraz łamacze, które działają jak nożyce do cięcia skóry, ścięgien i mięsa. Język kotowatych łatwo ściera mięso z kości, ponieważ jest pokryty sztywnymi brodawkami. Ze względu na bardzo wydajną obróbkę pokarmu mięsnego zwierzęta te mają najkrótszy przewód pokarmowy spośród wszystkich ssaków drapieżnych.



Do ssaków częściowo padlinożernych należą m.in. **hieny**. Ich czaszka jest przystosowana do kruszenia kości – ma duże grzebienie kostne, które służą do przyczepu masywnych mięśni skroniowych poruszających żuchwą. Zęby przedtrzonowe są duże i pokryte grubą warstwą szkliwa, co zabezpiecza je przed złamaniem.

Zwierzęta wszystkożerne

Zwierzęciem wszystkożernym jest m.in. dzik euroazjatycki. Jego dieta składa się głównie z roślin i grzybów, a także niewielkich zwierząt (np. ślimaków czy dżdżownic) oraz padliny. Dziki są zwierzętami ryjącymi glebę w poszukiwaniu cebulek, bulw, korzeni i drobnych bezkręgowców. Służy im do tego ryj, który jest zakończony wilgotną tarczką. Zęby policzkowe dzików są zaopatrzone w zaokrąglone guzki i przystosowane do miażdżenia pokarmu.



Saprofagi

Do saprofagów należy m.in. dżdżownica ziemna, która odżywia się głównie detrytusem, czyli martwą materią organiczną zawartą w glebie. Dżdżownica drąży w glebie korytarze i połyka cząstki pokarmowe, które następnie trawi. Służą jej do tego liczne enzymy hydrolityczne wydzielane do jelita. Są wśród nich celulazy rozkładające celulozę oraz chitynazy rozkładające chitynę.



Pasożyty

Do pasożytów zewnętrznych należy m.in. pijawka lekarska, która odżywia się krwią kręgowców. Ciało pijawki jest zaopatrzone w dwie przyssawki, którymi przyczepia się do skóry żywiciela. Na dnie przyssawki przedniej znajduje się otwór gębowy. Szczęki mają liczne ząbki, które umożliwiają przecięcie powłok skórnych. Krew żywiciela jest zasysana przez silnie umięśnioną gardziel, a następnie magazynowana w obszernym wolu. Krzepnięciu krwi zapobiega białko przeciwkrzepliwe – hirudyna.



Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij, na czym polega heterotrofizm.
2. Określ, czy człowiek jest mikrofagiem czy makrofagiem. Uzasadnij swoją odpowiedź.
3. Wyjaśnij, dlaczego wykształcenie mięśni przewodu pokarmowego umożliwiło szybką i wydajną obróbkę pokarmu.
4. Wymień różnice w budowie układów pokarmowych roślinożercy i drapieżnika, a następnie wyjaśnij, z czego one wynikają.

4.2. Organiczne składniki pokarmowe

Zwróć uwagę na:
- funkcje organicznych składników pokarmowych: sacharydów, białek i tłuszczów,
- podział białek na pełnowartościowe i niepełnowartościowe,
- znaczenie błonnika i niezbędnych nienasyconych kwasów tłuszczowych (NNKT).

Odżywianie się to jedna z podstawowych czynności życiowych organizmów. Człowiek odżywia się heterotroficznie – spożywa pokarm, który zawiera związki organiczne wytworzone przez inne organizmy. Pokarm jest źródłem:
- energii potrzebnej do przeprowadzania wszystkich procesów życiowych,
- substancji budulcowych koniecznych do wzrostu i rozwoju,
- substancji regulujących funkcjonowanie organizmu.

Składnikami pokarmu są związki organiczne (głównie sacharydy, białka oraz lipidy) i nieorganiczne (woda oraz sole mineralne).

Sacharydy

Sacharydy (węglowodany, cukry) są podstawowym źródłem energii – pokrywają do 60% dziennego zapotrzebowania energetycznego człowieka. Stanowią również materiał zapasowy gromadzony w wątrobie i mięśniach w postaci glikogenu.

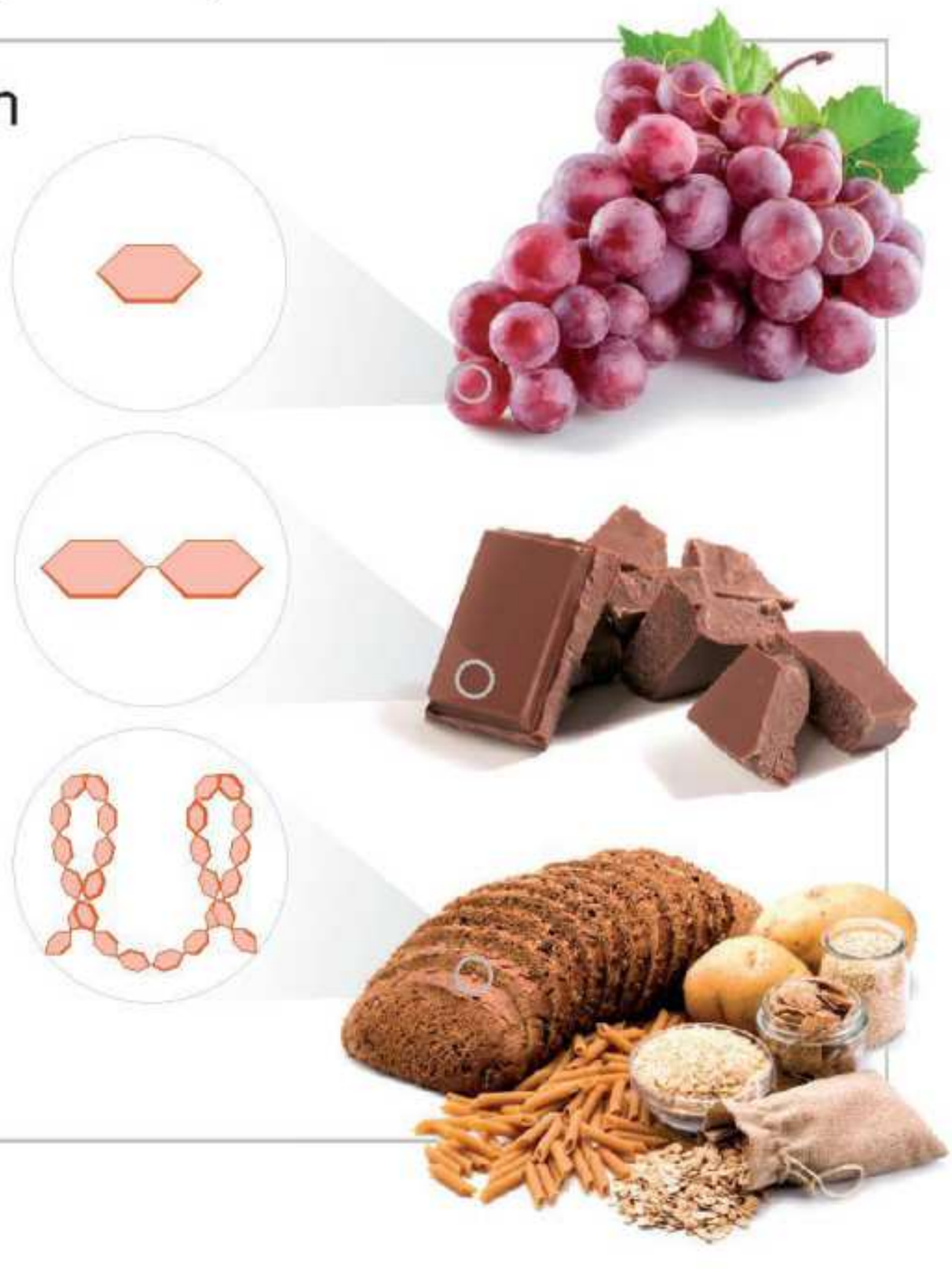
Źródłem sacharydów w diecie są najczęściej pokarmy pochodzenia roślinnego, rzadziej – zwierzęcego. Większość tych związków należy do **węglowodanów przyswajalnych**, które albo nie wymagają trawienia, albo są łatwo trawione, a następnie wchłaniane i wykorzystywane przez organizm. Do węglowodanów przyswajalnych należą monosacharydy, disacharydy (np. sacharoza) i polisacharydy o funkcji zapasowej (np. skrobia). **Węglowodany nieprzyswajalne**, czyli takie, które nie ulegają trawieniu w przewodzie pokarmowym, to polisacharydy o funkcji budulcowej (np. celuloza). Mimo że nie dostarczają one substancji odżywczych, są ważnym składnikiem pokarmu, ponieważ tworzą błonnik pokarmowy.

Rodzaje węglowodanów przyswajalnych

Monosacharydy (cukry proste) – należą do nich np. glukoza, fruktoza i galaktoza. Występują głównie w owocach, słodyczach oraz miodzie. Sacharydy te stanowią bezpośrednie źródło energii dla komórek.

Disacharydy (dwucukry) – należą do nich np. sacharoza, laktoza i maltoza. Występują głównie w słodyczach oraz nabiale. Są szybko rozkładane do cukrów prostych, dlatego natychmiast dostarczają energii, ale wystarcza ona na krótki czas.

Polisacharydy (wielocukry) – należą do nich np. skrobia i glikogen. Skrobia znajduje się m.in. w ziemniakach i produktach zbożowych, natomiast glikogen – w mięsie i wątrobie. Glukoza jest z nich uwalniana powoli, dlatego stanowią źródło energii na dłuższy czas.



Błonnik pokarmowy

Błonnik pokarmowy, zwany również włóknem pokarmowym, to grupa związków nieprzyswajalnych dla organizmu człowieka. W jego skład wchodzą m.in. polisacharydy budujące ściany komórkowe komórek roślinnych, np. celuloza i pektyny, oraz lignina, która jest składnikiem drewna. Chociaż błonnik dostarcza mało substancji odżywczych, jego znaczenie dla zdrowia jest ogromne.



Otręby, czyli zewnętrzne części nasion, są cennym źródłem nie tylko błonnika, lecz także witamin z grupy B i dużej ilości pierwiastków ważnych dla funkcjonowania organizmu.

Funkcje błonnika:

- wzmaga ruchy jelit, co przyspiesza wędrówkę pokarmu przez przewód pokarmowy i zapobiega zaparciom,
- chłonie dużą ilość wody i pęcznieje, co zapewnia uczucie sytości,
- spowalnia trawienie polisacharydów, a przez to ułatwia utrzymanie odpowiedniego stężenia glukozy we krwi,
- wspomaga rozwój mikrobiomu jelit,
- przyczynia się do obniżenia stężenia cholesterolu we krwi,
- wiąże jony sodu, co wpływa na obniżenie ciśnienia krwi,
- zmniejsza ryzyko rozwoju nowotworów układu pokarmowego, np. raka żołądka i raka jelita grubego.

Błonnik pokarmowy jest niezbędnym elementem prawidłowej diety. Zalecane dzienne spożycie błonnika dla młodzieży wynosi ok. 20 g na dobę. Należy jednak pamiętać, że nadmiar błonnika może działać niekorzystnie, np. powodować wzdęcia lub biegunki.

Dobrymi źródłami błonnika są warzywa, owoce, orzechy, kasze, płatki owsiane, pełnoziarnista mąka (razowa) i produkty z niej wytwarzane.

Zawartość błonnika pokarmowego w wybranych produktach (g/100 g części jadalnych)

Produkt	Zawartość błonnika
Migdały	12,9
Morele suszone	10,3
Płatki jęczmienne	9,6
Śliwki suszone	9,4
Orzechy laskowe	8,9
Pieczywo żytnie razowe	8,4
Płatki owsiane	6,9
Truskawki	1,8
Śliwki	1,6
Sok marchwiowy	1,3

Białka

Białka stanowią ok. 20% masy ciała człowieka – zajmują tym samym drugie miejsce po wodzie (ok. 65%). Są one głównym budulcem komórek i tkanek. Uczestniczą również w regulacji procesów życiowych, m.in.:

- odpowiadają za przyspieszanie przebiegu reakcji biochemicznych (białka enzymatyczne),
- przekazują informacje w obrębie komórki i między komórkami (białka sygnałowe),
- transportują substancje do wnętrza i na zewnątrz komórek oraz w obrębie całego organizmu (białka transportujące),
- uczestniczą w procesach odpornościowych organizmu.

Białka są zbudowane z dwudziestu rodzajów aminokwasów. Jedenaście z nich to **aminokwasy endogenne**, syntetyzowane w organizmie człowieka ze związków pośrednich podstawowych szlaków metabolicznych, m.in. cyklu Krebsa i glikolizy. Dziewięć pozostałych to **aminokwasy egzogenne**, które muszą być dostarczane z pokarmem. Należą do nich: aminokwasy o rozgałęzionych łańcuchach węglowych, aminokwasy aromatyczne (z wyjątkiem tyrozyny) oraz niektóre aminokwasy siarkowe i zasadowe.

Aminokwasy	
endogenne	egzogenne
• alanina (Ala) • arginina (Arg) • asparagina (Asn) • asparaginian (Asp) • glutamina (Gln) • glutaminian (Glu) • glicyna (Gly) • prolina (Pro) • seryna (Ser) • tyrozyna (Tyr) • cysteina (Cys)	• fenyloalanina (Phe) • histydyna (His) • izoleucyna (Ile) • leucyna (Leu) • lizyna (Lys) • metionina (Met) • treonina (Thr) • tryptofan (Trp) • walina (Val)

Źródłem aminokwasów egzogennych są białka zawarte w pokarmie. Znajdują się one w większości produktów spożywczych. Szczególnie dużo białka zawierają: mięso, ryby, przetwory mleczne oraz nasiona zbóż i roślin strączkowych.

Białka dostarczone w pokarmie są rozkładane w przewodzie pokarmowym do aminokwasów, a następnie wchłaniane do krwiobiegu i transportowane do komórek. W komórkach z aminokwasów egzogennych i endogennych zostają wytworzone białka własne organizmu. Synteza białek odbywa się na rybosomach i zachodzi zgodnie z informacją zawartą w DNA i mRNA.

Białka stanowią główne źródło azotu dla organizmu. Różnica między ilością azotu pobranego z pokarmem a ilością azotu wydalonego (głównie w postaci mocznika) w ciągu doby nosi nazwę **bilansu azotowego**. U zdrowej, dorosłej osoby bilans azotowy powinien wynosić zero. Zarówno nadmiar, jak i niedobór tego pierwiastka może prowadzić do poważnych zaburzeń w funkcjonowaniu organizmu.

Białka pełnowartościowe i niepełnowartościowe

Ze względu na skład aminokwasów i ich proporcje wyróżnia się białka pełnowartościowe i białka niepełnowartościowe.

Białka pełnowartościowe to takie, które zawierają wszystkie aminokwasy egzogenne w odpowiednich proporcjach. Należą do nich białka pochodzenia zwierzęcego, występujące m.in. w jajach, mięsie i produktach mlecznych. Z kolei **białka niepełnowartościowe** wykazują ilościowe lub jakościowe braki aminokwasów egzogennych. Są to najczęściej białka pochodzenia roślinnego. Z tego względu osoby stosujące dietę wegańską (rodzaj diety wegetariańskiej), która polega na spożywaniu jedynie pokarmów roślinnych, mogą być narażone m.in. na niedobory aminokwasów egzogennych. Właściwe zaplanowanie diety wegańskiej jest trudne, dlatego m.in. kobietom ciężarnym zaleca się stosowanie jej pod kontrolą dietetyka i lekarza.

Czy wiesz, że...

Skrajną odmianą weganizmu jest frutarianizm, który polega na spożywaniu wyłącznie surowych owoców i nasion, bez uśmiercania bądź uszkadzania rośliny. Dieta ta budzi jednak wiele kontrowersji ze względu na możliwość wystąpienia negatywnych skutków zdrowotnych.

Źródła białek dla organizmu

Najbogatszym źródłem białek dla organizmu są produkty pochodzenia zwierzęcego. Niektóre z nich mają wzorcowy skład aminokwasów egzogennych, czyli pełny zestaw aminokwasów egzogennych w ilościach i proporcjach zbliżonych do potrzeb organizmu człowieka. Produkty pochodzenia zwierzęcego można jednak zastąpić niektórymi pokarmami roślinnymi, zwłaszcza otrzymywanymi z nasion roślin strączkowych.

Nasiona roślin strączkowych, m.in. fasoli, grochu, soczewicy i soi, należą do nasion białkowych. Cechują się wysoką zawartością dobrze przyswajalnych białek o składzie aminokwasowym zbliżonym do białek zwierzęcych.

Orzechy zawierają znaczną ilość białek. Największą zawartością cechują się migdały, nerkowce i orzechy pistacjowe – mają ok. 20% białka.

Nabiał zawiera białka o wzorcowym składzie aminokwasów egzogennych. Największą zawartością białka – do 40% – charakteryzują się sery podpuszczkowe.



Jaja zawierają białka o wzorcowym składzie aminokwasów egzogennych. Żółtko jaj zawiera ok. 15% białka, a białko – ok. 11%.

Ryby są jednym z najważniejszych źródeł pełnowartościowych, dobrze przyswajalnych białek. Do szczególnie cennych gatunków ryb należy łosoś – ma ok. 20% białka.

Mięso jest jednym z podstawowych źródeł pełnowartościowych, dobrze przyswajalnych białek. Za najzdrowsze uznaje się chude mięso drobiowe, np. kurze lub indycze – ma ono ok. 25% białka.

Jak łączyć pokarmy roślinne?

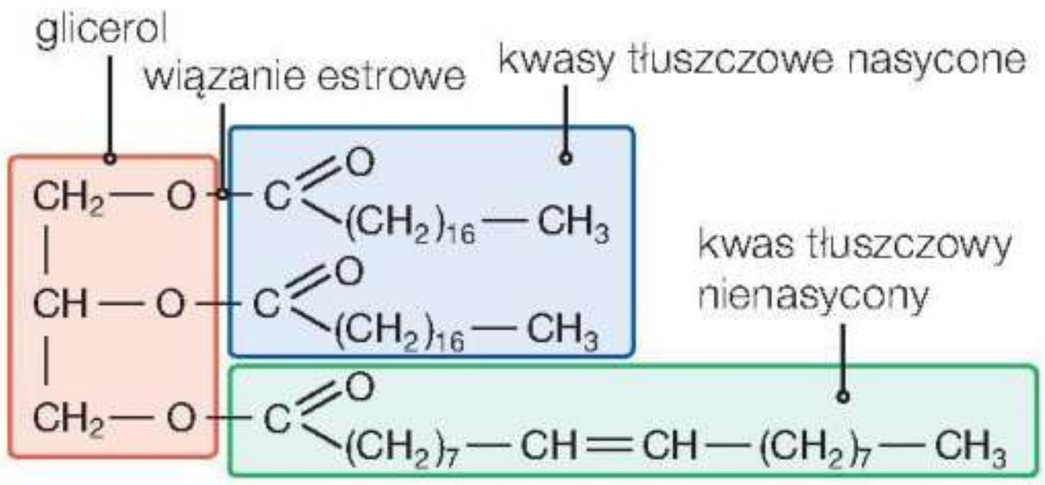
Podczas spożywania pokarmów zawierających jedynie białka niepełnowartościowe należy zwrócić szczególną uwagę na łączenie ich w posiłku w taki sposób, aby uzupełniały się pod względem zawartości aminokwasów. Na przykład pełen zestaw aminokwasów daje połączenie ryżu z fasolą po meksykańsku lub pełnoziarnistej bułki pszennej z sezamem i masłem orzechowym.



Lipidy

Lipidy (tłuszczowce) pełnią w organizmie wiele ważnych funkcji. **Tłuszcze właściwe** są najbardziej skoncentrowanym źródłem energii w pokarmie – ich rozkład dostarcza dwukrotnie więcej energii niż rozkład białek lub sacharydów. Oprócz funkcji energetycznej lipidy:

- pełnią funkcje strukturalne, ponieważ wchodzą w skład błon biologicznych (np. fosfolipidy, cholesterol),
- są źrodłem lub nośnikiem wielu substancji biologicznie czynnych, w tym witamin: A, D_3, E, K,
- biorą udział w syntezie niektórych hormonów, np. prostaglandyn regulujących procesy fizjologiczne, takie jak pobudzanie i hamowanie skurczów mięśni gładkich przewodu pokarmowego, dróg oddechowych i naczyń krwionośnych,
- wchodzą w skład podskórnej i wokółnarządowej tkanki tłuszczowej, która pełni funkcję zapasową, a także ochronną, podporową oraz termoizolacyjną, zabezpieczając organizm przed nadmierną utratą ciepła.

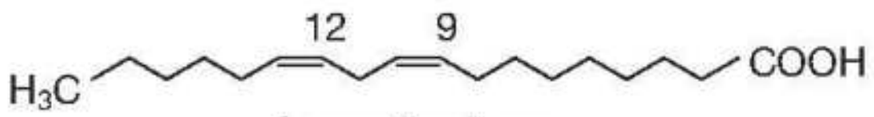


Tłuszcze wchodzące w skład pokarmu są zbudowane najczęściej z glicerolu i kwasów tłuszczowych.

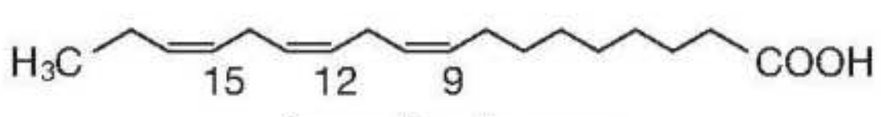
Tłuszcze występują w pokarmach pochodzenia zarówno zwierzęcego, jak i roślinnego. Do tłuszczów zwierzęcych należą przede wszystkim: smalec, boczek, słonina oraz łój, które zawierają **nasycone kwasy tłuszczowe**. Ich częste spożywanie jest niewskazane ze względu na duże ryzyko rozwoju miażdżycy. Tłuszczami zwierzęcymi są także oleje rybne otrzymywane z tkanki mięśniowej ryb oraz trany otrzymywane z wątroby ryb i ssaków morskich. Produkty te zawierają wiele cennych dla zdrowia substancji, m.in. witaminy D_3 i E oraz **nienasycone kwasy tłuszczowe** omega-3, do których należy m.in. kwas dokozaheksaenowy (DHA).

Niezbędne nienasycone kwasy tłuszczowe

Do niezbędnych nienasyconych kwasów tłuszczowych (NNKT) należą wielonienasycone kwasy: ω-6 (omega-6) – m.in. kwas linolowy – a także ω-3 (omega-3) – m.in. kwas linolenowy. NNKT nie są syntetyzowane w organizmie człowieka, ponieważ ssaki potrafią wytwarzać jedynie te nienasycone kwasy tłuszczowe, które mają wiązania podwójne nie dalej niż przy 9. węglu. Dlatego należą one do związków egzogennych pobieranych wraz z pokarmem. NNKT są bardzo ważne dla prawidłowego funkcjonowania organizmu, jednak ich zbyt duża ilość może działać niekorzystnie, m.in. osłabiać działanie układu odpornościowego czy zaburzać proces krzepnięcia krwi. Dla zachowania zdrowia ważny jest stosunek ω-6 do ω-3, który nie powinien przekraczać 5:1.



kwas linolowy



kwas linolenowy



Kwasy ω-6 występują głównie w olejach roślinnych: słonecznikowym, sojowym, kukurydzianym, z pestek winogron. Zmniejszają stężenie cholesterolu we krwi. W małych ilościach działają korzystnie na organizm, natomiast w dużych – niekorzystnie.



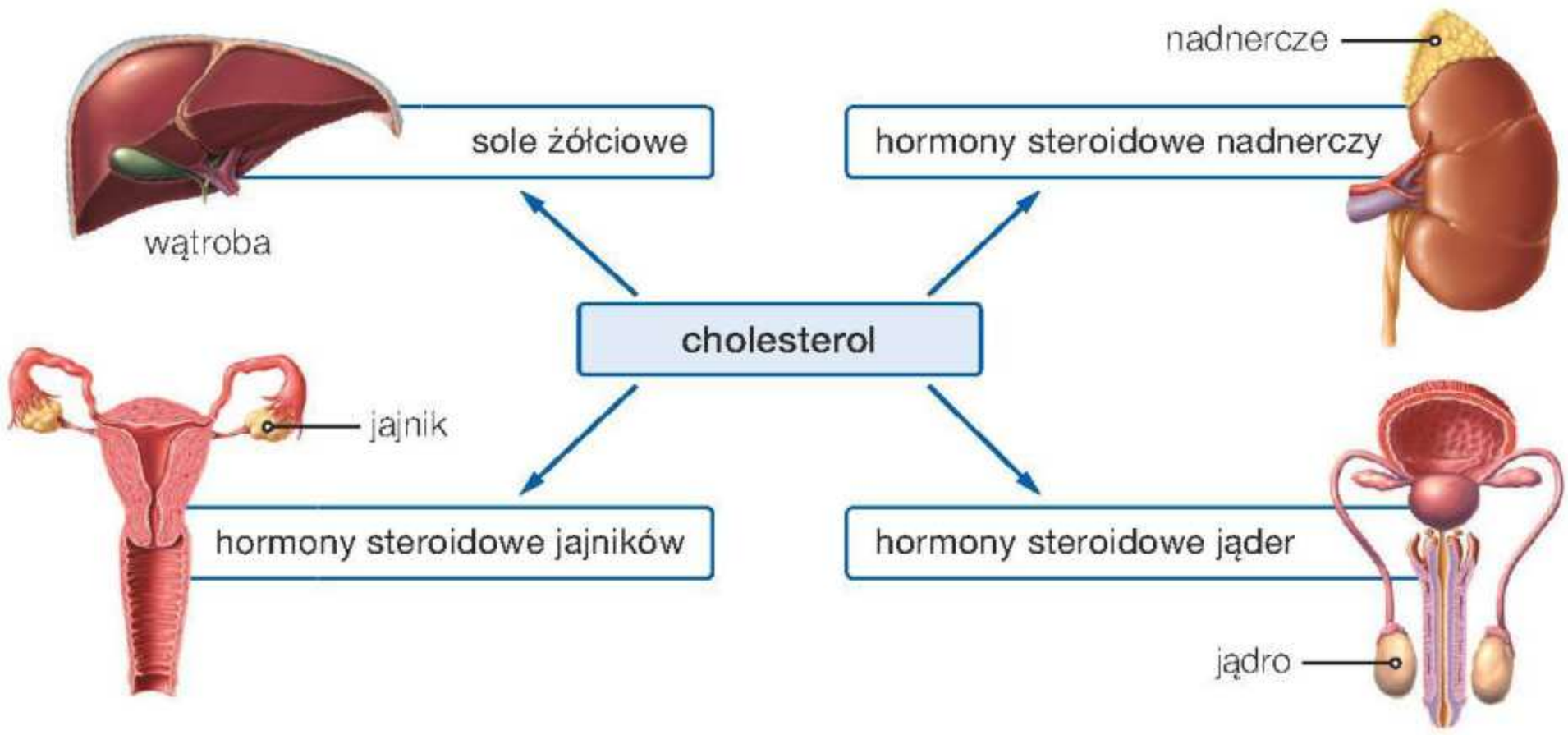
Kwasy ω-3 występują w tłuszczu ryb i ssaków morskich, jajach, orzechach oraz w olejach roślinnych: rzepakowym, sojowym czy lnianym. Zmniejszają stężenie triglicerydów, hamują powstawanie zakrzepów, obniżają ciśnienie krwi, zapobiegają arytmii serca. Wykazują także działanie przeciwzapalne i przeciwnowotworowe.

Cholesterol

Cholesterol jest lipidem z grupy **steroidów,** który wchodzi w skład zwierzęcych błon biologicznych oraz osłonek otaczających włókna nerwowe. Jest on również substancją wyjściową do syntezy kwasów żółciowych, hormonów steroidowych i witaminy D_3.

Część cholesterolu jest wytwarzana w wątrobie z acetylo-CoA, a część jest pobierana z pokarmem pochodzenia zwierzęcego. Najwięcej tego związku zawierają mięso, tłuszcze zwierzęce oraz żółtka jaj. Transport cholesterolu za pośrednictwem krwi odbywa się w formie **lipoprotein**, czyli kompleksów z białkami. Lipoproteiny występują w dwóch frakcjach: **LDL** – o małej gęstości – i **HDL** – o dużej gęstości. Lipoproteiny LDL przenoszą ok. 65% cholesterolu, który w połączeniu z innymi związkami może odkładać się w ścianach tętnic. Prowadzi to do rozwoju miażdżycy, której następstwem są m.in. choroby serca i udar mózgu. Lipoproteiny HDL przenoszą ok. 20% cholesterolu. W ich skład wchodzi również **lecytyna** – fosfolipid, który rozpuszcza cholesterol odłożony w ścianach tętnic i transportuje go do wątroby. W ten sposób spowalnia zmiany miażdżycowe i zmniejsza ryzyko wystąpienia chorób układu krążenia.

Przemiany cholesterolu w organizmie



Zapotrzebowanie organizmu na składniki odżywcze

Zarówno niedobór, jak i nadmiar składników pokarmowych może skutkować zaburzeniami w funkcjonowaniu organizmu. Długotrwałe niedobory białka powodują zahamowanie wzrostu i rozwoju, a w skrajnych przypadkach mogą prowadzić do śmierci z wycieńczenia. Niewystarczająca ilość białka w pożywieniu jest szczególnie niebezpieczna dla dzieci i kobiet w ciąży, ponieważ hamuje rozwój nie tylko fizyczny, lecz także umysłowy oraz prowadzi do osłabienia odporności. Nadmiar białka może z kolei powodować upośledzenie czynności nerek oraz wątroby. Zbyt duże spożycie tłuszczów, zwłaszcza nasyconych, sprzyja chorobom układu krążenia oraz otyłości. Dlatego zaleca się dietę zapewniającą właściwą ilość NNKT, gdyż zaspokaja ona zapotrzebowanie organizmu również na inne rodzaje tłuszczów.

Węglowodany umożliwiają szybkie uwolnienie energii. Niezależnie od tego, w jakiej postaci są wprowadzane do organizmu, zostają wykorzystane dopiero wtedy, gdy ulegną przemianie w glukozę. W sytuacji niedoboru węglowodanów w pokarmie źródło glukozy stanowią aminokwasy pochodzące z rozkładu białek i glicerol pochodzący z rozkładu tłuszczów. Natomiast nadmiar cukrów jest łatwo przekształcany w tłuszcze, które są magazynowane w tkance tłuszczowej.

Dobowe zapotrzebowanie osoby dorosłej na składniki odżywcze

Składniki pokarmowe	Zapotrzebowanie (g/kg masy ciała)
Białka	1
Tłuszcze	1
Węglowodany	5–6

Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij, dlaczego celuloza jest węglowodanem nieprzyswajalnym przez człowieka.
2. Uzasadnij twierdzenie, że spożywanie węglowodanów nieprzyswajalnych jest wskazane i korzystne.
3. Wymień trzy funkcje białek w organizmie człowieka.
4. Wyjaśnij różnice między białkami pełnowartościowymi a białkami niepełnowartościowymi.
5. Wykaż, że obecność tłuszczów w pożywieniu człowieka jest niezbędna.

4.3. Rola witamin. Nieorganiczne składniki pokarmowe

Zwróć uwagę na:
- podział, funkcje i źródła witamin,
- funkcje oraz źródła wybranych mikro- i makroelementów,
- znaczenie wody i bilans wodny.

Witaminy i sole mineralne to składniki pokarmowe niezbędne dla prawidłowego funkcjonowania organizmu, mimo że zapotrzebowanie na nie jest stosunkowo niewielkie. Duże jest natomiast zapotrzebowanie organizmu na wodę, która stanowi ok. 65% masy ciała człowieka.

Witaminy

Witaminy to **związki organiczne**, których organizm nie wytwarza lub które wytwarza w minimalnej, niewystarczającej ilości. Nie pełnią one funkcji budulcowej ani energetycznej, są natomiast wykorzystywane w różnych reakcjach biochemicznych i procesach fizjologicznych, zwykle jako **substancje o znaczeniu regulacyjnym**. Witaminy dzieli się na:

- **rozpuszczalne w tłuszczach** – należą do nich witaminy: A, D_3, E, K,
- **rozpuszczalne w wodzie** – należą do nich witaminy z grupy B oraz witamina C.

Witaminy są potrzebne organizmowi w niewielkich ilościach. Ich głównym źródłem jest spożywany pokarm. Niektóre witaminy z grupy B są wytwarzane przez symbiotyczne bakterie jelitowe. Inne, np. witaminy A oraz D_3, organizm syntetyzuje z substancji zwanych **prowitaminami**.

Jeśli w organizmie brakuje witamin, to mamy do czynienia z **awitaminozą**, a gdy występuje ich niedobór – z **hipowitaminozą**. Przyczynami braku lub niedoboru witamin mogą być:

- niewłaściwa dieta,
- zwiększone zapotrzebowanie na witaminy, np. w czasie choroby lub ciąży,
- trudności w przyswajaniu witamin, np. z powodu zaburzeń wchłaniania.

Zarówno brak, jak i niedobór witamin jest szkodliwy dla organizmu. Negatywne skutki może mieć także nadmiar witamin, czyli **hiperwitaminoza**. Jest ona zwykle spowodowana nadużywaniem suplementów diety i leków zawierających witaminy. Ponadto w organizmie człowieka częściej występuje nadmiar witamin rozpuszczalnych w tłuszczach, ponieważ są one kumulowane w tkance tłuszczowej oraz magazynowane w wątrobie i w mięśniach. Witaminy rozpuszczalne w wodzie trudniej przedawkować, gdyż ich nadmiar jest wydalany z organizmu jako składnik moczu.



Karoten – pomarańczowy barwnik występujący m.in. w korzeniu marchwi – to prowitamina A przekształcana w organizmie w witaminę A.



Promieniowanie słoneczne powoduje przekształcanie prowitaminy D występującej w skórze w witaminę D_3.

Witaminy rozpuszczalne w wodzie

Witaminy rozpuszczalne w wodzie muszą być regularnie przyjmowane z pokarmem, ponieważ nie są magazynowane w organizmie. Ponadto wykazują znaczną wrażliwość na działanie temperatury, światła i procesów związanych z obróbką żywności.

Witaminy z grupy B

Witaminy z grupy B często występują wspólnie w pożywieniu i pełnią podobne funkcje. Wpływają m.in. na działanie układu nerwowego.

Źródła: produkty zbożowe, nasiona, orzechy, drożdże, rośliny strączkowe, jaja, mięso, wątroba. Są też wytwarzane przez bakterie jelitowe.

Witamina B_1 (tiamina)

Funkcje: uczestniczy w oddychaniu tlenowym.

Skutki niedoboru: choroba beri-beri, objawiająca się zaburzeniami w funkcjonowaniu układów nerwowego i mięśniowego.

Witamina B_2 (ryboflawina)

Funkcje: uczestniczy w oddychaniu tlenowym, jest niezbędna do prawidłowego funkcjonowania oczu oraz układów nerwowego i odpornościowego.

Skutki niedoboru: zajady w kącikach ust, łojotok, zapalenie języka, choroby oczu, m.in. zaćma.

Witamina B_3 (PP, niacyna)

Funkcje: uczestniczy w oddychaniu tlenowym oraz przemianach białek, tłuszczów i węglowodanów. Odpowiada za właściwy stan skóry oraz prawidłowe funkcjonowanie układów nerwowego i pokarmowego.

Skutki niedoboru: pelagra, objawiająca się zapaleniem skóry, zaburzeniami psychicznymi i biegunką.

Witamina B_6 (pirydoksyna)

Funkcje: uczestniczy w przemianach białek, tłuszczów oraz węglowodanów. Jest niezbędna do syntezy niektórych hormonów i neuroprzekaźników, np. serotoniny, adrenaliny i prostaglandyn.

Skutki niedoboru: nadpobudliwość nerwowa, zmiany skórne, wypadanie włosów, drętwienie kończyn, niedokrwistość.



Witamina B_{12} (kobalamina)

Funkcje: bierze udział w tworzeniu erytrocytów i leukocytów. Uczestniczy w syntezie kwasów nukleinowych, aminokwasów i białek. Wpływa na prawidłowe działanie układów nerwowego i pokarmowego.

Skutki niedoboru: niedokrwistość, zaburzenia czynności układu pokarmowego, zwyrodnienia rdzenia kręgowego i nerwów obwodowych.

Kwas foliowy

Funkcje: uczestniczy w syntezie nukleotydów i kwasów nukleinowych oraz w przemianach aminokwasów i białek. Jest niezbędny do prawidłowego rozwoju komórek, wytwarzania składników krwi oraz prawidłowego rozwoju cewki nerwowej u płodu.

Skutki niedoboru: niedokrwistość, zaburzenia w działaniu układów pokarmowego i nerwowego, zaburzenia w rozwoju płodu.

Witamina H (biotyna)

Funkcje: uczestniczy w syntezie nukleotydów i kwasów nukleinowych. Bierze udział w przemianach białek oraz węglowodanów. Jest niezbędna do prawidłowego rozwoju płodu.

Skutki niedoboru: zmiany skórne, bóle mięśniowe, brak łaknienia, depresja, niedokrwistość.

Kwas pantotenowy

Funkcje: uczestniczy w przemianach węglowodanów i tłuszczów. Jest składnikiem koenzymu A, który bierze udział w wielu procesach metabolicznych, m.in. w oddychaniu tlenowym.

Skutki niedoboru: uszkodzenia kory nadnerczy, zaburzenia w funkcjonowaniu układów mięśniowego i nerwowego, zmiany skórne, wypadanie włosów.

Witamina C

Witamina C (kwas askorbinowy) występuje w pokarmach pochodzenia roślinnego. Jej bogatym źródłem są owoce cytrusowe i jagodowe, a także nać pietruszki, warzywa kapustne, ziemniaki oraz chrzan.

Funkcje: uczestniczy w przemianach aminokwasów, wchłanianiu żelaza, syntezie hormonów steroidowych oraz melanin. Bierze udział w produkcji kolagenu, dzięki czemu wzmacnia zęby, naczynia krwionośne, kości i chrząstki. Pobudza mechanizmy odpornościowe organizmu oraz chroni przed działaniem substancji toksycznych, m.in. wolnych rodników.

Skutki niedoboru: szybkie męczenie się, brak łaknienia, bóle stawowo-mięśniowe, krwawienie dziąseł. Brak witaminy C wywołuje niedokrwistość, spadek odporności oraz szkorbut – chorobę objawiającą się wypadaniem zębów oraz krwawieniem i zapaleniem dziąseł.



Witaminy rozpuszczalne w tłuszczach

Do witamin rozpuszczalnych w tłuszczach należą witaminy: A, D_3, E i K. Są one magazynowane w organizmie człowieka, głównie w wątrobie i mięśniach, dlatego wywołują hiperwitaminozy częściej niż witaminy rozpuszczalne w wodzie.

Witamina A

Funkcje: jest niezbędna do prawidłowego widzenia oraz do funkcjonowania nabłonków. Wpływa na wzrost i rozwój organizmu.

Skutki niedoboru: kurza ślepota (niedowidzenie o zmierzchu i przy słabym oświetleniu), łuszczenie się nabłonków, zaburzenia wzrostu.

Źródła: nabiał, pomarańczowe warzywa i owoce, ciemnozielone warzywa, wątroba, tran.



Witamina D_3

Funkcje: nasila wchłanianie wapnia i fosforu z przewodu pokarmowego, powoduje odkładanie się tych pierwiastków w kościach i zębach.

Skutki niedoboru: u dzieci – krzywica, u dorosłych – osteoporoza (demineralizacja kości).

Źródła: tran, jaja, tłuste ryby, wątroba, mleko i jego przetwory. Jest również wytwarzana w organizmie człowieka.



Witamina E

Funkcje: zmniejsza ryzyko zachorowania na nowotwory, chroni ściany naczyń krwionośnych, zapewnia prawidłową pracę mięśni, wpływa na płodność.

Skutki niedoboru: wczesne starzenie się skóry, zaburzenia płodności, niedokrwistość, osłabienie i zanik mięśni.

Źródła: oleje roślinne, awokado, jaja, orzechy, nasiona.



Witamina K

Funkcje: bierze udział w procesie krzepnięcia krwi.

Skutki niedoboru: krwawienia, np. z dziąseł, nosa i jelit.

Źródła: wątroba, zielone warzywa. Jest wytwarzana przez bakterie jelitowe żyjące w organizmie człowieka.



Dowiedz się więcej

Przeciwutleniacze

W ostatnich latach często mówi się o szkodliwym działaniu wolnych rodników tlenowych, czyli atomów lub cząsteczek tlenu, które zawierają niesparowany elektron. Wolne rodniki tlenowe są bardzo reaktywne, przez co uszkadzają liczne struktury komórkowe. W konsekwencji mają duży wpływ na starzenie się organizmu oraz powstawanie wielu chorób.



Związkami, które przeciwdziałają negatywnym skutkom działania wolnych rodników tlenowych, są tzw. przeciwutleniacze (antyoksydanty). Przykładami naturalnych przeciwutleniaczy są witaminy A, C i E. Likwidują one wolne rodniki tlenowe w organizmie, a dzięki swoim właściwościom są stosowane do produkcji kosmetyków oraz utrwalania produktów spożywczych i przedłużania czasu ich trwałości. Kwas askorbinowy, czyli witamina C, jest oznaczany na produktach symbolem E300, a witamina E – symbolem E306. Witamina C jest także wykorzystywana jako regulator kwasowości.

Składniki mineralne

Składniki mineralne to **pierwiastki chemiczne** niezbędne do prawidłowego funkcjonowania organizmu. Są one dostarczane z pożywieniem, głównie w postaci soli mineralnych.

Składniki mineralne stanowią 4–5% masy ciała człowieka, z czego ponad połowa jest wbudowana w elementy strukturalne komórek, tkanek i narządów (związki fosforu, wapnia i siarki). Pozostała część występuje w postaci jonowej, zarówno w cytozolu komórek, jak i w płynach ustrojowych. Składniki mineralne odpowiadają głównie za regulację czynności fizjologicznych, m.in. wpływają na ciśnienie osmotyczne i pH środowiska wewnętrznego organizmu, polaryzację oraz przepuszczalność błon komórkowych, przewodzenie impulsów nerwowych, a także krzepliwość krwi.

Do składników mineralnych występujących w organizmie człowieka należą:

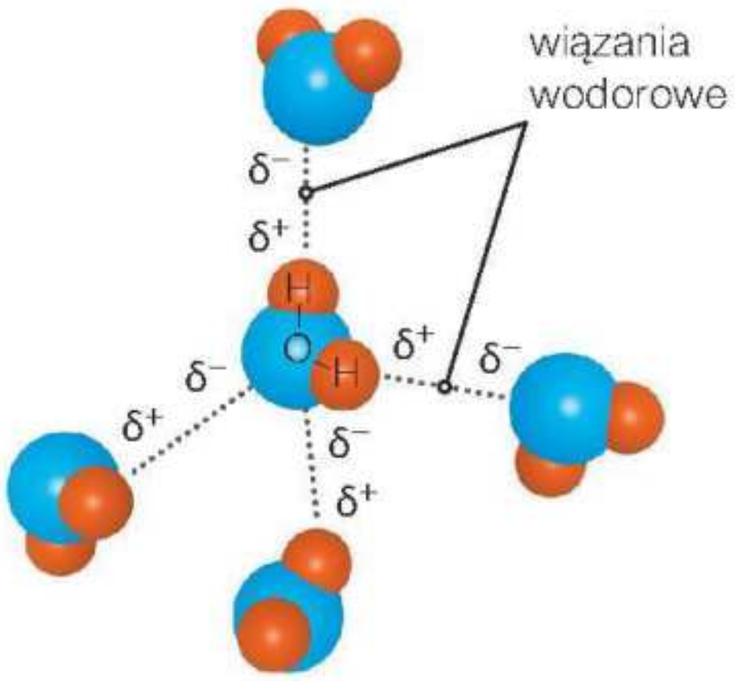
- **makroelementy** – pierwiastki, które stanowią 0,01% lub więcej suchej masy ciała. Zalicza się do nich pierwiastki biogenne: węgiel (C), wodór (H), tlen (O), azot (N), fosfor (P) i siarkę (S), a także pozostałe makroelementy: wapń (Ca), magnez (Mg), potas (K), sód (Na) i chlor (Cl);
- **mikroelementy** – pierwiastki, których ilość w organizmie jest niższa niż 0,01% suchej masy ciała. Zalicza się do nich m.in. żelazo (Fe), miedź (Cu), jod (I), fluor (F) oraz kobalt (Co).

Składniki mineralne nie są wytwarzane w organizmie, dlatego ich ilość przyjmowana z pokarmem powinna być zbliżona do ilości usuwanej z moczem, potem i kałem. Dzienne zapotrzebowanie na makroelementy wynosi powyżej 100 mg, a na mikroelementy – poniżej 100 mg. Tempo wchłaniania składników mineralnych z przewodu pokarmowego zależy m.in. od aktualnego zapotrzebowania organizmu oraz od innych składników spożytego pokarmu.

Należy pamiętać – tak jak w przypadku witamin – że szkodliwy jest zarówno niedobór, jak i nadmiar niektórych składników mineralnych. Na przykład nadmiar sodu w diecie jest jednym z czynników zwiększających ryzyko wystąpienia nadciśnienia tętniczego, a nadmiar magnezu może spowodować m.in. problemy z pracą serca, zaburzenia oddychania, nudności, osłabienie oraz zawroty i bóle głowy.

Woda

Woda jest jednym z najważniejszych związków wchodzących w skład organizmu. Dipolowa budowa cząsteczek oraz ich zdolność do tworzenia wiązań wodorowych umożliwiają wodzie pełnienie wielu funkcji, które warunkują aktywność życiową komórek.



Wiązania wodorowe powstają między cząsteczkami wody oraz między cząsteczkami wody a cząsteczkami innych związków chemicznych.

Funkcje wody w organizmie:

- jest strukturalnym składnikiem wszystkich komórek i tkanek;
- jest doskonałym rozpuszczalnikiem związków hydrofilowych. Z tego względu tworzy środowisko wewnętrzne organizmu, w którym zachodzą niezbędne do życia reakcje chemiczne oraz są transportowane substancje biorące udział w tych reakcjach. Umożliwia także usuwanie zbędnych oraz szkodliwych produktów przemiany materii;
- bierze udział w niektórych reakcjach biochemicznych, np. jest substratem hydrolizy złożonych związków organicznych (m.in. białek, polisacharydów i tłuszczów) oraz produktem oddychania tlenowego;
- wysoka pojemność cieplna i dobre przewodnictwo cieplne wody sprawiają, że zapobiega ona akumulacji ciepła powstającego w trakcie procesów metabolicznych;
- wysokie ciepło parowania wody chroni organizm przed przegrzaniem;
- siły adhezji i kohezji wody ułatwiają krążenie krwi i limfy w naczyniach włosowatych.



Naturalna woda mineralna wysokozmineralizowana	
Wynik badania chemicznego w mg/l	
Kationy	
sodu (Na^+)	950,0
wapnia (Ca^{2+})	103,0
magnezu (Mg^{2+})	45,7
potasu (K^+)	6,5
Aniony	
wodorowęglanowy (HCO_3^-)	3400,0
siarczanowy (SO_4^{2-})	28,0
chlorkowy (Cl^-)	9,5
fluorkowy (F^-)	0,3
Ogólna zawartość rozpuszczonych składników mineralnych	4543,2

Woda może być również cennym źródłem składników mineralnych.

Woda stanowi 60–70% masy ciała człowieka. Większą jej zawartością charakteryzują się dzieci, osoby młode i mężczyźni, a mniejszą – osoby starsze oraz kobiety. Ponadto procentowa zawartość wody zależy od ilości tkanki tłuszczowej – osoby otyłe mają mniej wody niż osoby szczupłe.

Większość wody (ok. 2/3) wchodzi w skład cytozolu i organelli komórkowych. Reszta (ok. 1/3) występuje poza obrębem komórek i jest głównym składnikiem płynów ustrojowych: krwi, limfy oraz płynu tkankowego wypełniającego przestrzenie międzykomórkowe – stanowi ok. 90% ich składu. Zawartość wody w poszczególnych tkankach i narządach jest różna. Najmniej wody zawierają tkanka tłuszczowa (ok. 10%) i kości (ok. 25%), natomiast jedną z najbardziej uwodnionych tkanek jest tkanka mięśniowa (ok. 73%).

Źródłem wody dla organizmu są napoje oraz pokarm. Choć woda występuje niemal we wszystkich produktach spożywczych, największą jej zawartością charakteryzują się soczyste owoce (np. cytrusy, arbuzy, truskawki) i warzywa (np. pomidory, ogórki, sałata). Wśród produktów pochodzenia zwierzęcego najwięcej wody znajduje się w mleku i niektórych jego przetworach, np. kefirze.

Wybrane składniki mineralne

Makroelementy

Wapń

Funkcje: buduje kości i zęby, jest potrzebny do skurczów mięśni, przewodzenia impulsów nerwowych i krzepnięcia krwi.

Skutki niedoboru: próchnica zębów, krzywica, osteoporoza, zaburzenia krzepnięcia krwi, zaburzenia pracy układów mięśniowego i nerwowego.

Źródła: nabiał, ryby, migdały, fasola, zielone warzywa liściaste.



Magnez

Funkcje: jest niezbędny do prawidłowego działania komórek nerwowych i mięśniowych, jest aktywatorem wielu enzymów.

Skutki niedoboru: zaburzenia pracy serca, mięśni i układu nerwowego.

Źródła: produkty zbożowe, rośliny strączkowe, orzechy, kakao.



Potas

Funkcje: bierze udział w przewodzeniu impulsów nerwowych, wpływa na stopień uwodnienia tkanek, ciśnienie krwi i pracę serca.

Skutki niedoboru: zaparcia, utrata apetytu, zmęczenie, skurcze jelit i mięśni szkieletowych, zaburzenia pracy serca.

Źródła: pomidory, orzechy, rośliny strączkowe, suszone owoce, banany.



Sód i chlor

Funkcje: uczestniczą w regulowaniu stopnia uwodnienia tkanek oraz ciśnienia krwi, biorą udział w przewodzeniu impulsów nerwowych. Chlor występuje w soku żołądkowym.

Skutki niedoboru: niedobór zwykle nie występuje.

Źródła: sól kuchenna.



Mikroelementy

Żelazo

Funkcje: jest składnikiem hemoglobiny i wielu enzymów.

Skutki niedoboru: anemia, osłabienie, zawroty głowy.

Źródła: mięso, wątroba, zielone warzywa.



Jod

Funkcje: jest potrzebny do produkcji hormonów tarczycy.

Skutki niedoboru: zaburzenia funkcjonowania tarczycy.

Źródła: ryby morskie, owoce morza, sól jodowana.



Fluor

Funkcje: buduje kości i zęby, chroni zęby przed próchnicą.

Skutki niedoboru: zwiększona podatność zębów na próchnicę.

Źródła: ryby, herbata, woda mineralna, produkty zbożowe.



Bilans wodny organizmu

Bilans wodny organizmu to różnica między ilością wody pobranej a ilością wody utraconej w ciągu doby. Prawidłowy bilans wodny człowieka wynosi zero. Oznacza to, że każdy ubytek wody w organizmie powinien zostać uzupełniony. Dlatego też osobom dorosłym zaleca się spożywanie ok. 1,2 dm^3 wody dziennie, co łącznie z wodą zawartą w pokarmie daje ok. 2,1 dm^3.

Woda jest pobierana z pokarmem i napojami. Niewielka jej ilość, zwana **wodą metaboliczną**, powstaje podczas przemian metabolicznych, m.in. w oddychaniu tlenowym oraz reakcjach syntezy polisacharydów, białek, tłuszczów i kwasów nukleinowych. Z organizmu woda jest usuwana przez:

- układ moczowy – jako składnik moczu,
- układ pokarmowy – jako składnik kału,
- układ oddechowy – jako składnik wydychanego powietrza,
- skórę – jako składnik potu.

Ilość wody traconej przez organizm wzrasta w trakcie upałów, intensywnego wysiłku fizycznego, a także podczas choroby, szczególnie takiej, której towarzyszą gorączka, wymioty i biegunka. Zbyt duża utrata wody w stosunku do jej pobranej ilości skutkuje **ujemnym bilansem wodnym**, który może prowadzić do odwodnienia. Do pierwszych zauważalnych objawów odwodnienia należą uczucie pragnienia i suchość w ustach. Następnie zmniejsza się elastyczność skóry – po uszczypnięciu skóra bardzo powoli się wygładza. Dalszy niedobór wody w organizmie prowadzi do trudności w mówieniu, bólu mięśni, utraty sił fizycznych i przytomności. Bez wody człowiek może przeżyć bardzo krótko – w zależności od warunków środowiska maksymalnie 6–7 dni.

Zapotrzebowanie na wodę reguluje **ośrodek pragnienia** znajdujący się w **podwzgórzu**. Jest on ściśle związany z ośrodkiem termoregulacji. Wzrost temperatury lub ciśnienia osmotycznego krwi powoduje wzmożone pragnienie. Jeśli woda nie zostanie uzupełniona, to jej wchłanianie zwrotne w nerkach zwiększa się i zostaje zredukowana ilość powstającego moczu. Usuwanie wody z organizmu zależy w niewielkim stopniu od uwodnienia tkanek, dlatego niedostateczna ilość wody prowadzi do szybkiego odwodnienia. Utrata powyżej 15% ogólnej zawartości wody wywołuje postępujące zaburzenia czynności mózgu, płuc, serca, wątroby i nerek.

Dobowy bilans wodny człowieka

Pobieranie wody [cm^3]	Usuwanie wody [cm^3]
• z napojami – 1200	• przez skórę – 300
• z pokarmem – 900	• przez płuca – 600
• woda metaboliczna – 300	• z moczem – 1400
	• z kałem – 100
Razem – 2400	**Razem – 2400**

Polecenia kontrolne

1. Wymień nazwy dwóch grup witamin wyróżnianych ze względu na rozpuszczalność tych związków. Określ funkcje dwóch wybranych witamin z każdej grupy.
2. Wyjaśnij, dlaczego hiperwitaminoza dotyczy przede wszystkim witamin rozpuszczalnych w tłuszczach.
3. Określ, z niedoborem których witamin związane są następujące choroby: **a.** szkorbut, **b.** zaburzona krzepliwość krwi, **c.** kurza ślepota, **d.** krzywica, **e.** anemia.
4. Wyjaśnij, dlaczego dodawanie niewielkich ilości tłuszczu do gotujących się warzyw lub oleju do surówki wpływa korzystnie na przyswajalność witaminy A.
5. Omów rolę wapnia i magnezu w organizmie.
6. Określ skutki zbyt małej ilości fluoru w diecie.
7. Określ, jakie konsekwencje dla zdrowia może mieć nadmiar sodu w pożywieniu.
8. Wyjaśnij, jakie znaczenie dla organizmu człowieka ma woda.

4.4. Budowa i funkcje układu pokarmowego

Zwróć uwagę na:
- przystosowania odcinków przewodu pokarmowego do pełnionych funkcji,
- budowę i funkcje gruczołów trawiennych,
- rolę mikrobiomu w funkcjonowaniu organizmu.

Układ pokarmowy to zespół narządów, dzięki którym organizm uzyskuje z pożywienia składniki niezbędne do życia i prawidłowego funkcjonowania. W narządach tych zachodzą kolejne etapy procesu odżywiania się, czyli pobieranie i rozdrabnianie pokarmu, trawienie, wchłanianie oraz usuwanie niestrawionych resztek.

Elementy układu pokarmowego

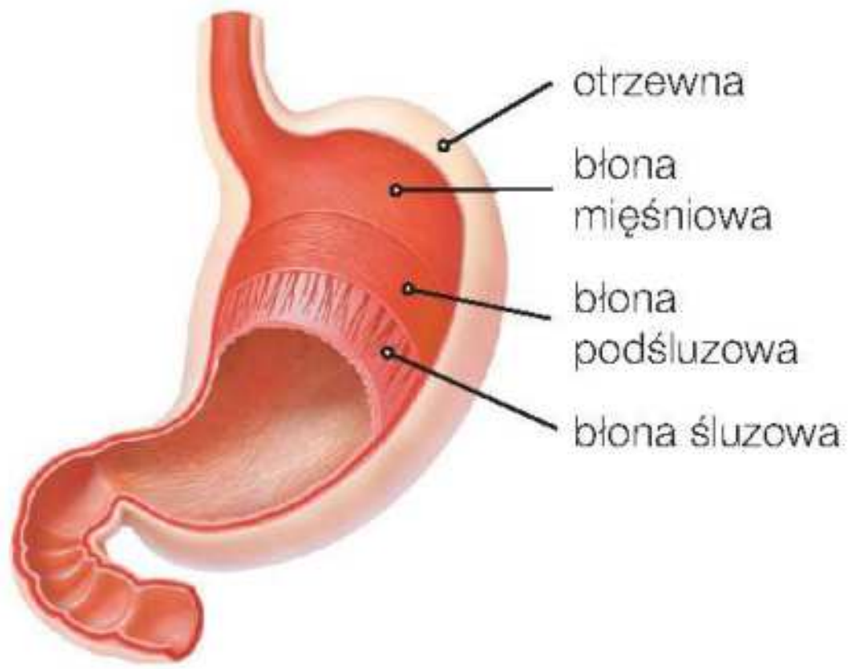
W skład układu pokarmowego wchodzą przewód pokarmowy oraz gruczoły trawienne.

Przewód pokarmowy jest podzielony na odcinki, w których zachodzą kolejne etapy obróbki pokarmu. Do odcinków tych należą: jama ustna, gardło, przełyk, żołądek, jelito cienkie i jelito grube. Ściana przewodu pokarmowego składa się z czterech warstw:

- **błony śluzowej**, którą tworzą m.in. komórki nabłonkowe wydzielające ochronny śluz,
- **błony podśluzowej**, czyli warstwy tkanki łącznej, zawierającej naczynia krwionośne, naczynia limfatyczne oraz nerwy,
- **błony mięśniowej** składającej się z mięśni gładkich, których skurcze powodują przesuwanie się treści pokarmowej i jej mieszanie się z enzymami trawiennymi,
- **otrzewnej**, czyli błony surowiczej zbudowanej z tkanki łącznej luźnej pokrytej mezodermalnym nabłonkiem, która chroni przewód pokarmowy i oddziela go od innych narządów ciała.

Największe różnice w budowie ściany poszczególnych odcinków przewodu pokarmowego dotyczą błony śluzowej. W jamie ustnej, niektórych częściach gardła, przełyku i odbytnicy jej nabłonek jest wielowarstwowy płaski, a w pozostałych odcinkach – jednowarstwowy walcowaty. W jelicie cienkim błona śluzowa wytwarza palczaste wypustki, zwane kosmkami jelitowymi.

Gruczoły trawienne produkują wydzieliny niezbędne do trawienia pokarmu w przewodzie pokarmowym. Do gruczołów tych należą: ślinianki, trzustka oraz wątroba.



Budowa ściany przewodu pokarmowego na przykładzie żołądka.

Droga pokarmu w przewodzie pokarmowym

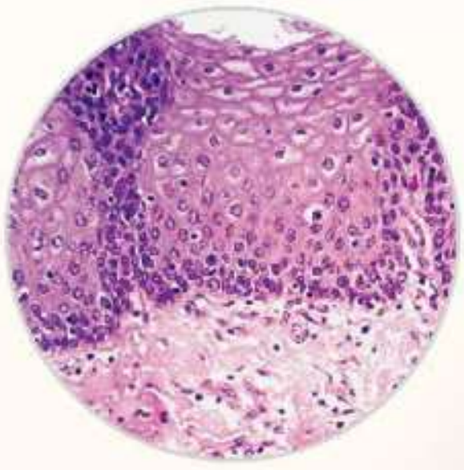
Do przewodu pokarmowego pokarm trafia przez szparę ustną otoczoną wargami. Następnie jest przesuwany przez jamę ustną, przełyk i żołądek do jelit. Niestrawione resztki pokarmu są usuwane na zewnątrz przez odbyt.

Przemieszczanie się pokarmu umożliwiają **ruchy perystaltyczne**, za które odpowiadają mięśnie gładkie wchodzące w skład ściany przewodu pokarmowego. Mięśnie te kurczą się i rozkurczają, dzięki czemu przesuwają cząstki pokarmu oraz mieszają je z wydzielinami gruczołów trawiennych. Przesuwanie się cząstek pokarmu w przewodzie pokarmowym ułatwia śluz wydzielany przez błonę śluzową. Śluz pełni także funkcję ochronną.

Budowa układu pokarmowego

Układ pokarmowy człowieka składa się z przewodu pokarmowego oraz gruczołów trawiennych – ślinianek, wątroby i trzustki. W przewodzie pokarmowym wyróżnia się kilka odcinków. Są to: jama ustna, gardło, przełyk, żołądek, jelito cienkie i jelito grube.

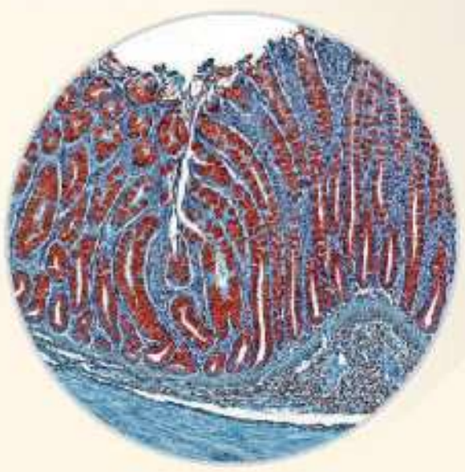
Ściana przełyku (obraz spod mikroskopu optycznego).



Ściana żołądka (obraz spod mikroskopu optycznego).

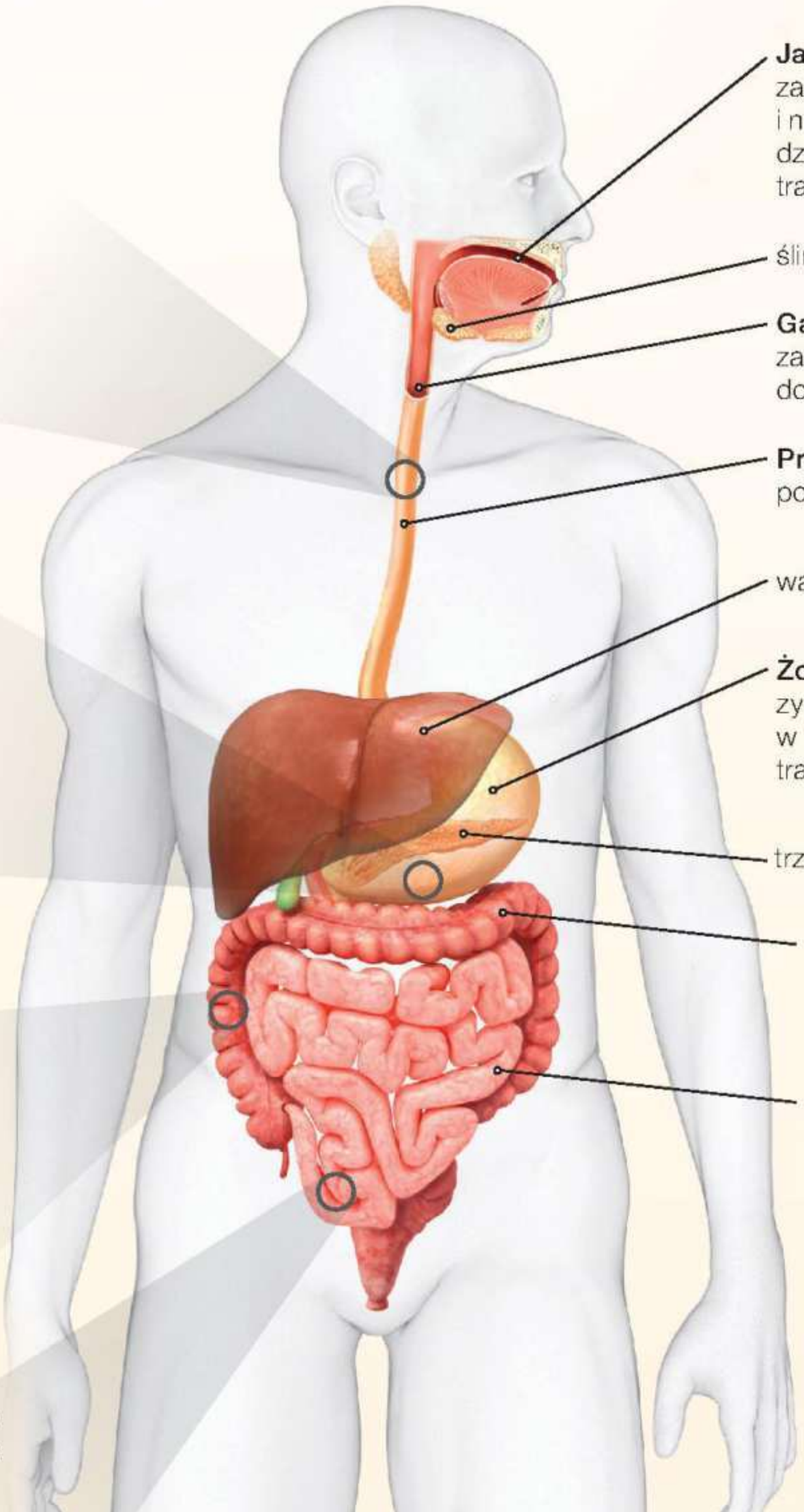


Ściana jelita grubego (obraz spod mikroskopu optycznego).



Ściana jelita cienkiego (obraz spod mikroskopu optycznego).





Jama ustna odpowiada za pobieranie, rozdrabnianie i nawilżanie pokarmu. Zachodzi w niej także częściowe trawienie polisacharydów.

ślinianki

Gardło odpowiada za przesuwanie pokarmu do przełyku.

Przełyk transportuje pokarm do żołądka.

wątroba

Żołądek czasowo magazynuje pokarm. Zachodzi w nim także częściowe trawienie białek.

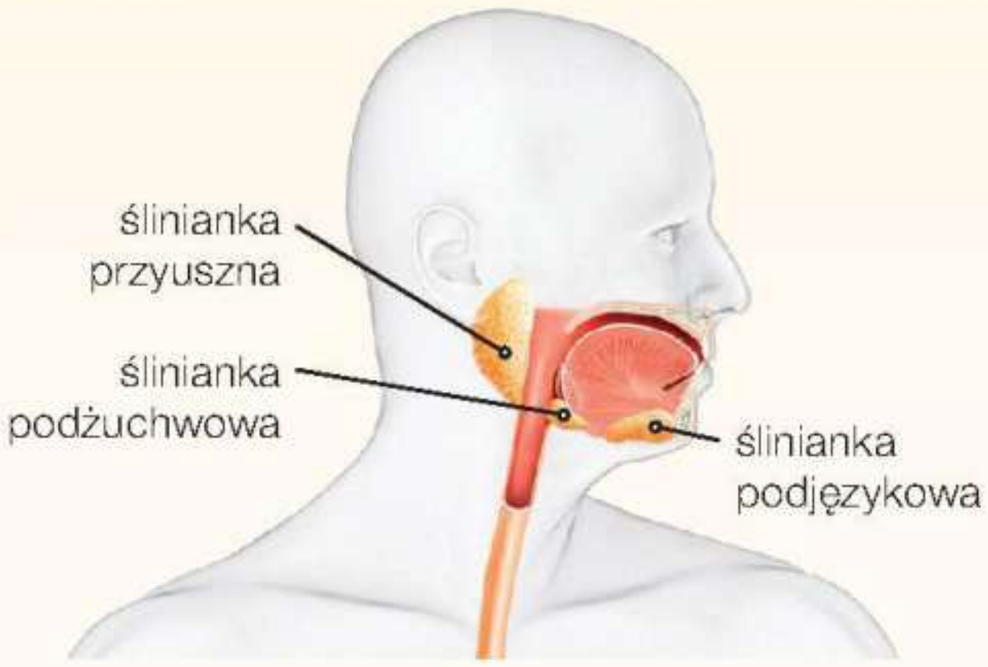
trzustka

Jelito grube odpowiada za wchłanianie wody i soli mineralnych oraz formowanie kału.

Jelito cienkie odpowiada za trawienie i wchłanianie składników pokarmowych.

Gruczoły układu pokarmowego

Gruczoły trawienne wchodzące w skład układu pokarmowego to: ślinianki, trzustka oraz wątroba. Wydzieliny tych narządów są dostarczane do światła przewodu pokarmowego za pomocą przewodów wyprowadzających.

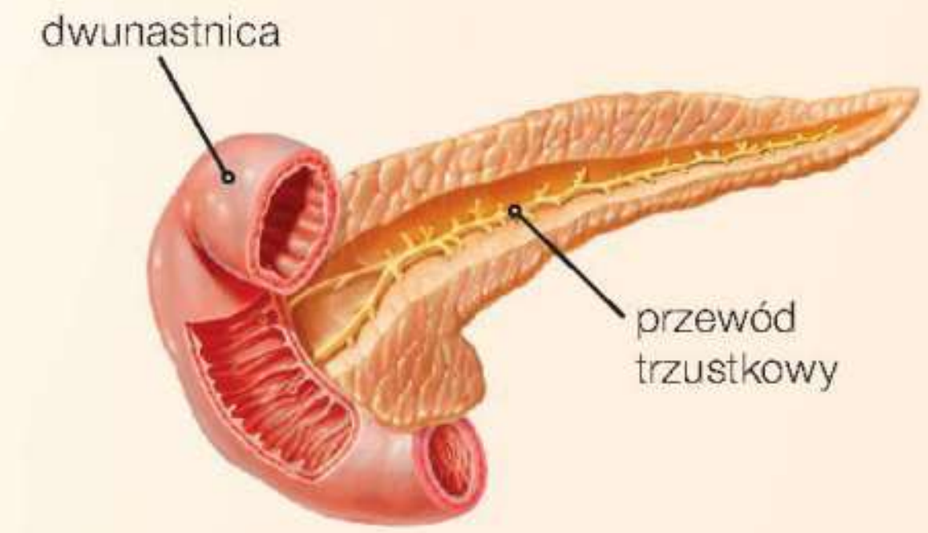


Przewody wyprowadzające ślinianek uchodzą do jamy ustnej.

Ślinianki

Trzy główne rodzaje ślinianek – podjęzykowe, podżuchwowe i przyuszne – produkują ok. 1 dm^3 śliny dziennie. Wydzielanie śliny do jamy ustnej zachodzi na zasadzie odruchu. Ślina ma odczyn obojętny, zawiera znaczną ilość wody, białka, sole mineralne oraz enzymy:

- **amylazę ślinową**, która rozpoczyna trawienie skrobi,
- **lipazę ślinową**, która trawi tłuszcze występujące w postaci naturalnej emulsji.



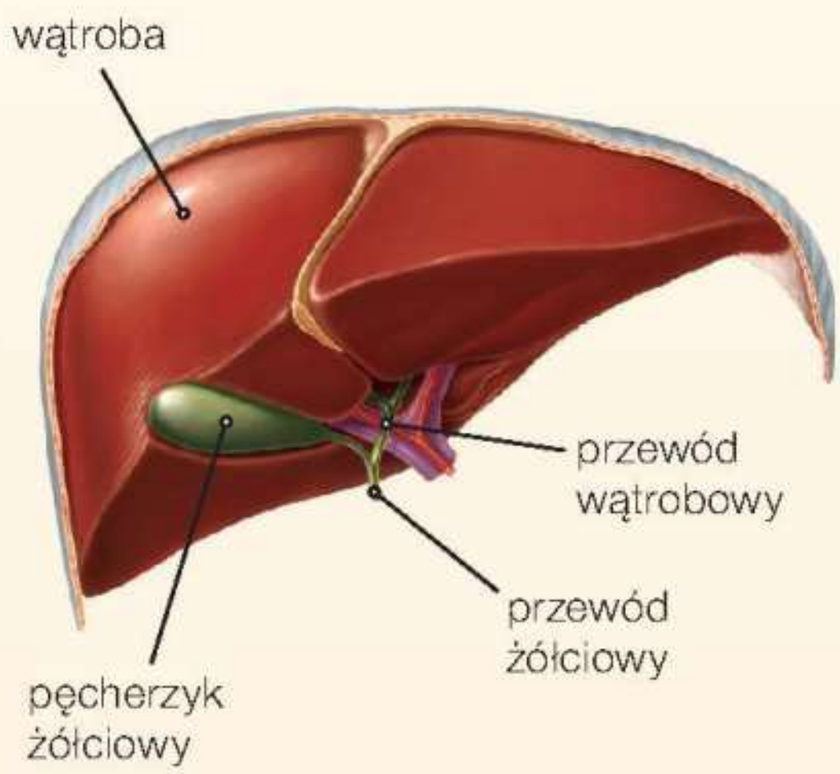
Trzustka jest połączona przewodem trzustkowym z dwunastnicą, do której trafia sok trzustkowy.

Trzustka

Trzustka produkuje zasadowy sok trzustkowy, który zawiera enzymy trawiące wszystkie rodzaje związków organicznych. Należą do nich:

- **amylaza trzustkowa**, która kontynuuje trawienie skrobi,
- **trypsyna**, **chymotrypsyna** i **karboksypeptydazy**, które kontynuują trawienie białek,
- **lipaza trzustkowa**, która trawi tłuszcze zemulgowane przez żółć.

Ponadto trzustka produkuje i wydziela hormony regulujące poziom glukozy we krwi – insulinę i glukagon.



Wątroba jest połączona przewodem wątrobowym z pęcherzykiem żółciowym. Z pęcherzyka żółć przepływa do dwunastnicy przewodem żółciowym.

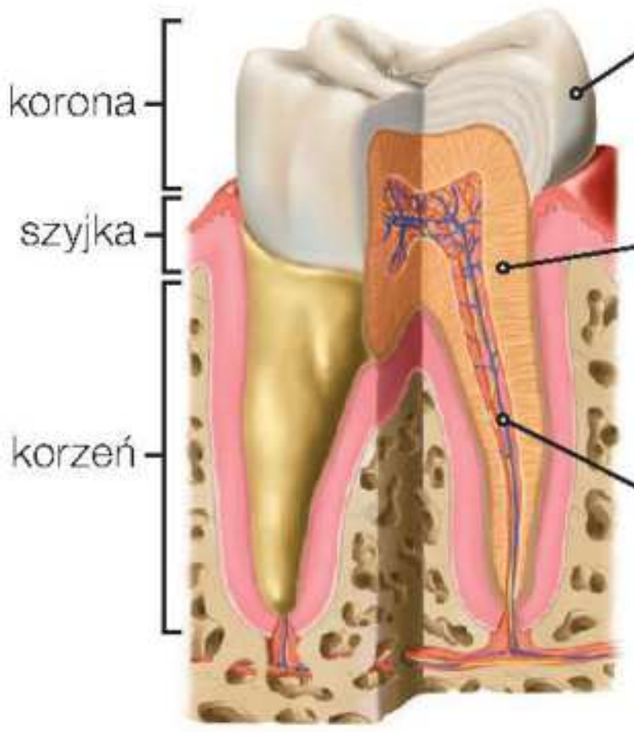
Wątroba

Wątroba jest nazywana centrum metabolicznym organizmu, ponieważ odgrywa istotną rolę w przemianie materii. Do jej funkcji należą m.in.:

- produkcja żółci – naturalnego detergentu niezbędnego w procesie trawienia tłuszczów. Wytworzona w wątrobie żółć jest czasowo magazynowana w pęcherzyku żółciowym;
- magazynowanie glikogenu. W razie potrzeby wątroba powoduje też jego rozkład;
- magazynowanie witamin rozpuszczalnych w tłuszczach oraz niektórych pierwiastków (np. żelaza);
- przekształcanie amoniaku w mocznik;
- rozkładanie hemoglobiny pochodzącej ze zużytych erytrocytów do barwników żółciowych;
- detoksykacja organizmu. Wątroba neutralizuje związki toksyczne, m.in. alkohol i leki.

Jama ustna

Pierwszym odcinkiem przewodu pokarmowego jest jama ustna, do której prowadzi **szpara ustna** ograniczona wargami. W jamie ustnej znajdują się **zęby**. Ich funkcją jest chwytanie oraz rozdrabnianie pokarmu. Podzielony na drobne części pokarm ma większą powierzchnię kontaktu z enzymami, co ułatwia jego trawienie. Każdy ząb składa się z **korony, szyjki** i **korzenia**. Wystająca ponad dziąsło korona jest połączona szyjką z korzeniem, który tkwi w zębodole. Koronę pokrywa twarde **szkliwo**, pod którym znajduje się **zębina**. Wnętrze zęba wypełnia **miazga** utworzona przez naczynia krwionośne i nerwy. U człowieka występują dwie generacje zębów: **zęby mleczne** oraz **zęby stałe**. Kształt odpowiadających sobie zębów obu generacji jest zbliżony, jednak w uzębieniu mlecznym nie ma zębów przedtrzonowych i jednego rodzaju zębów trzonowych. Wymiana zębów zachodzi stopniowo między 6. a 12. rokiem życia.

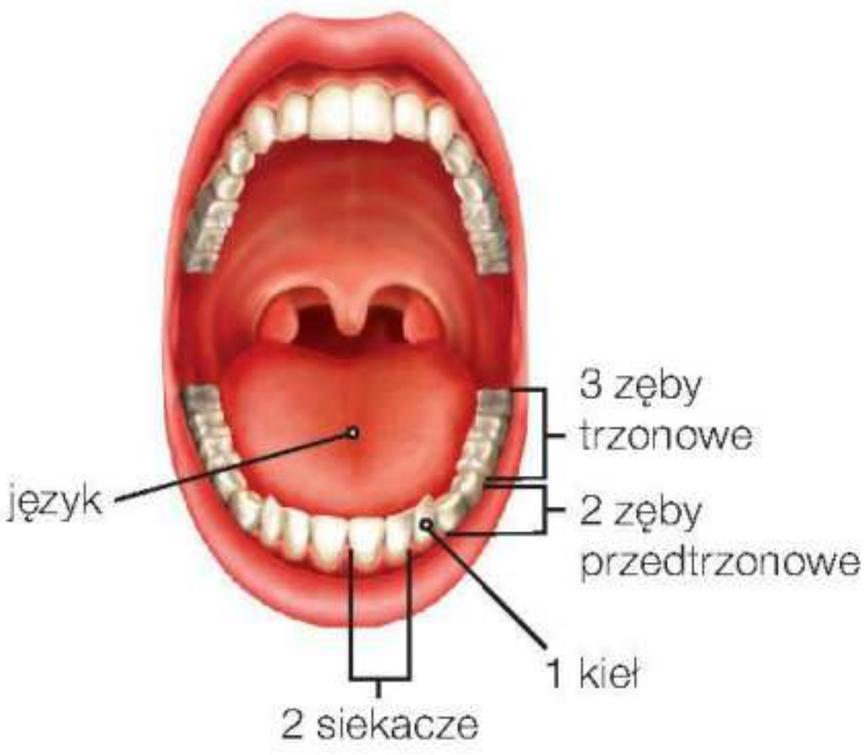


Budowa zęba.

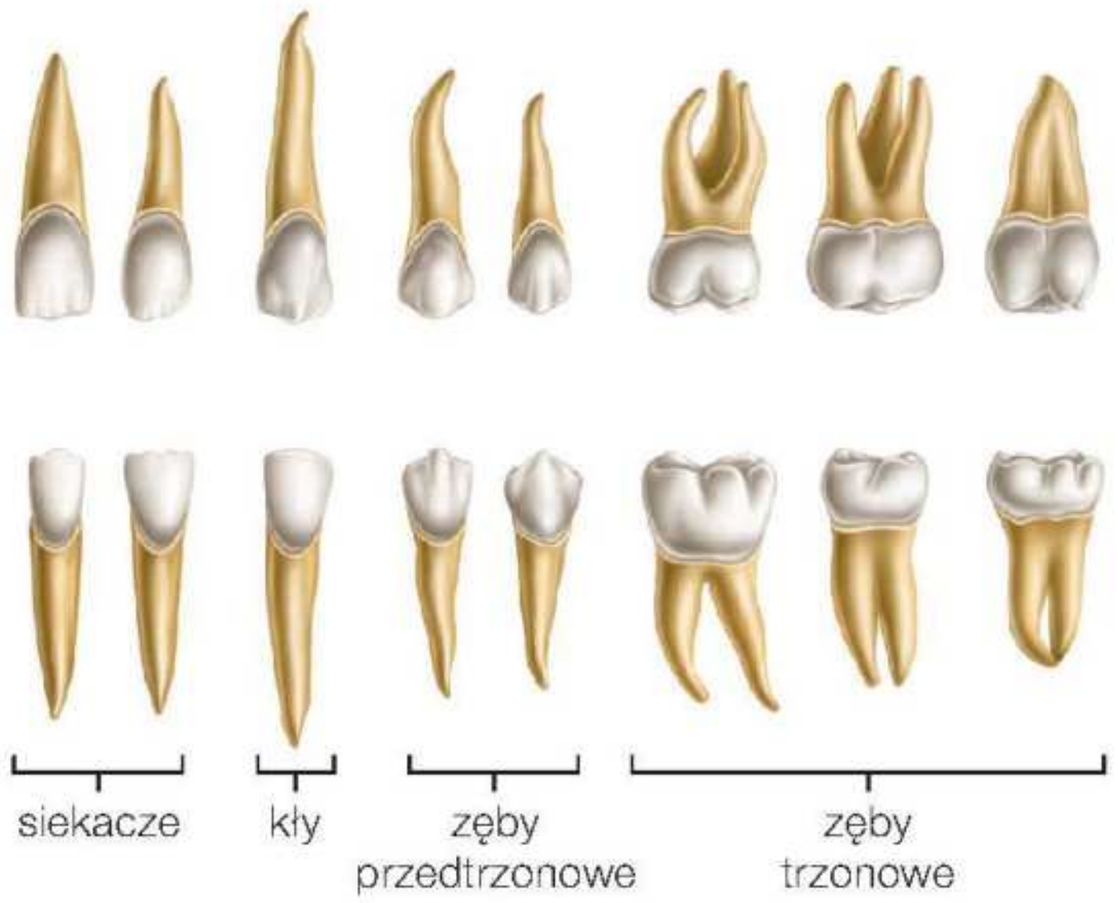
Na dnie jamy ustnej leży silnie umięśniony **język**. Umożliwia on formowanie kęsów pokarmu, a także ich połykanie. Na grzbietowej części języka znajdują się liczne **brodawki językowe**, które zawierają **kubki smakowe** odpowiedzialne za odbieranie wrażeń smakowych.

Rodzaje zębów

Zęby są osadzone na łukach zębowych szczęk i żuchwy. U człowieka występują dwie generacje zębów: 20 zębów mlecznych i 32 zęby stałe. Zęby różnią się budową, ponieważ są przystosowane do pełnienia różnych funkcji.



U dorosłego człowieka w każdej szczęce i połowie żuchwy znajduje się osiem zębów. Ostatnie zęby trzonowe wyrastają po 17. roku życia.



Siekacze służą do odgryzania kawałków pokarmu.

Kły pomagają w rozgryzaniu pokarmu.

Zęby przedtrzonowe i trzonowe miażdżą i rozcierają pokarm.

Do jamy ustnej uchodzą przewody trzech par dużych **gruczołów ślinowych** – ślinianek przyusznych, ślinianek podjęzykowych i ślinianek podżuchwowych – oraz licznych małych gruczołów ślinowych: wargowych, policzkowych, podniebiennych i językowych. Wydzielana przez nie **ślina** jest bezbarwną cieczą o odczynie obojętnym (pH = 6,4–7,0). Składa się ona głównie z wody oraz niewielkiej ilości białek i soli mineralnych. Dzięki zawartemu w ślinie enzymowi – **amylazie ślinowej** – w jamie ustnej zostaje zapoczątkowany proces rozkładu polisacharydów, głównie skrobi. Z kolei znajdująca się w ślinie **lipaza ślinowa** inicjuje trawienie tłuszczów występujących w postaci naturalnej emulsji, np. w mleku czy śmietanie.

Gardło i przełyk

Pokarm z jamy ustnej trafia do gardła, które jest wspólnym odcinkiem układów oddechowego i pokarmowego. Podczas przełykania jedna z chrząstek krtani – **nagłośnia** – zamyka wejście do dróg oddechowych. Dzięki temu pokarm jest kierowany do przełyku, a nie do tchawicy.

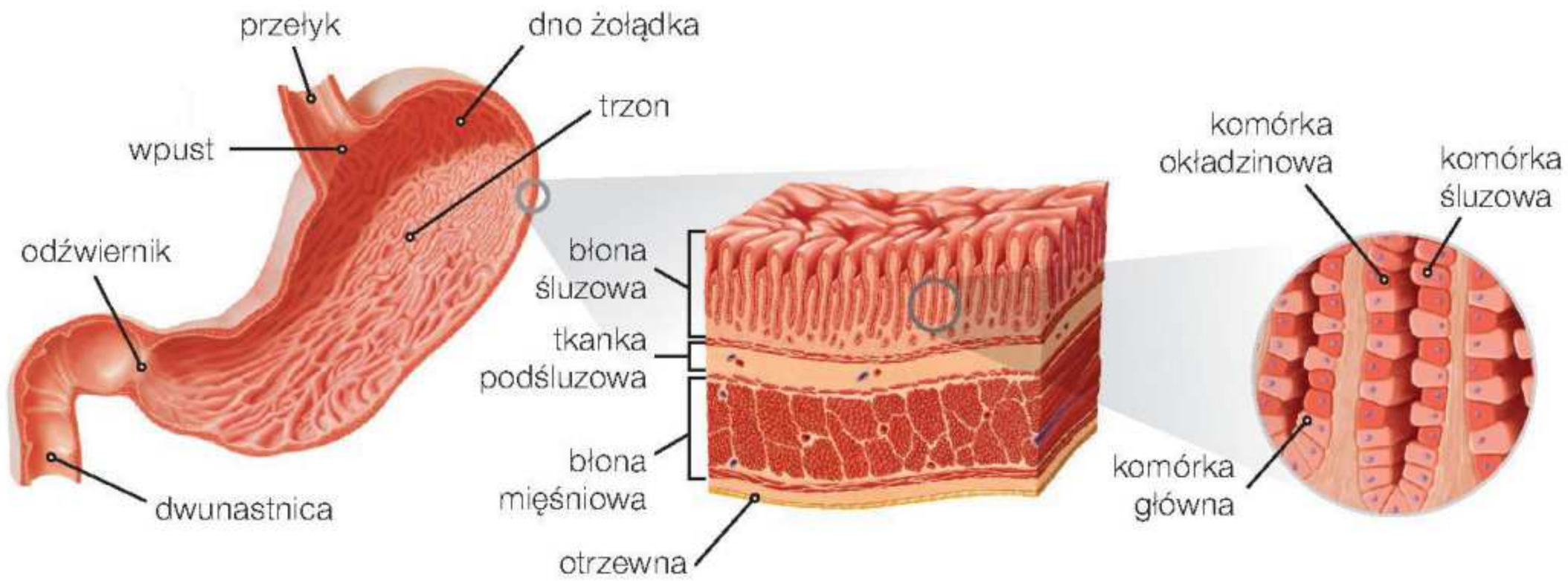
Przełyk ma kształt długiej (ok. 25 cm), wąskiej rury. Mięśnie budujące jego ścianę kurczą się rytmicznie, co umożliwia przesuwanie się pożywienia do żołądka.

Żołądek

Żołądek jest workiem mięśniowym o pojemności ok. 1,5 dm^3, w którym pokarm zostaje zatrzymany na 2–8 godz. i poddany dalszemu trawieniu. W błonie śluzowej żołądka znajdują się gruczoły, których wydzieliny tworzą **sok żołądkowy**. Ma on odczyn kwasowy (pH 1–2) i zawiera: wodę, kwas solny, chlorek sodu, chlorek potasu, enzymy trawienne (pepsynę i lipazę żołądkową) oraz śluz zabezpieczający ściany żołądka przed działaniem kwasu solnego i enzymów trawiennych. **Kwas solny** pełni różne funkcje:

- odpowiada za denaturację białek, przygotowując je do strawienia,
- niszczy drobnoustroje dostające się do żołądka z pokarmem,
- aktywuje enzymy i zapewnia właściwy odczyn środowiska, w którym działają (pH 1–2).

Budowa żołądka



Miejsce, w którym przełyk przechodzi w żołądek, nosi nazwę wpustu. Obok niego znajduje się dno żołądka, a dalej – trzon i odźwiernik, który uchodzi do dwunastnicy, czyli początkowego odcinka jelita cienkiego.

Ściana żołądka składa się z błony śluzowej, błony podśluzowej, błony mięśniowej oraz błony surowiczej (otrzewnej). W błonie śluzowej znajdują się gruczoły żołądkowe.

Gruczoły żołądkowe są zbudowane z kilku rodzajów komórek. Komórki okładzinowe wytwarzają kwas solny, komórki główne wydzielają enzymy trawienne, a komórki śluzowe wytwarzają śluz.

W żołądku trawione są przede wszystkim **białka**. Proces ten odbywa się przy udziale **pepsyny** wytwarzanej przez **komórki główne** żołądka w formie nieaktywnego proenzymu – **pepsynogenu**. Synteza enzymów proteolitycznych w postaci nieaktywnych proenzymów zabezpiecza komórki wydzielnicze (a w przypadku enzymów trzustkowych – także przewody wyprowadzające) przed strawieniem. Aktywacja pepsyny do pepsynogenu następuje pod wpływem kwasu solnego lub wcześniej wytworzonej pepsyny (autokataliza).

W żołądku noworodków i niemowląt wydzielana jest również **rennina** (podpuszczka), która rozkłada białko mleka – **kazeinę**. Ponadto w żołądku działa **lipaza żołądkowa**, która trawi tłuszcze występujące w postaci **naturalnej emulsji**.

Dzięki skurczom perystaltycznym żołądka pokarm przekształca się w płynną **miazgę pokarmową**.

Jelito cienkie

Jelito cienkie jest najdłuższym (ok. 6 m) odcinkiem przewodu pokarmowego. Wyróżnia się w nim trzy części: **dwunastnicę**, do której uchodzą przewody wyprowadzające trzustki i wątroby, **jelito czcze** oraz **jelito kręte**.

W jelicie cienkim kontynuowane jest trawienie pokarmu oraz odbywa się wchłanianie drobnocząsteczkowych produktów trawienia. Błona śluzowa jelita cienkiego jest silnie pofałdowana i wytwarza palczaste wypustki – **kosmki jelitowe**. Ich zewnętrzną warstwę stanowi nabłonek jednowarstwowy walcowaty utworzony z komórek zwanych **enterocytami**. Powierzchnia enterocytów granicząca ze światłem jelita ma liczne **mikrokosmki**, które tworzą tzw. **rąbek szczoteczkowy**. Fałdy, kosmki i mikrokosmki jelita cienkiego zwiększają powierzchnię trawienia i wchłaniania substancji pokarmowych.

Trawienie związków organicznych odbywa się częściowo w świetle jelita, a częściowo w rąbku szczoteczkowym. W świetle jelita działają: żółć wytwarzana przez wątrobę oraz składniki soku trzustkowego – wodorowęglan sodu ($NaHCO_3$) i enzymy trawienne. Wodorowęglan sodu zmienia odczyn treści pokarmowej z kwasowego na zasadowy. W ten sposób stwarza środowisko odpowiednie dla enzymów działających w jelicie.

Żółć

Żółć jest płynem wytwarzanym w komórkach wątroby. Składa się z wody oraz składników stałych, do których należą m.in. kwasy żółciowe, fosfolipidy, cholesterol, kwasy tłuszczowe i barwniki będące produktami rozkładu hemoglobiny. Działanie kwasów żółciowych polega na emulgacji tłuszczów, czyli rozbijaniu ich na mniejsze krople. Kwasy żółciowe składają się z części hydrofobowej oraz części hydrofilowej, która jest naładowana ujemnie. Dzięki takiej budowie częścią hydrofobową wnikają one do wnętrza kropli tłuszczu, natomiast część hydrofilowa pozostaje na zewnątrz. Ujemnie naładowane fragmenty kwasów żółciowych odpychają się, co uniemożliwia ponowne łączenie się małych kropli tłuszczu w większe krople.



Emulgacja zwiększa powierzchnię tłuszczu i ułatwia jego rozkład przez lipazy – hydrofilowe enzymy trawienne.

Głównymi enzymami soku trzustkowego są:

- **trypsyna, chymotrypsyna, karboksypeptydazy** – trawią białka oraz peptydy,
- **amylaza trzustkowa** – trawi polisacharydy, głównie skrobię,
- **lipaza trzustkowa** – trawi tłuszcze zemulgowane przez żółć.

Enzymy proteolityczne – trypsyna, chymotrypsyna i karboksypeptydazy – są wydzielane przez trzustkę w postaci nieaktywnych **proenzymów**. Trypsynogen jest przekształcany w aktywną trypsynę pod wpływem enterokinazy – enzymu wytwarzanego przez gruczoły ściany jelita. Powstała w ten sposób niewielka ilość trypsyny aktywuje kolejne cząsteczki trypsynogenu, a także chymotrypsynogen i prokarboksypeptydazy.

Dalszy rozkład związków organicznych przeprowadzają **enzymy rąbka szczoteczkowego**, przytwierdzone do błon enterocytów. Należą do nich m.in.:

- **peptydazy**, np. aminopeptydazy, dipeptydazy, które trawią peptydy,
- **disacharydazy**, np. maltaza, sacharaza, laktaza, które trawią disacharydy.

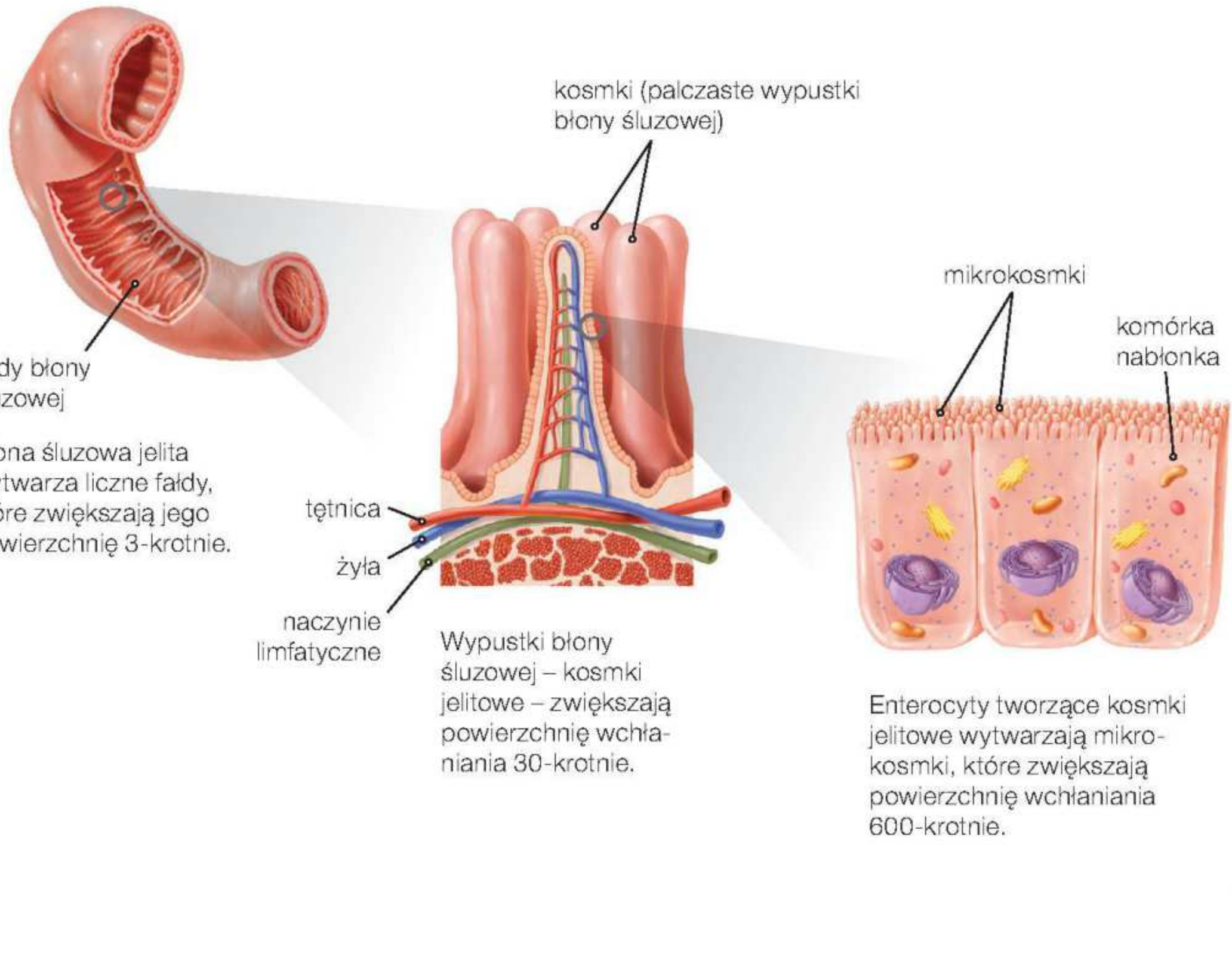
Pokarm strawiony w jelicie cienkim ma postać białego płynu, z którego substancje odżywcze są wchłaniane do krwi i limfy.

Jelito grube

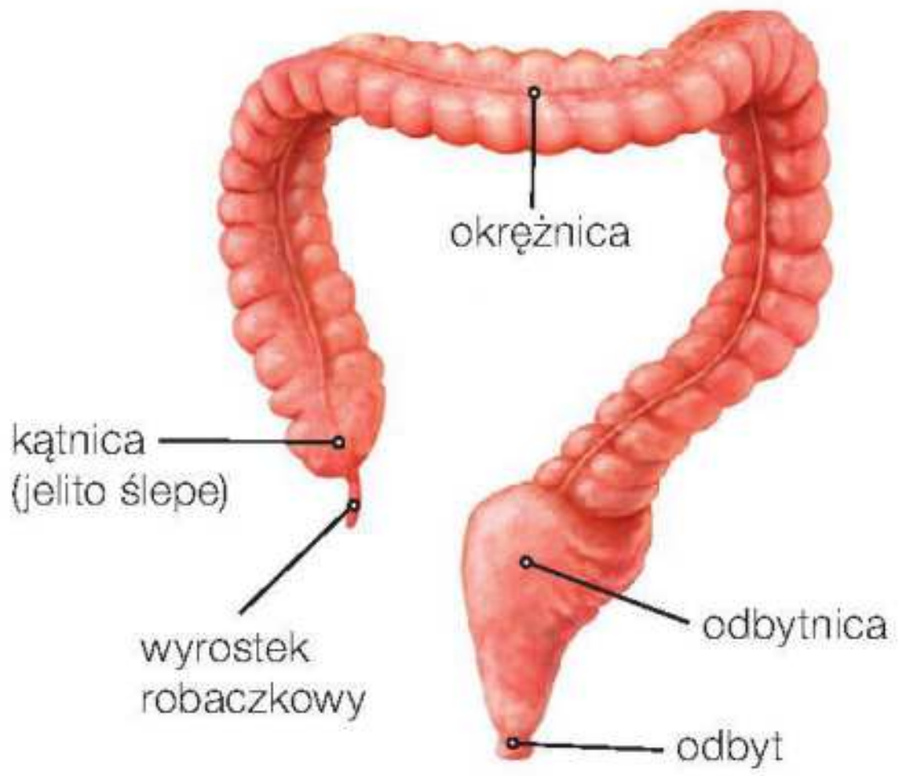
Jelito grube stanowi końcową część przewodu pokarmowego (ma ok. 1,5 m długości). Można w nim wyróżnić trzy odcinki: **jelito ślepe**, **okrężnicę** oraz **odbytnicę**, która jest zakończona **odbytem**.

Błona śluzowa jelita grubego nie ma kosmków. Jej gruczoły wydzielają dużą ilość śluzu, który ułatwia przesuwanie się zawartości jelita i formowanie kału. W początkowych odcinkach jelita grubego mogą jeszcze zachodzić procesy trawienia pod wpływem enzymów przeniesionych wraz z treścią pokarmową z poprzednich części przewodu pokarmowego. Rozwija się tu również bogaty **mikrobiom**, czyli liczne mikroorganizmy, które w procesach fermentacyjnych wykorzystują niestrawione resztki pokarmu,

Budowa jelita cienkiego



w tym celulozę (rozkładowi ulega ok. 15% spożytej celulozy). Bakterie jelitowe syntetyzują ponadto witaminy, wchłaniane później i wykorzystywane przez organizm. Główną funkcją jelita grubego jest **wchłanianie wody i soli mineralnych** z przesuwającej się treści pokarmowej. Oprócz ciągłej pracy mięśniówki jelita, związanej z mieszaniem treści pokarmowej, trzy–cztery razy na dobę zachodzą szybkie skurcze przesuwające niestrawione resztki pokarmu w stronę odbytnicy. Oddawanie kału – **defekacja** – podlega regulacji ośrodków nerwowych umiejscowionych w odcinku krzyżowym rdzenia kręgowego.



Budowa jelita grubego.

Czym jest mikrobiom?

Mikrobiom to wszystkie mikroorganizmy (zarówno szkodliwe, jak i nieszkodliwe), które żyją w organizmie człowieka. Należą do nich bakterie i grzyby zasiedlające skórę, włosy, jamę nosową, pochwę, płuca oraz – w największej ilości – jelita. Mikrobiom rozwija się wraz ze swoim gospodarzem, dlatego jego skład jest inny u małego dziecka i u osoby dorosłej.
Aby organizm mógł prawidłowo funkcjonować, musi być zachowana równowaga w składzie mikrobiomu. Równowagę tę łatwo jednak zachwiać, np. w czasie przyjmowania antybiotyków.



Mikrobiom układu pokarmowego:

- zapobiega rozwojowi drobnoustrojów chorobotwórczych,
- przeprowadza fermentację i rozkłada błonnik,
- wytwarza witaminy z grupy B oraz witaminę K,
- umożliwia prawidłowy rozwój układu odpornościowego,
- wpływa na rozwój i właściwe funkcjonowanie układu nerwowego.

Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij rolę wymienionych elementów przewodu pokarmowego w trawieniu pokarmu.
   a. Zęby.
   b. Kosmki jelitowe.
   c. Komórki wydzielające HCl.
2. Skonstruuj tabelę, w której porównasz substancje wydzielane przez ślinianki, trzustkę i wątrobę.
3. Wyjaśnij, dlaczego enzymy proteolityczne są wytwarzane w formie nieaktywnych proenzymów.
4. Wymień funkcje mikrobiomu jelita grubego.

4.5. Procesy trawienia i wchłaniania

Zwróć uwagę na:
- mechanizm trawienia związków organicznych oraz lokalizację etapów tego procesu,
- wchłanianie i dalsze przemiany związków organicznych,
- rolę ośrodków głodu i sytości w przyjmowaniu pokarmu.

Trawienie polega na rozkładzie wielkocząsteczkowych składników pokarmowych do prostych, rozpuszczalnych w wodzie związków, które mogą zostać wykorzystane przez komórki organizmu. W komórkach związki te są zużywane jako źródło energii lub substraty do produkcji związków własnych organizmu.

Proces trawienia rozpoczyna się od **fizycznej obróbki pokarmu**, na którą składają się: żucie, mieszanie, połykanie i przesuwanie masy pokarmowej dzięki ruchom perystaltycznym. Następnie zachodzi **trawienie chemiczne**, które polega na enzymatycznym rozkładzie wielkocząsteczkowych związków organicznych do związków prostszych, przyswajalnych przez organizm. Enzymy trawienne należą do klasy hydrolaz, dlatego przeprowadzane przez nie procesy rozkładu określa się mianem **hydrolizy enzymatycznej**. Polisacharydy i oligosacharydy są trawione do cukrów prostych, białka – do aminokwasów, a tłuszcze – do glicerolu i kwasów tłuszczowych. Proste związki organiczne powstałe w wyniku trawienia są **wchłaniane** do krwi lub limfy w jelicie cienkim, a następnie rozprowadzane przez układ krążenia do komórek ciała. Powierzchnię wchłaniania zwiększają fałdy, kosmki i mikrokosmki błony śluzowej jelita cienkiego.

Przemiany sacharydów

Trawienie sacharydów – polisacharydów i oligosacharydów – zachodzi z udziałem enzymów, które rozkładają wiązania glikozydowe łączące reszty cukrów prostych. Do enzymów przewodu pokarmowego rozkładających wiązania 1,4-α-glikozydowe należą przede wszystkim:

- **amylaza ślinowa** – rozkłada skrobię (oraz glikogen) do dekstryn[1] i maltozy; działa w jamie ustnej,
- **amylaza trzustkowa** – rozkłada dekstryny do maltozy; działa w świetle jelita cienkiego (głównie w dwunastnicy),
- **maltaza** – rozkłada maltozę do glukozy; działa w rąbku szczoteczkowym jelita cienkiego,
- **sacharaza** – rozkłada sacharozę do glukozy i fruktozy; działa w rąbku szczoteczkowym jelita cienkiego.

Enzymem rozkładającym wiązania 1,4-β-glikozydowe jest natomiast **laktaza**, która hydrolizuje cukier mleczny – laktozę – do glukozy i galaktozy. Laktaza działa w rąbku szczoteczkowym jelita cienkiego i jest szczególnie aktywna u noworodków i niemowląt.

Monosacharydy otrzymane w wyniku trawienia polisacharydów i oligosacharydów oraz pobrane wraz z pokarmem są następnie wchłanianie do krwi.

> **Czy wiesz, że...**
> U niektórych ludzi po zakończeniu okresu niemowlęctwa synteza laktazy zostaje zahamowana. Dochodzi wówczas do tzw. nietolerancji laktozy, czyli różnych dolegliwości (m.in. wzdęć i biegunki) spowodowanych bakteryjną fermentacją laktozy w jelicie grubym.

Przemiany białek

Trawienie białek zachodzi z udziałem **enzymów proteolitycznych**, które rozkładają wiązania peptydowe łączące reszty aminokwasów. Do enzymów proteolitycznych należą **endopeptydazy**, które hydrolizują wiązania

[1] **Dekstryny** – krótkie łańcuchy oligo- lub polisacharydowe.

peptydowe wewnątrz cząsteczki białka, oraz **egzopeptydazy**, które odłączają skrajne aminokwasy z końców łańcucha peptydowego. Do głównych enzymów proteolitycznych należą:

- **pepsyna** – rozkłada białka do peptydów; działa w żołądku,
- **trypsyna** – rozkłada białka do peptydów; działa w świetle jelita cienkiego (głównie w dwunastnicy),
- **chymotrypsyna** – rozkłada białka do peptydów; działa w świetle jelita cienkiego (głównie w dwunastnicy),
- **karboksypeptydazy** – odłączają skrajne aminokwasy od końca karboksylowego peptydów; działają w świetle jelita cienkiego (głównie w dwunastnicy),
- **aminopeptydazy** – odłączają skrajne aminokwasy od końca aminowego peptydów; działają w rąbku szczoteczkowym jelita cienkiego,
- **dipeptydazy** – rozkładają dipeptydy do wolnych aminokwasów; działają w rąbku szczoteczkowym jelita cienkiego.

W wyniku trawienia białek i peptydów powstają wolne aminokwasy, które z przewodu pokarmowego są wchłaniane do krwi.

Przemiany tłuszczów

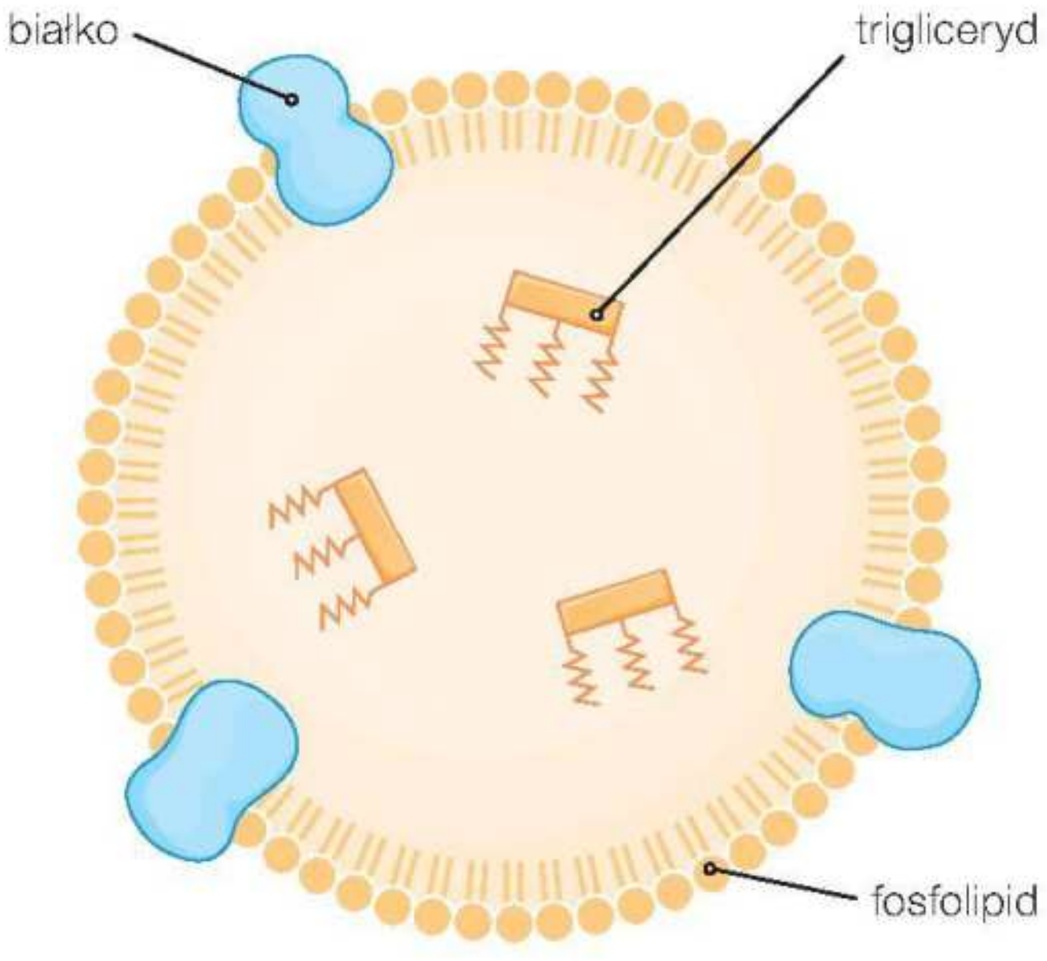
Tłuszcze są związkami **hydrofobowymi**, co znacznie komplikuje proces ich trawienia. **Enzymy lipolityczne** (lipazy), które rozkładają wiązania estrowe łączące glicerol z resztami kwasów tłuszczowych, są hydrofilowymi białkami działającymi wyłącznie w środowisku wodnym. Z tego powodu funkcjonują one na powierzchni kropel tłuszczu, nie wnikając do ich wnętrza. W trawieniu tłuszczów najważniejsze jest zatem zwiększenie powierzchni styku lipaz z trawionymi związkami, co odbywa się poprzez **emulgację tłuszczu**. Podczas tego procesu duże krople tłuszczu zostają rozbite na mniejsze fragmenty – tworzy się wówczas zawiesina, czyli **emulsja**. Zasadniczy etap emulgacji tłuszczów zachodzi w dwunastnicy pod wpływem **żółci**. Dopiero po emulgacji następuje właściwe trawienie chemiczne tych związków.

Niektóre tłuszcze, m.in. zawarte w mleku czy śmietanie, są spożywane w formie zemulgowanej, dlatego ich trawienie odbywa się w górnych odcinkach przewodu pokarmowego – w jamie ustnej oraz w żołądku.

Trawienie tłuszczów zachodzi z udziałem lipaz, do których należą:

- **lipaza ślinowa** – rozkłada tłuszcze występujące w postaci naturalnej emulsji do glicerolu i kwasów tłuszczowych; działa w jamie ustnej,
- **lipaza żołądkowa** – rozkłada tłuszcze występujące w postaci naturalnej emulsji do glicerolu i kwasów tłuszczowych; działa w żołądku,
- **lipaza trzustkowa** – rozkłada tłuszcze zemulgowane przez żółć do glicerolu i kwasów tłuszczowych; działa w świetle jelita cienkiego.

W świetle jelita cienkiego glicerol i kwasy tłuszczowe tworzą kompleksy z solami żółciowymi – w takiej formie są transportowane do komórek nabłonka jelit. Tam zachodzi resynteza tłuszczów właściwych, które po połączeniu z fosfolipidami i białkami tworzą struktury zwane **chylomikronami**. W tej postaci tłuszcze przechodzą do limfy.



Chylomikrony składają się z triglicerydów, które tworzą hydrofobowy rdzeń, oraz z hydrofilowej otoczki zewnętrznej zbudowanej z fosfolipidów i białek. Dzięki temu mogą być transportowane przez krew i limfę, których głównym składnikiem jest woda.

Trawienie skrobi

Rozkład skrobi zachodzi częściowo w jamie ustnej, a częściowo w jelicie cienkim. W jamie ustnej (środowisko obojętne) występuje amylaza ślinowa. Natomiast w jelicie cienkim (środowisko zasadowe) występują amylaza trzustkowa oraz maltaza. Enzymy te rozrywają wiązania 1,4-α-glikozydowe, które łączą ze sobą cząsteczki glukozy.

1 W jamie ustnej amylaza ślinowa rozkłada skrobię do dekstryn i maltozy.

2 W świetle jelita cienkiego amylaza trzustkowa rozkłada dekstryny do maltozy.

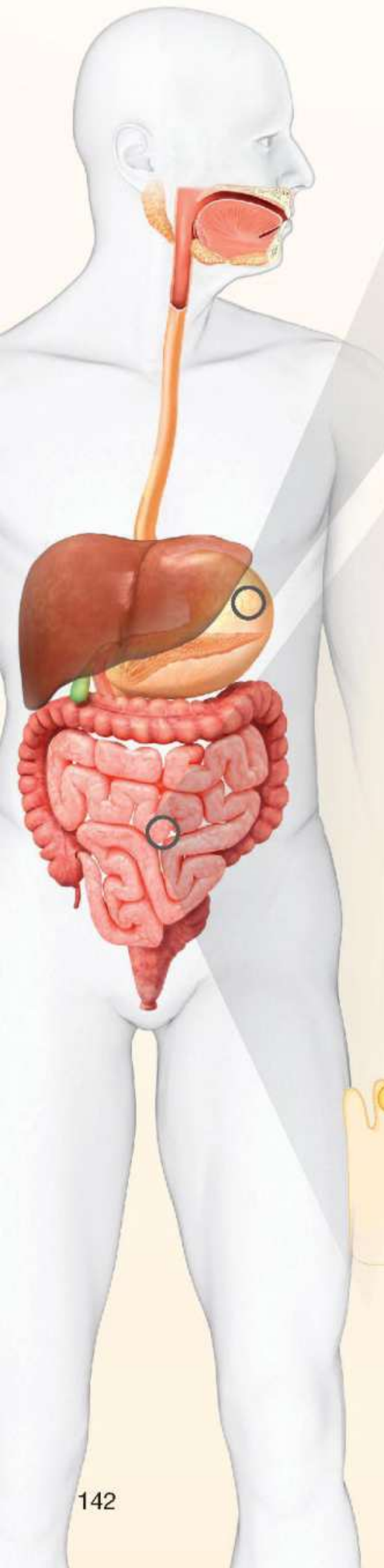
3 W rąbku szczoteczkowym jelita cienkiego maltaza rozkłada maltozę do glukozy.

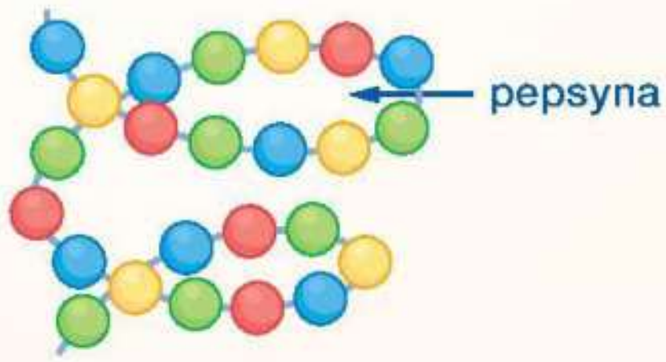
4 Ze światła jelita cienkiego cząsteczki glukozy są wchłaniane do wnętrza enterocytów.

5 Z enterocytów cząsteczki glukozy przenikają do żylnych naczyń krwionośnych.

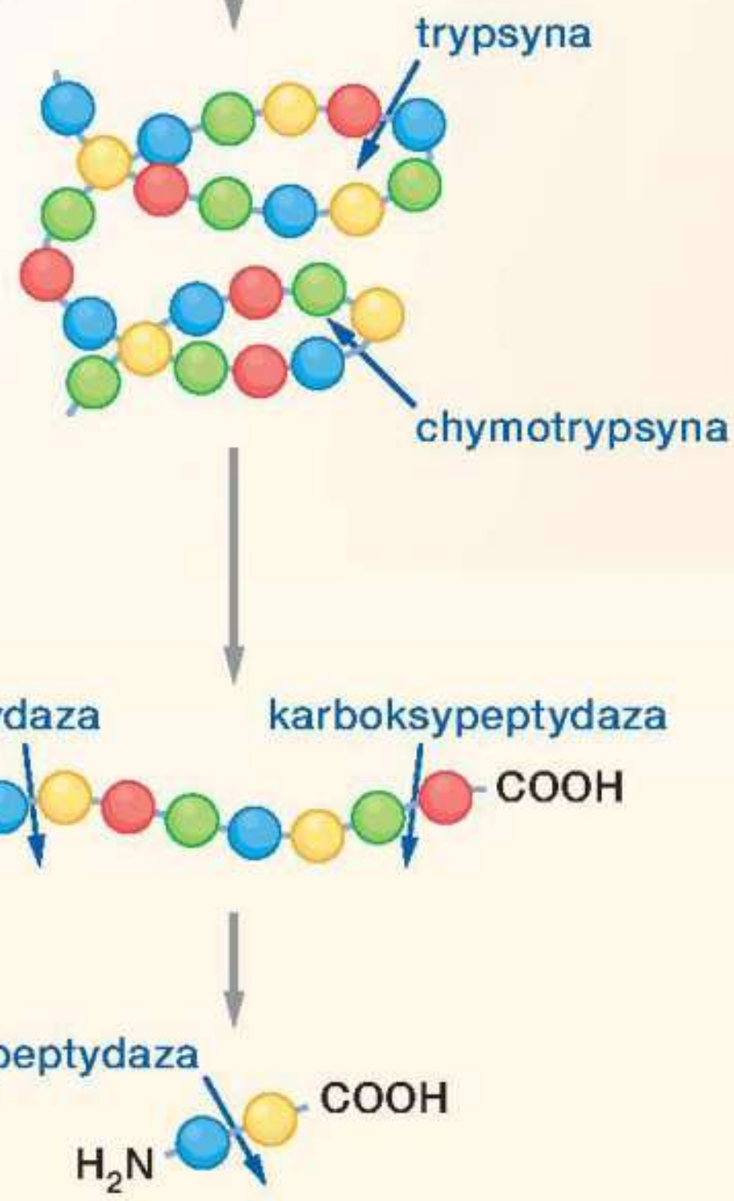
Trawienie białek

Rozkład białek zachodzi częściowo w żołądku, a częściowo w jelicie cienkim. W żołądku (środowisko kwasowe) działa pepsyna, natomiast w jelicie cienkim (środowisko zasadowe) działają: trypsyna, chymotrypsyna, aminopeptydazy, karboksypeptydazy oraz dipeptydazy. Enzymy te rozrywają wiązania peptydowe, które łączą ze sobą poszczególne aminokwasy.

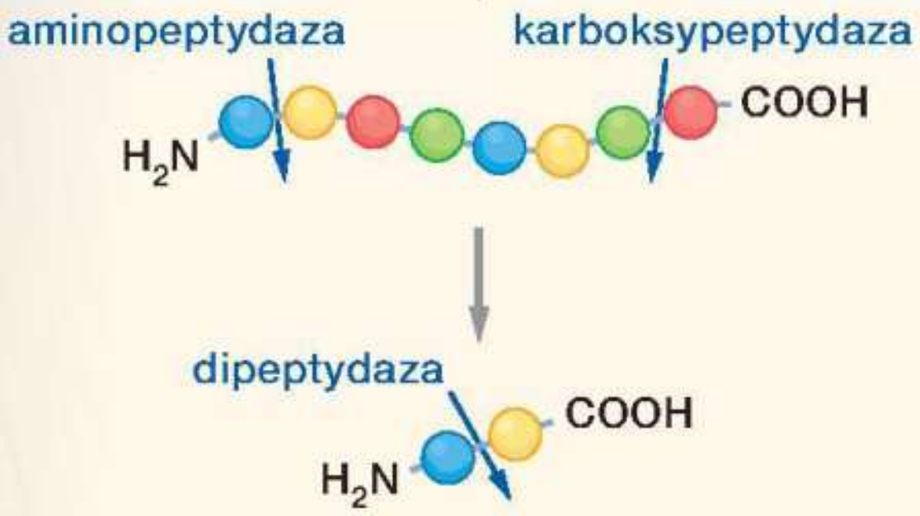




1 W żołądku pepsyna wstępnie rozkłada białka do peptydów.



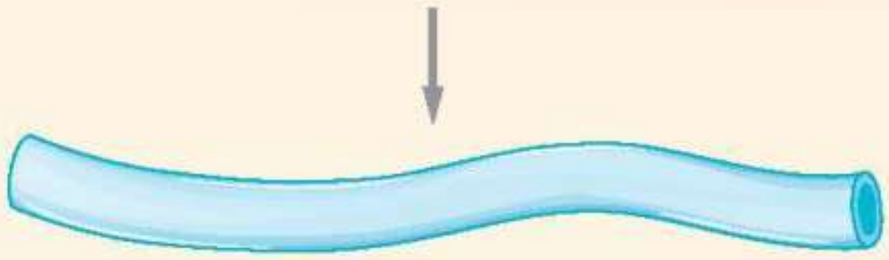
2 W świetle jelita cienkiego trypsyna i chymotrypsyna rozkładają białka do peptydów, a karboksypeptydazy odłączają wolne aminokwasy od końca –COOH peptydów.



3 W rąbku szczoteczkowym jelita cienkiego aminopeptydazy odłączają wolne aminokwasy od końca $–NH_2$ peptydów, dipeptydazy rozkładają dipeptydy do wolnych aminokwasów.



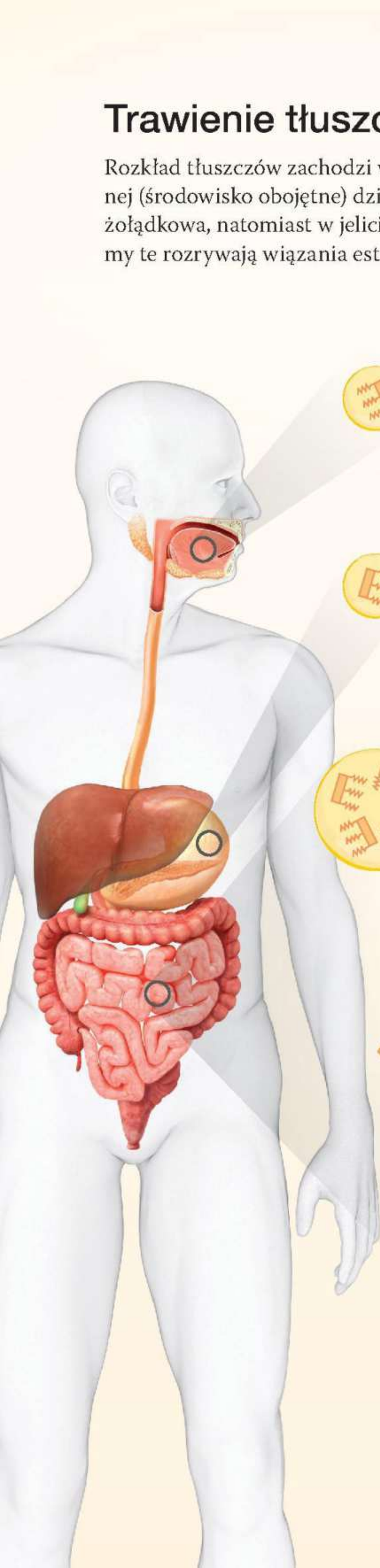
4 Ze światła jelita cienkiego aminokwasy są wchłaniane do wnętrza enterocytów.

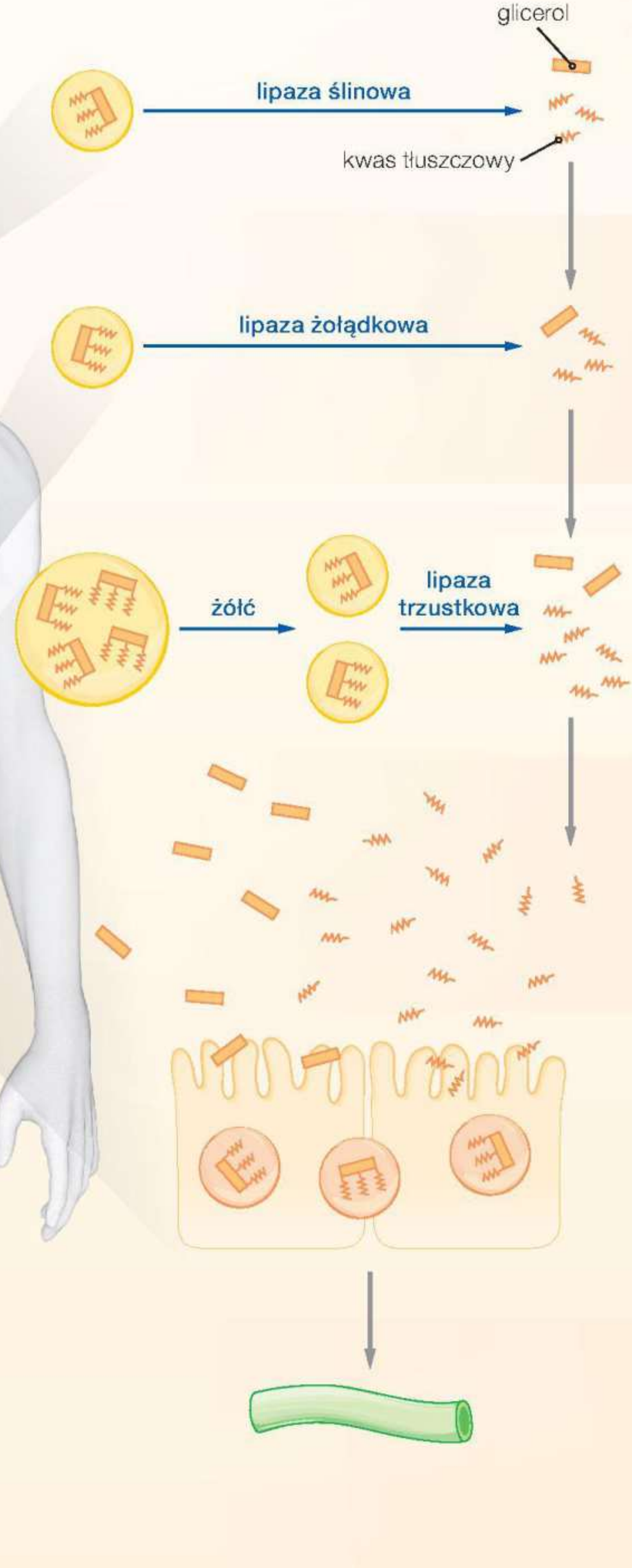


5 Z enterocytów aminokwasy przenikają do żylnych naczyń krwionośnych.

Trawienie tłuszczów

Rozkład tłuszczów zachodzi w jamie ustnej, żołądku oraz w jelicie cienkim. W jamie ustnej (środowisko obojętne) działa lipaza ślinowa, w żołądku (środowisko kwasowe) – lipaza żołądkowa, natomiast w jelicie cienkim (środowisko zasadowe) – lipaza trzustkowa. Enzymy te rozrywają wiązania estrowe, które łączą glicerol z resztami kwasów tłuszczowych.





1 W jamie ustnej lipaza ślinowa rozkłada tłuszcze występujące w postaci naturalnej emulsji.

2 W żołądku lipaza żołądkowa rozkłada tłuszcze występujące w postaci naturalnej emulsji.

3 W dwunastnicy lipaza trzustkowa rozkłada tłuszcze zemulgowane przez żółć.

4 Ze światła jelita cienkiego glicerol i wolne kwasy tłuszczowe są wchłaniane do wnętrza enterocytów.

5 W enterocytach zachodzi resynteza tłuszczów i tworzenie chylomikronów.

6 Z enterocytów chylomikrony przenikają do naczyń limfatycznych.

Wchłanianie produktów trawienia

Polisacharydy

Produktem trawienia polisacharydów jest najczęściej glukoza, wchłaniana w jelicie cienkim do krwi, a następnie transportowana żyłą wrotną do wątroby.
Z wątroby część glukozy wraz z krwią trafia do komórek ciała, gdzie zostaje wykorzystana jako źródło energii w oddychaniu komórkowym.
Nadmiar glukozy jest przekształcany w glikogen i magazynowany w wątrobie lub w mięśniach.
Pozostałe nadwyżki glukozy są zamieniane w tłuszcze i gromadzone w tkance tłuszczowej.

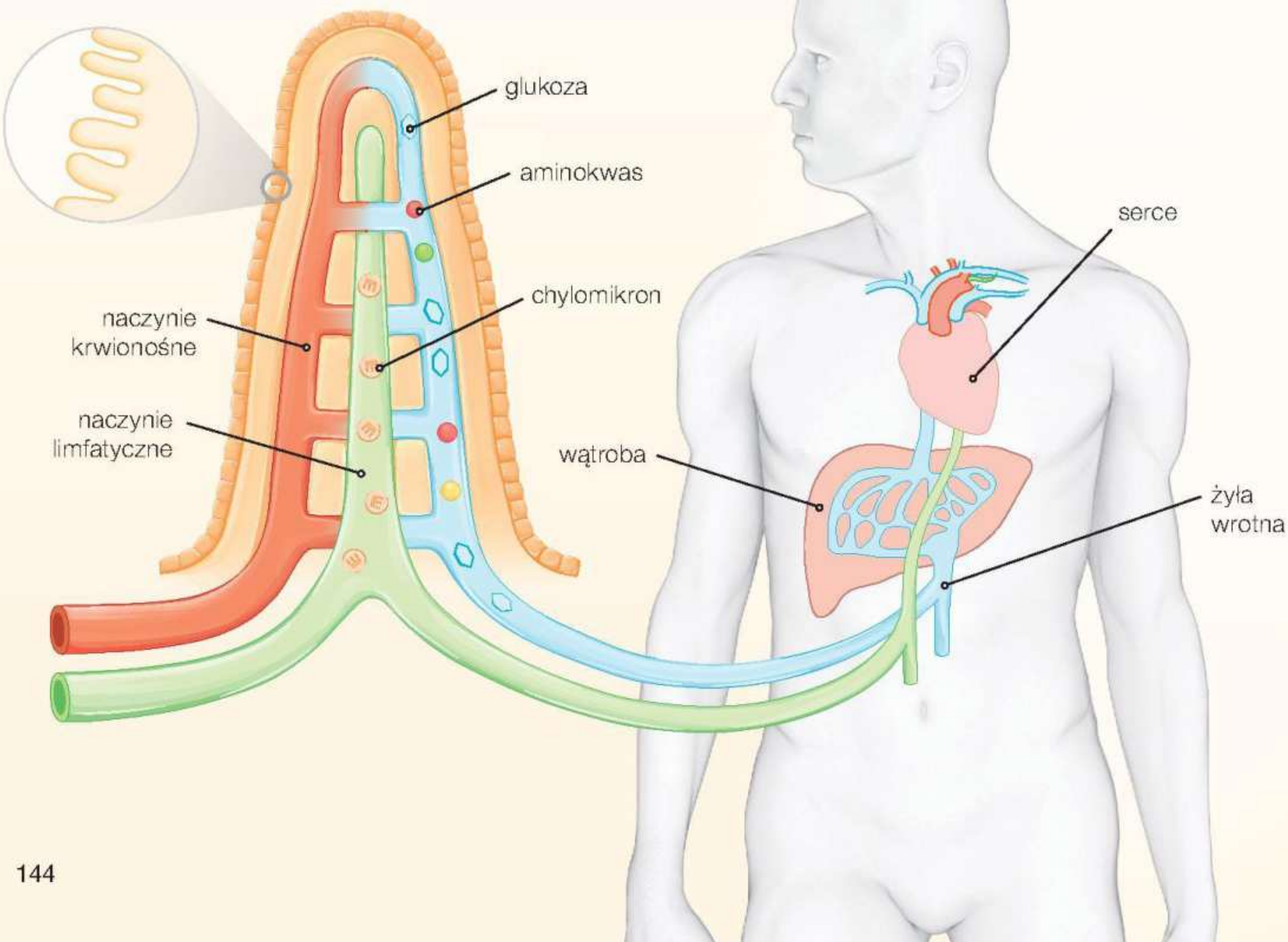
Białka

Produktem trawienia białek są aminokwasy, wchłaniane w jelicie cienkim do krwi, a następnie transportowane żyłą wrotną do wątroby.
Z wątroby aminokwasy wraz z krwią trafiają do komórek ciała, gdzie zostają wykorzystane jako substraty do syntezy białek własnych organizmu.
W przypadku, gdy aminokwasów jest za dużo lub organizm odczuwa długotrwały głód, mogą być one wykorzystane jako źródło energii.

Tłuszcze

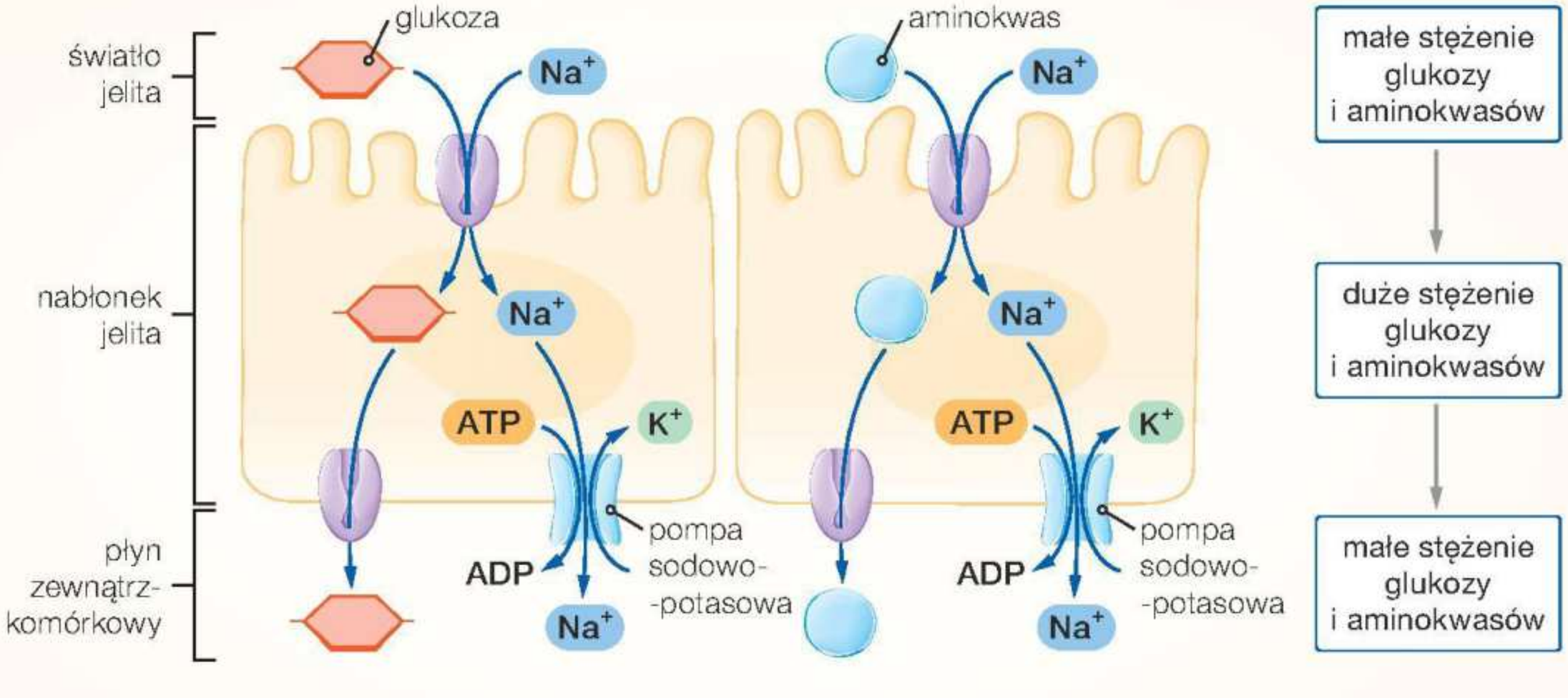
Produktami trawienia tłuszczów właściwych są glicerol i kwasy tłuszczowe. W komórkach nabłonka jelita cienkiego zachodzi resynteza tłuszczów, a następnie tworzenie chylomikronów, czyli kompleksów białkowo-lipidowych. Chylomikrony są wchłanianie w jelicie cienkim do naczyń limfatycznych, po czym wraz z limfą trafiają do krwi. Z krwią są transportowane do komórek ciała, gdzie służą m.in. do budowy błon biologicznych oraz jako źródło energii.
Nadmiar tłuszczów jest gromadzony w tkance tłuszczowej.

Wchłanianie produktów trawienia w kosmkach jelitowych



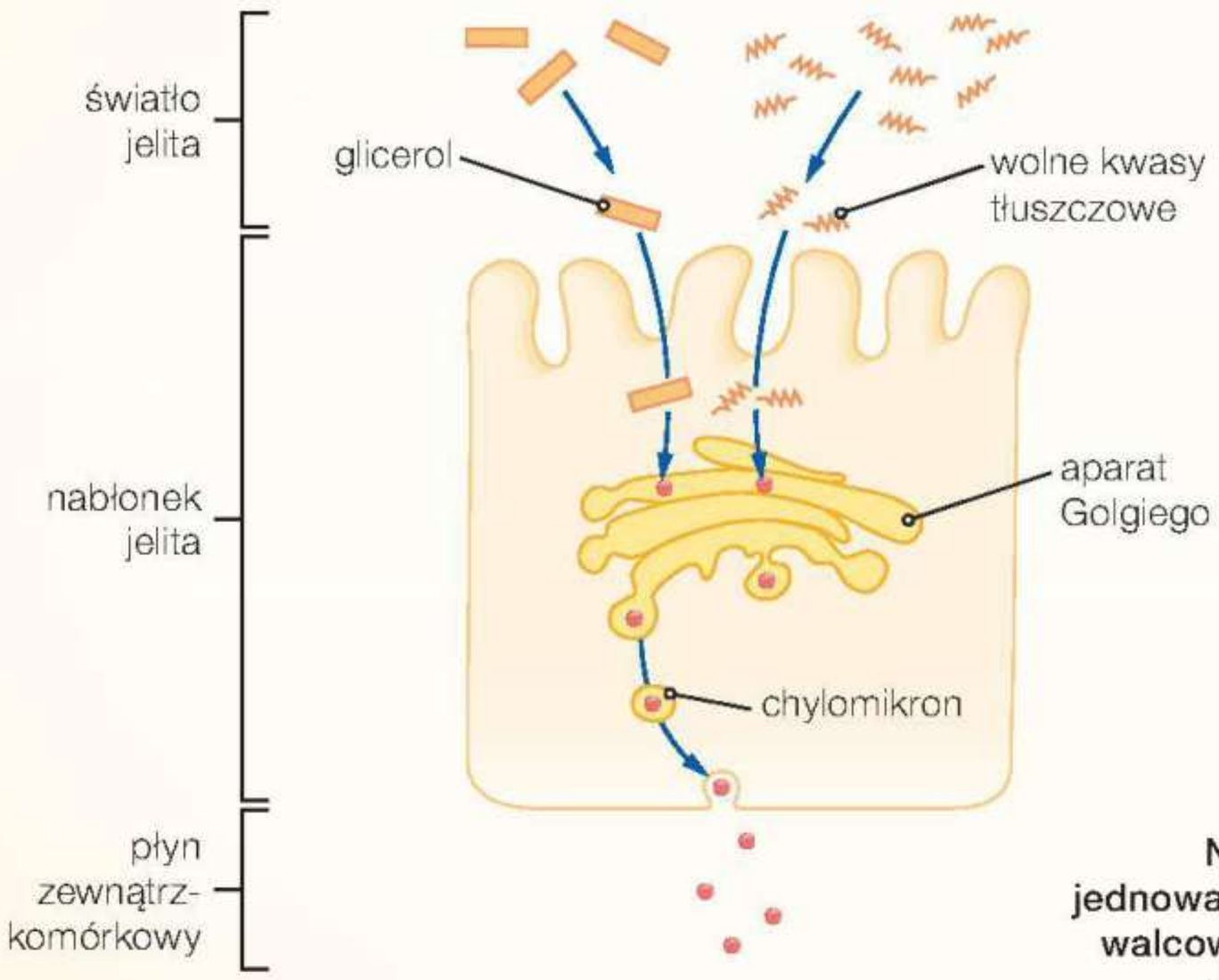
Transport glukozy i aminokwasów przez błony enterocytu

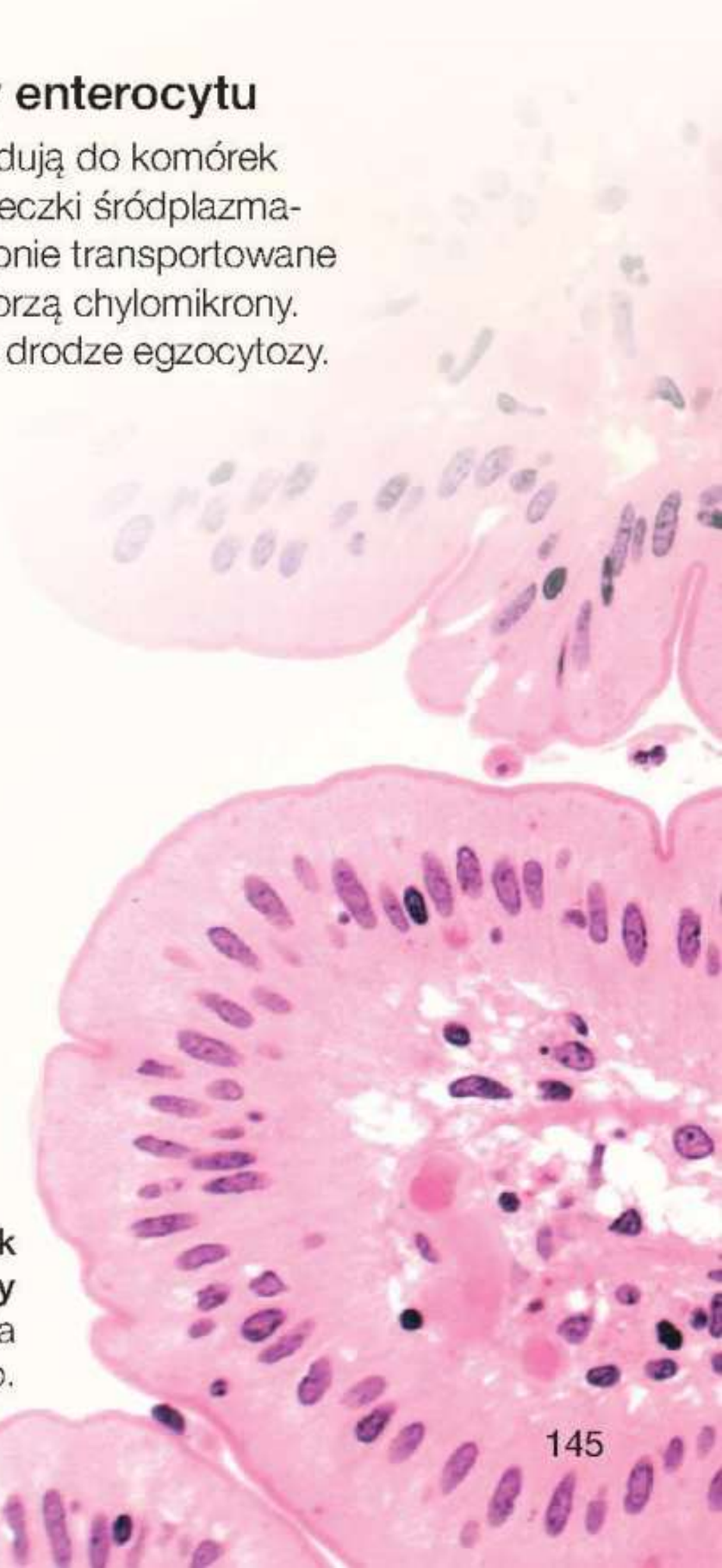
Transport glukozy i aminokwasów ze światła jelita do wnętrza enterocytu jest transportem czynnym, który odbywa się przez białka nośnikowe symportowe wraz z jonami sodu. Transport ten nie wymaga bezpośredniego nakładu energii, wykorzystuje jednak różnicę stężeń jonów sodu po obu stronach błony enterocytu. Różnica ta jest wytwarzana przez pompę sodowo-potasową. Transport glukozy i aminokwasów z wnętrza enterocytu do płynu zewnątrzkomórkowego jest transportem biernym, który zachodzi na zasadzie dyfuzji ułatwionej.



Transport glicerolu i kwasów tłuszczowych przez błony enterocytu

Glicerol i kwasy tłuszczowe w formie kompleksów z solami żółciowymi dyfundują do komórek nabłonka jelit. W cytozolu łączą się z białkami i przechodzą do kanalików siateczki śródplazmatycznej gładkiej, gdzie zachodzi resynteza triglicerydów. Triglicerydy są następnie transportowane do aparatu Golgiego – tam otaczają się hydrofilową otoczką zewnętrzną i tworzą chylomikrony. Chylomikrony są usuwane z komórki do przestrzeni zewnątrzkomórkowej na drodze egzocytozy.





Nabłonek jednowarstwowy walcowaty jelita cienkiego.

Doświadczenie

Badanie wpływu pH roztworu na trawienie skrobi przez amylazę ślinową

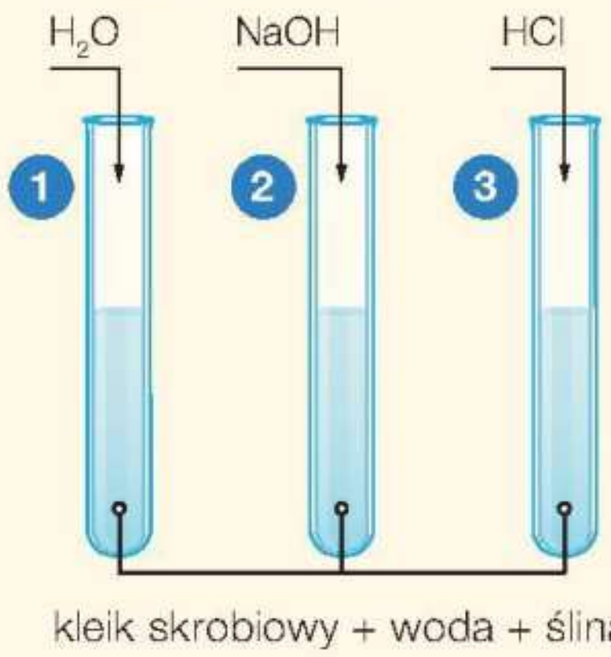
- **Problem badawczy:** Czy pH roztworu wpływa na trawienie skrobi przez amylazę ślinową?
- **Hipoteza:** pH roztworu wpływa na trawienie skrobi przez amylazę ślinową.
- **Przebieg doświadczenia**

Próba badawcza: Trzy probówki (1–3) zawierające kleik skrobiowy i ślinę. Do pierwszej probówki dodano wodę destylowaną, do drugiej – roztwór NaOH, do trzeciej – roztwór HCl. Po upływie 30 min do wszystkich probówek zakroplono płyn Lugola.

Próba kontrolna: Trzy probówki (1–3) zawierające kleik skrobiowy. Do pierwszej probówki dodano wodę destylowaną, do drugiej – roztwór NaOH, do trzeciej – roztwór HCl. Po upływie 30 min do wszystkich probówek zakroplono płyn Lugola.

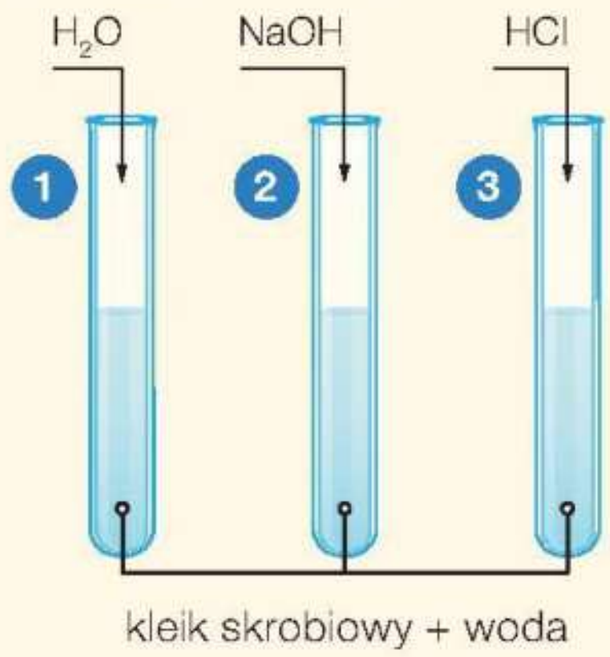
Przygotuj próby badawcze zgodnie z przedstawionym rysunkiem. Do trzech probówek wlej po 5 cm^3 wody destylowanej, po 2 cm^3 kleiku skrobiowego oraz po 3 cm^3 śliny. Do pierwszej probówki dodaj 1 cm^3 wody destylowanej, do drugiej – 1 cm^3 0,5% roztworu NaOH, a do trzeciej – 1 cm^3 0,5% roztworu HCl. Sprawdź za pomocą uniwersalnych papierków wskaźnikowych odczyn każdej z prób. Pozostaw próby na 30 min. Po upływie tego czasu dodaj za pomocą zakraplacza do każdej probówki po kilka kropel płynu Lugola. W podobny sposób przygotuj próby kontrolne, jednak zamiast śliny dodaj do nich taką samą objętość wody destylowanej.

Sposób przygotowania prób badawczych



kleik skrobiowy + woda + ślina

Sposób przygotowania prób kontrolnych



kleik skrobiowy + woda

- **Wynik doświadczenia**: Zaobserwuj zmiany, które zaszły w próbach po dodaniu do nich płynu Lugola.
- **Wniosek**: Sformułuj wniosek.
- **Wyjaśnienie**: Amylaza ślinowa hydrolizuje skrobię w środowisku o odczynie obojętnym. Obecność skrobi w materiale biologicznym można wykryć za pomocą płynu Lugola.

Regulacja czynności układu pokarmowego

Funkcjonowanie układu pokarmowego podlega nerwowej regulacji wewnętrznej przez układ jelitowy, którego neurony znajdują się w ścianie przewodu pokarmowego. Układ ten reguluje m.in. motorykę przewodu pokarmowego oraz wydzielanie soków trawiennych. Przykładem działania układu jelitowego jest wydzielanie soków trawiennych w odpowiedzi na pobudzenie chemoreceptorów znajdujących się w ścianie jelita przez składniki pokarmu.

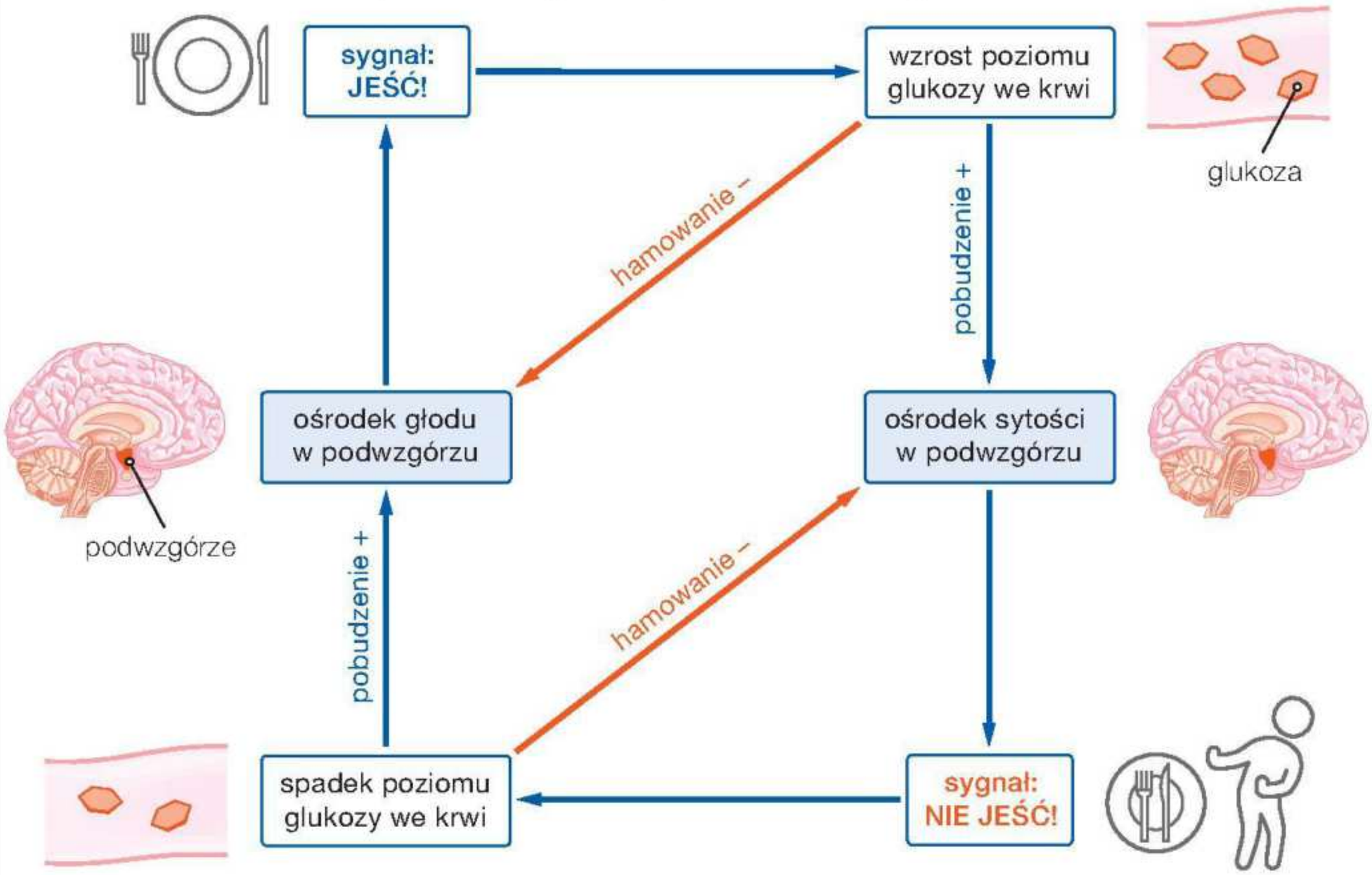
Prawidłowe funkcjonowanie układu pokarmowego zależy również od ośrodkowego układu nerwowego. Przykładem jest wydzielanie soku żołądkowego regulowane przez ośrodek

nerwowy zlokalizowany w **rdzeniu przedłużonym**. Ośrodek ten jest kontrolowany przez **korę mózgu**. Wydzielanie soku żołądkowego następuje, gdy pokarm znajdujący się w jamie ustnej podrażnia zlokalizowane w niej zakończenia nerwowe, a także na skutek impulsów powstających w korze mózgu, np. na widok pokarmu lub w reakcji na jego zapach.

Układ pokarmowy jest również wyposażony w niezależny system regulacji hormonalnej, działający za pośrednictwem hormonów wytwarzanych w ścianie przewodu pokarmowego. Do hormonów tych należą m.in. **gastryna** i **somatostatyna**. Gastryna, która jest produkowana przez gruczoły błony śluzowej żołądka w odpowiedzi na pobudzenie chemoreceptorów przez składniki pokarmu, stymuluje wydzielanie soku żołądkowego. Natomiast somatostatyna, która jest produkowana przez gruczoły błony śluzowej żołądka w odpowiedzi na obecność kwasu solnego, hamuje wydzielanie soku żołądkowego.

Ośrodki głodu i sytości

W części mózgowia zwanej podwzgórzem znajdują się ośrodki głodu i sytości oraz receptory, które rejestrują poziom glukozy we krwi. Wysoki poziom glukozy we krwi pobudza ośrodek sytości i jednocześnie hamuje ośrodek głodu. Niski poziom glukozy działa odwrotnie – hamuje ośrodek sytości i pobudza ośrodek głodu.



Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij, na czym polega proces trawienia pokarmów.
2. Omów rolę jamy ustnej w procesie trawienia.
3. Podaj funkcje poszczególnych składników soku żołądkowego.
4. Wymień cechy jelita cienkiego, które stanowią jego adaptację do pełnionych funkcji.
5. Wyjaśnij, jak są wchłaniane produkty trawienia w układzie pokarmowym.
6. Omów rolę ślinianek, wątroby i trzustki w procesie trawienia pokarmów.

4.6. Zasady racjonalnego odżywiania się

Zwróć uwagę na:
- bilans energetyczny organizmu,
- piramidę zdrowego żywienia i stylu życia,
- przyczyny, skutki i profilaktykę otyłości,
- zaburzenia odżywiania: anoreksję i bulimię.

Słowo „dieta" oznacza przede wszystkim sposób odżywiania się, który polega na dostosowaniu ilości i rodzaju pokarmu do potrzeb organizmu.

Problematyką wyżywienia ludności na świecie zajmuje się Organizacja Narodów Zjednoczonych ds. Wyżywienia i Rolnictwa (FAO). Do jej zadań należy m.in. walka z niedożywieniem, które występuje w krajach rozwijających się, oraz z przekarmieniem, do którego dochodzi w krajach wysoko rozwiniętych.

Zapotrzebowanie organizmu na składniki pokarmowe

Organizm człowieka potrzebuje pokarmu zarówno do wzrostu i rozwoju, jak i do pozyskiwania energii niezbędnej do przeprowadzania procesów życiowych. Zapotrzebowanie organizmu na poszczególne składniki pokarmowe oraz zapotrzebowanie energetyczne zależą od wielu czynników, takich jak: wiek, płeć, stan zdrowia, wzrost, masa ciała, stan fizjologiczny (np. ciąża), wykonywana praca i aktywność fizyczna. Mają na nie wpływ również czynniki zewnętrzne, np. pora roku czy aktualna temperatura powietrza. Na przykład dzieci i młodzież w okresie wzrostu potrzebują więcej białka niż osoby dorosłe i mają inne zapotrzebowanie na energię.

Bilans energetyczny

Bilans energetyczny to różnica pomiędzy energią dostarczaną w pożywieniu a energią, którą organizm zużywa w ciągu dnia na procesy metaboliczne oraz codzienną aktywność. Jeśli ilość energii zużytej równa się ilości energii dostarczonej, to bilans energetyczny wynosi zero. W sytuacji, gdy organizm nie zużywa całej dostarczonej w pokarmie energii, bilans energetyczny jest dodatni. Nadmiar energii zostaje wtedy zmagazynowany w postaci tłuszczu, co może prowadzić do nadwagi. Dodatni bilans energetyczny można jednak wyrównać dzięki zwiększonej aktywności fizycznej. Ujemny bilans energetyczny występuje wtedy, gdy organizm uzyskuje z pokarmem za mało energii. W takiej sytuacji zużywa własne związki budulcowe, co może prowadzić do niedowagi.

Wartość energetyczną produktów spożywczych oraz ilość energii wydatkowanej przez organizm przedstawia się zwykle w kilokaloriach (1 kcal = 1000 cal).

Zapotrzebowanie energetyczne organizmu

Grupa ludności	kcal/osobę/dobę
Dzieci 1–9 lat	1300–2100
Młodzież płci męskiej	3000–3700
Młodzież płci żeńskiej	2600–2800
Mężczyźni – lekka praca	2400–2600
Mężczyźni – ciężka praca	3500–4000
Kobiety – lekka praca	2100–2300
Kobiety – ciężka praca	2900–3200

Przykładowa tabela spalania kalorii

Rodzaj aktywności	kcal/godz.
Łyżwiarstwo rekreacyjne	354
Spacer (7 km/godz.)	400
Bieganie (9 km/godz.)	650
Kolarstwo (21 km/godz.)	850
Pływanie (40 m/min)	530
Sprzątanie	250
Taniec	500

Piramida zdrowego żywienia i stylu życia

Piramida zdrowego żywienia i stylu życia to graficzne przedstawienie właściwych proporcji poszczególnych grup pokarmów w codziennej diecie oraz zalecenia dotyczące aktywności fizycznej. Im wyższe piętro piramidy, tym mniejsza powinna być ilość i częstość spożywania pokarmów z danej grupy. W Polsce piramidę zdrowego żywienia oraz zalecenia dotyczące zdrowego stylu życia opracowuje Instytut Żywności i Żywienia.

Podstawowe zasady żywienia

1. Jedz regularnie pięć posiłków dziennie.
2. Pamiętaj, że głównym składnikiem diety powinny być różnorodne warzywa i owoce.
3. Jedz produkty zbożowe. Najlepiej wybieraj produkty pełnoziarniste, ponieważ zawierają one wiele niezbędnych witamin i związków mineralnych, a także niezwykle ważny błonnik.
4. Pij codziennie ok. 3–4 szklanek mleka lub jedz jogurt naturalny albo ser. Mleko i produkty mleczne są ważnymi źródłami białka oraz wapnia.
5. Jedz chude mięso, ryby, jaja oraz nasiona roślin strączkowych.
6. Wybieraj tłuszcze roślinne zamiast tłuszczów zwierzęcych.
7. Ogranicz jedzenie słodyczy (możesz je zastąpić orzechami lub owocami), a zamiast słodkich napojów pij wodę.
8. Ogranicz używanie soli, nie jedz słonych przekąsek i produktów typu fast food.



Piramida zdrowego żywienia i stylu życia dzieci i młodzieży (4–18 lat).



W przypadku dzieci i młodzieży duże znaczenie ma również:

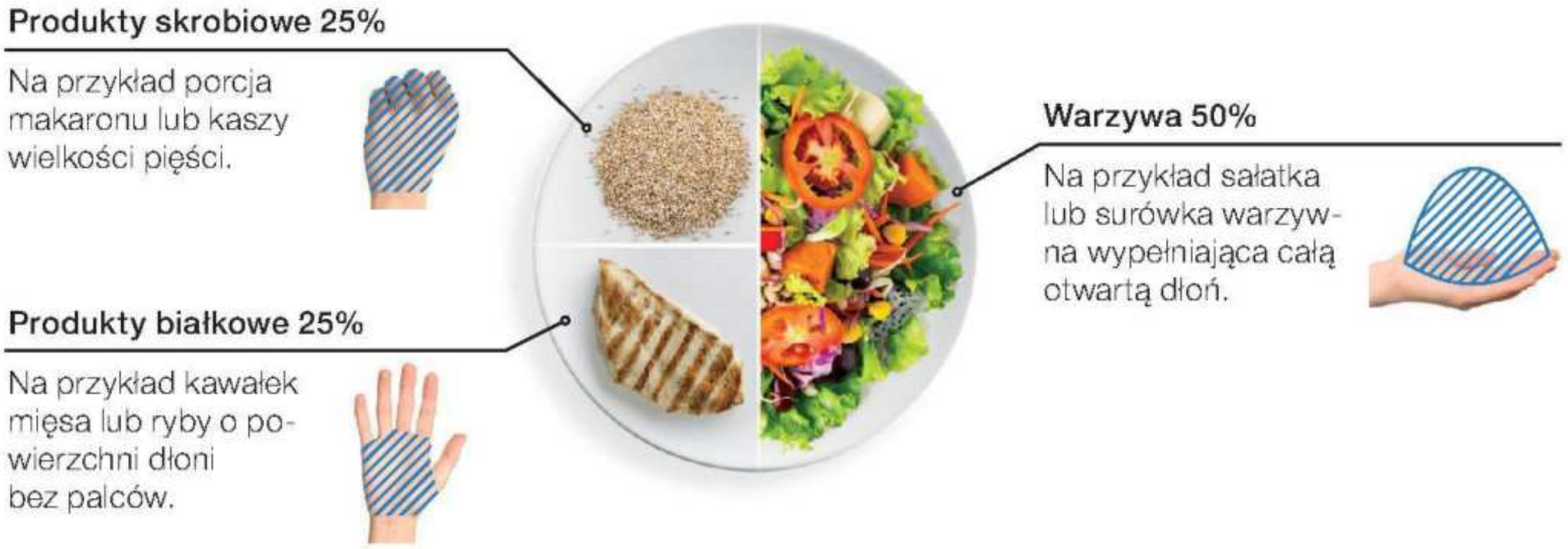
- odpowiednia ilość snu (ok. 8–10 godz. na dobę),
- ograniczenie czasu oglądania telewizji i korzystania z urządzeń elektronicznych, np. komputerów, do 2 godz. na dobę,
- kontrolowanie masy ciała i wzrostu,
- regularne mycie zębów.



Obecnie szczególną uwagę zwraca się na fakt, że na zdrowie człowieka wpływa nie tylko sposób odżywania się, lecz także **aktywność fizyczna**. Dlatego stanowi ona podstawę w piramidach zarówno dla dzieci i młodzieży, jak i dla dorosłych oraz osób w starszym wieku.

Racjonalne planowanie posiłków

Niekiedy trudno jest dobrać właściwe proporcje i ilość poszczególnych składników pożywienia. W efekcie nie można skończyć posiłku, czuje się przejedzenie albo nadal odczuwa się głód i dojada (np. słodyczami).
Poniżej znajdują się wskazówki, jak racjonalnie planować swoje posiłki.



Przyczyny i skutki otyłości

Otyłość jest jednym z najbardziej powszechnych problemów zdrowotnych związanych z rozwojem cywilizacji. Polega ona na nadmiernym gromadzeniu się tłuszczu w tkance tłuszczowej, co prowadzi do zbyt dużej masy ciała. Podstawową przyczyną otyłości jest długotrwały **dodatni bilans energetyczny**. Wynika on najczęściej z błędów żywieniowych, takich jak:

- przyjmowanie zbyt dużej ilości pokarmów,
- niewłaściwe proporcje składników pokarmowych (np. zbyt duża ilość tłuszczów i sacharydów),
- nieregularne spożywanie posiłków – głodzenie się, a później objadanie,
- spożywanie pokarmów typu fast food.

Na ryzyko wystąpienia otyłości mają również wpływ tryb życia i zbyt mała aktywność fizyczna, a niekiedy też czynniki psychiczne. Otyłość może mieć także podłoże genetyczne, związane np. z mutacją w genach, które zawierają informacje o budowie związków regulujących apetyt oraz tempo przemian metabolicznych. Otyłość jest niebezpieczna, ponieważ może powodować wiele chorób, w tym:

- choroby układu krążenia (nadciśnienie tętnicze, choroby serca, miażdżycę),
- choroby układu oddechowego,
- niektóre złośliwe nowotwory,
- cukrzycę typu II,
- choroby zwyrodnieniowe kości.

W profilaktyce otyłości ważne jest przestrzeganie podstawowych zasad żywienia, w tym zróżnicowanej i zbilansowanej diety. Niezwykle istotna jest również codzienna aktywność fizyczna.

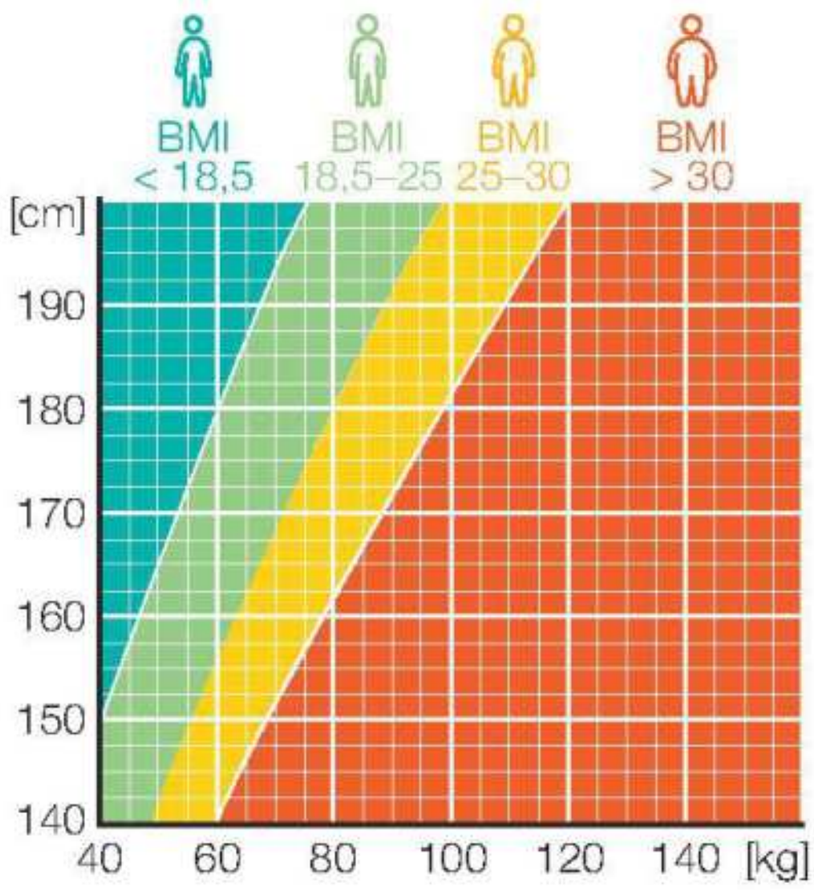


Zwiększenie aktywności fizycznej, np. przez bieganie lub jazdę na rowerze, jest, obok prawidłowej diety, głównym sposobem leczenia otyłości.

BMI – czym jest i jak je obliczyć?

BMI (ang. *body mass index*), czyli wskaźnik masy ciała, pokazuje zależność między masą ciała a wzrostem. Stosuje się go do określenia, czy masa ciała jest prawidłowa. Zakres wartości BMI został opracowany dla dorosłych i nie może być stosowany w przypadku dzieci i młodzieży.

$$\text{BMI} = \frac{\text{masa ciała [kg]}}{(\text{wzrost [m]})^2}$$



niedowaga – zwiększone ryzyko rozwoju chorób
prawidłowa waga – normalne ryzyko rozwoju chorób
nadwaga – zwiększone ryzyko rozwoju chorób
otyłość – wysokie ryzyko rozwoju wielu chorób

Anoreksja – jadłowstręt psychiczny

Anoreksja nazywana jest jadłowstrętem psychicznym, ponieważ charakteryzuje się zanikiem łaknienia, który wynika głównie z czynników psychicznych. Podstawowym objawem anoreksji jest spadek masy ciała poniżej prawidłowej wartości. Osoby z anoreksją głodzą się i obsesyjnie boją się otyłości. Charakterystyczne są dla nich również takie zachowania, jak:

- wykonywanie intensywnych ćwiczeń,
- prowokowanie wymiotów lub używanie środków przeczyszczających,
- ukrywanie przed bliskimi faktu niejedzenia,
- ciągłe kontrolowanie swojego wyglądu, np. częste ważenie i mierzenie się.

Skutkami anoreksji są m.in.: zahamowanie miesiączkowania, pojawiające się naprzemiennie biegunki i zaparcia, zaburzenia krążenia, zanik mięśni, zmniejszenie odporności, wypadanie włosów oraz zmiany w wyglądzie skóry.

Bulimia – wilczy głód

Bulimia, zwana również wilczym głodem, polega na występowaniu okresów wzmożonego apetytu, w których chory spożywa ogromne porcje jedzenia w krótkim czasie. Obfite posiłki wywołują często poczucie winy i lęk przed przytyciem, dlatego osoby cierpiące na bulimię prowokują wymioty, stosują środki przeczyszczające lub głodówkę. Niekiedy też intensywnie ćwiczą. Mimo spożywania ogromnych ilości pokarmu osoby z bulimią zwykle mają prawidłową masę ciała, co utrudnia rozpoznanie występowania u nich tego zaburzenia. Do skutków bulimii należą m.in.: odwodnienie, zaparcia, osłabienie pracy serca i wątroby, obrzęk ślinianek, uszkodzenia nabłonka przełyku i szkliwa zębów.

Czy wiesz, że...

Obsesyjne dbanie o zdrowy skład pożywienia to zaburzenie nazywane ortoreksją.

Polecenia kontrolne

1. Opracuj jednodniowy zestaw posiłków zgodny z zasadami racjonalnego żywienia.
2. Zaproponuj pięć sposobów, które pozwolą zmniejszyć ryzyko wystąpienia otyłości u nastolatków.
3. Wyjaśnij, czym różni się bulimia od anoreksji.
4. Oblicz indeks BMI dla osoby dorosłej, która ma wzrost 164 cm i masę ciała 49 kg. Określ, czy u tej osoby występuje otyłość.

4.7. Choroby układu pokarmowego

Zwróć uwagę na:
- metody diagnostyki chorób układu pokarmowego,
- diagnostykę, profilaktykę i leczenie zespołu złego wchłaniania, choroby Crohna oraz raka żołądka i raka jelita grubego.

Przestrzeganie zasad racjonalnego odżywiania się wspomaga działanie układu pokarmowego i pozwala uniknąć wielu dolegliwości. Jednak niektóre choroby tego układu rozwijają się niezależnie od stosowanej diety i prowadzonego trybu życia – dochodzi do nich np. w wyniku zakażeń bakteryjnych.

Diagnostyka chorób układu pokarmowego

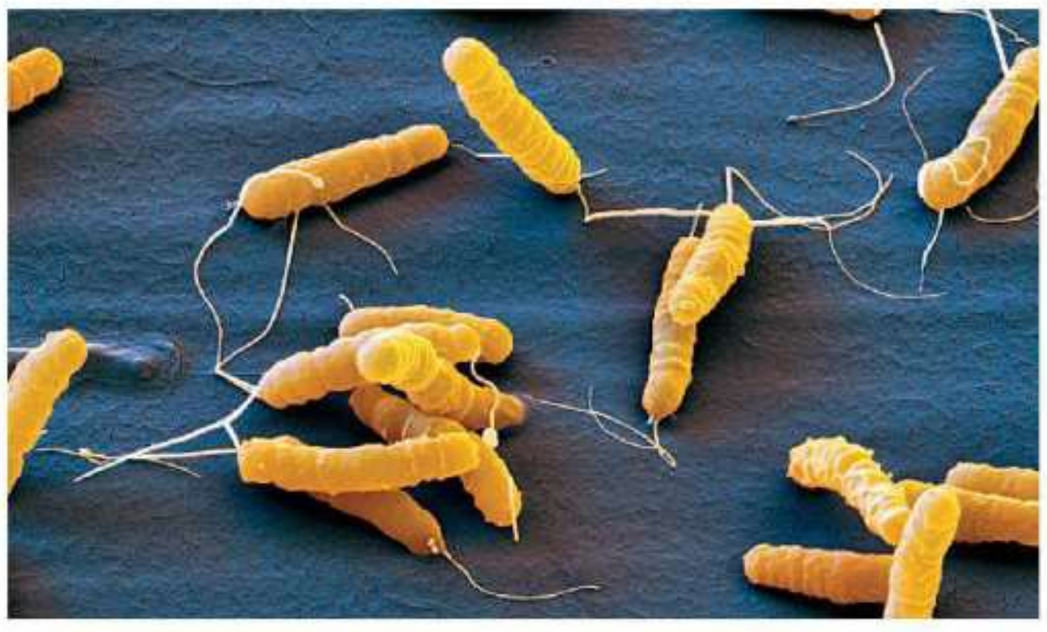
Choroby układu pokarmowego często charakteryzują się niespecyficznymi objawami, np. bólem brzucha czy nudnościami. Wykorzystanie odpowiednich metod diagnostycznych, takich jak badanie próbek krwi i kału, USG czy endoskopia, pozwala na precyzyjne określenie przyczyn dolegliwości układu pokarmowego i zastosowanie skutecznych metod leczenia.

Badania krwi

Wykonanie badań krwi jest pierwszym krokiem w diagnostyce medycznej. Morfologia krwi, która ma na celu analizę ilościową i jakościową elementów morfotycznych krwi, pozwala dokonać oceny ogólnego stanu zdrowia organizmu. Często jednak potrzebne jest przeprowadzenie bardziej szczegółowych i specjalistycznych badań. Na przykład w sytuacji podejrzenia raka żołądka lub raka jelita grubego wykonuje się test na obecność substancji specyficznych dla danego rodzaju nowotworu, tzw. markerów nowotworowych. Dzięki temu możliwe jest zdiagnozowanie choroby nawet w bardzo wczesnym stadium rozwoju, co zwiększa szanse na wyleczenie. Choroby o podłożu autoimmunologicznym, np. celiakię, można wykryć poprzez wykonanie testu na obecność określonych przeciwciał w osoczu krwi. Innym ważnym badaniem krwi w diagnostyce chorób układu pokarmowego jest tzw. **próba wątrobowa**, czyli ocena aktywności enzymów produkowanych przez komórki wątroby oraz pomiar stężenia bilirubiny – barwnika żółciowego powstającego w skutek rozpadu erytrocytów. Gdy wątroba jest uszkodzona (np. w wyniku wirusowego zapalenia wątroby), substancje te przedostają się do krwi – im większe uszkodzenie wątroby, tym wyższa aktywność tych enzymów i zawartość bilirubiny.

Badania kału

Badania próbek kału wykonuje się w celu:
- wykrycia pasożytów lub ich jaj,
- wykazania obecności określonych bakterii lub wirusów oraz oceny mikrobiomu jelit,
- wykrycia sacharydów, białek lub tłuszczów, które mogą świadczyć o zaburzeniach wchłaniania substancji w jelitach, chorobach trzustki lub wątroby,
- stwierdzenia obecności krwi utajonej, która może świadczyć o rozwoju raka jelita grubego lub krwawieniu z przewodu pokarmowego.



Zakażenie bakteriami *Helicobacter pylori* (obraz spod SEM), które prowadzi do choroby wrzodowej żołądka i dwunastnicy, można wykryć dzięki badaniom krwi i kału lub pobraniu wycinka błony śluzowej żołądka podczas endoskopii.

Badanie USG jamy brzusznej

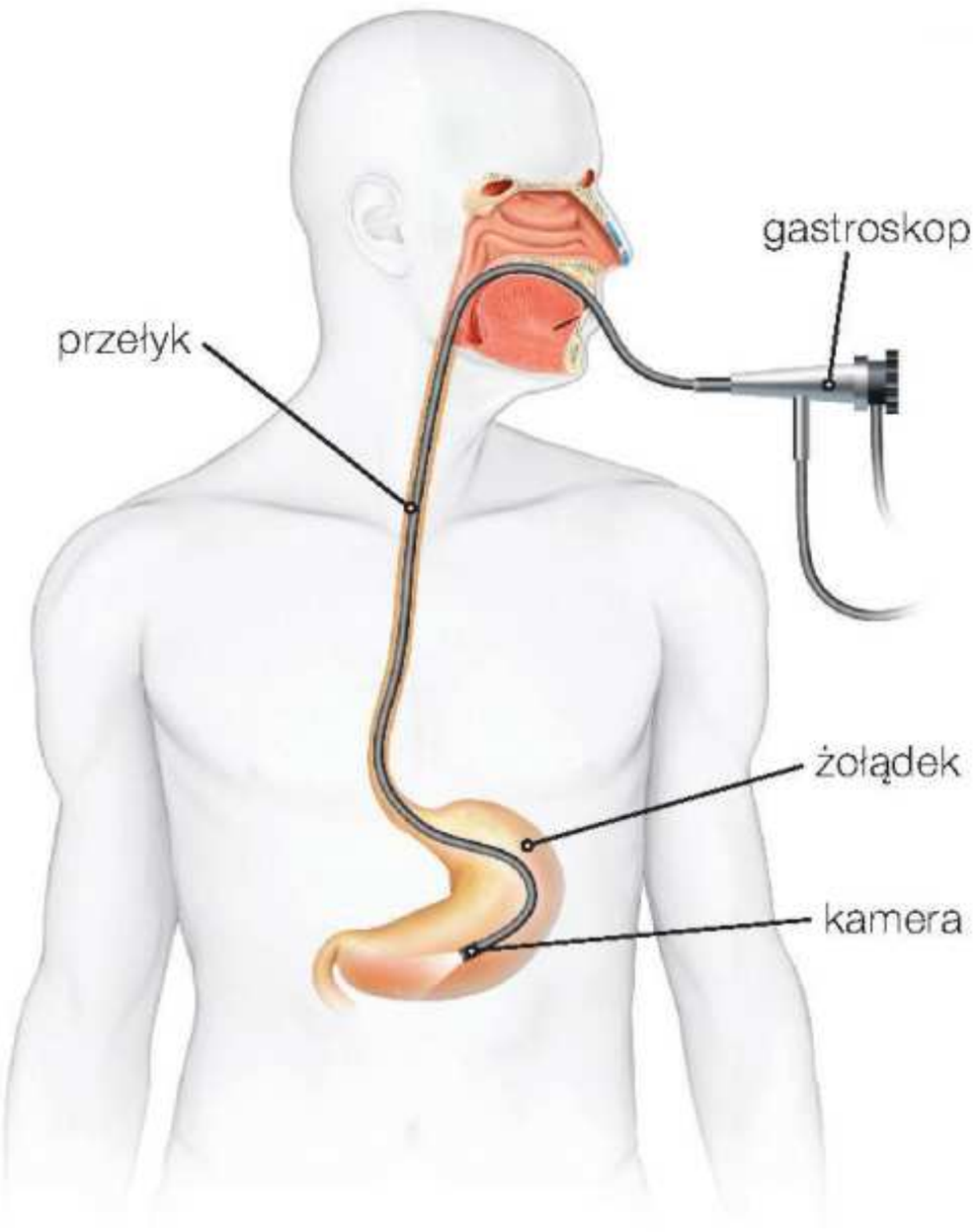
Podczas badania ultrasonograficznego (USG) urządzenie wysyła dźwięki o wysokiej częstotliwości (ultradźwięki) poprzez głowicę przyłożoną bezpośrednio do skóry pacjenta. Ultradźwięki odbijają się od narządów jamy brzusznej i są rejestrowane przez odbiornik, dzięki czemu na monitorze uzyskuje się obraz narządów wewnętrznych, które znajdują się pod powłokami brzusznymi. Pozwala to na wykrycie ewentualnych nieprawidłowości, np. powiększenia niektórych narządów lub obecności zmian nowotworowych, już w trakcie badania.



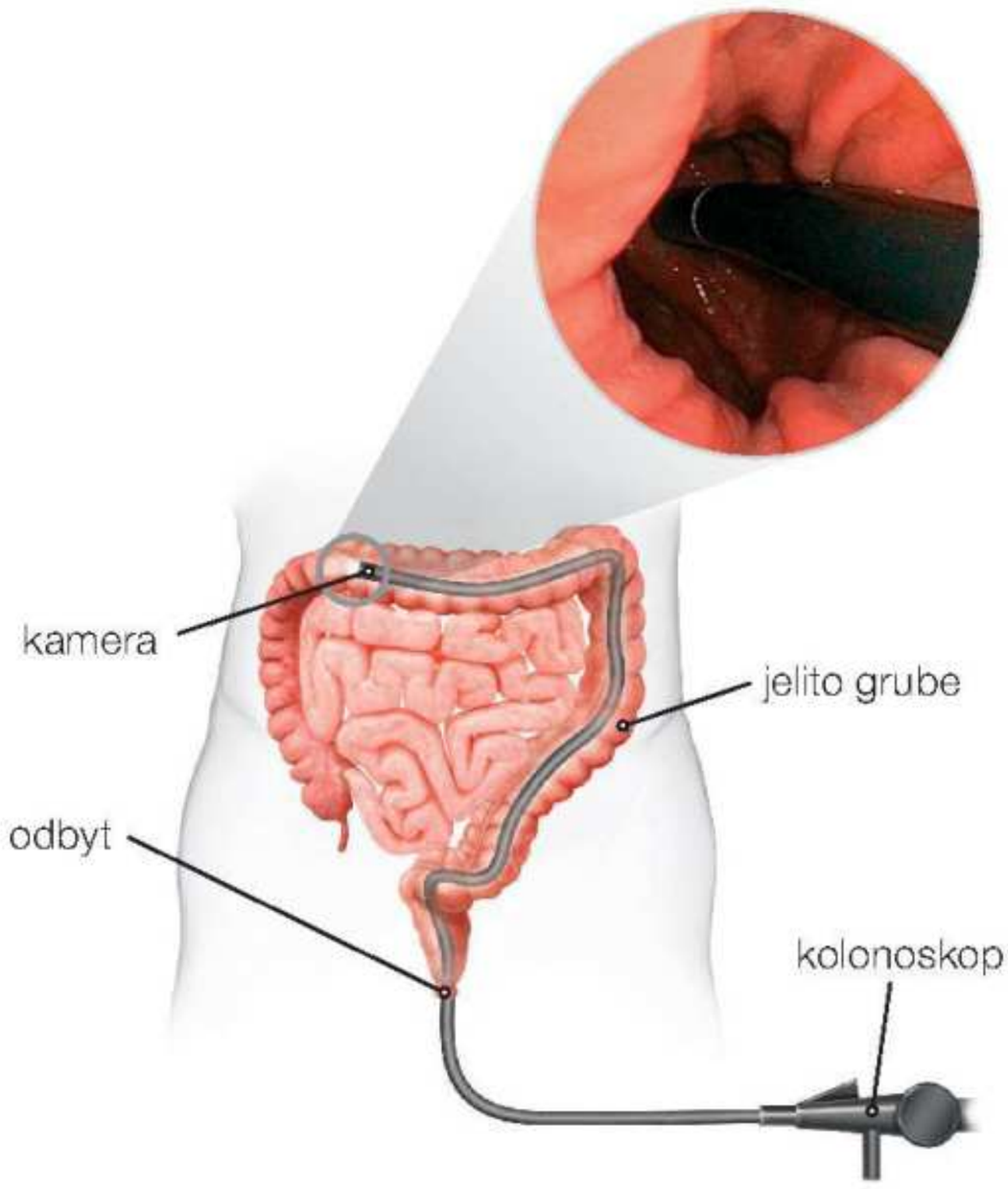
Badanie USG, w odróżnieniu od badania RTG, jest całkowicie bezpieczne dla pacjenta – ultradźwięki nie mają działania mutagennego.

Badania endoskopowe

Badania endoskopowe polegają na wprowadzeniu do wnętrza ciała sondy zakończonej kamerą ze źródłem światła. Umożliwiają one nie tylko obserwację wnętrza przewodu pokarmowego, lecz także pobieranie próbek tkanek czy wykonywanie prostych zabiegów, takich jak zatamowanie niewielkiego krwawienia i usunięcie polipów. Przykładami badań endoskopowych wykorzystywanych w diagnostyce chorób układu pokarmowego są **gastroskopia** i **kolonoskopia**.



W gastroskopii przewód z kamerą, tzw. gastroskop, jest wprowadzany do początkowych odcinków układu pokarmowego: przełyku, żołądka i dwunastnicy. Badanie to pozwala m.in. na wykrycie wrzodów czy nowotworu żołądka.



W kolonoskopii rurka z kamerą, czyli tzw. kolonoskop, jest wprowadzana przez odbyt i umożliwia obserwację wnętrza jelita grubego. Kolonoskopia jest wykorzystywana m.in. do diagnozowania nowotworów jelita grubego i choroby Crohna.

☑ Choroby układu pokarmowego

■ Choroby pasożytnicze

Najbardziej powszechne pasożyty wewnętrzne powodujące choroby to płazińce oraz nicienie. Zakażenie nimi następuje drogą pokarmową.

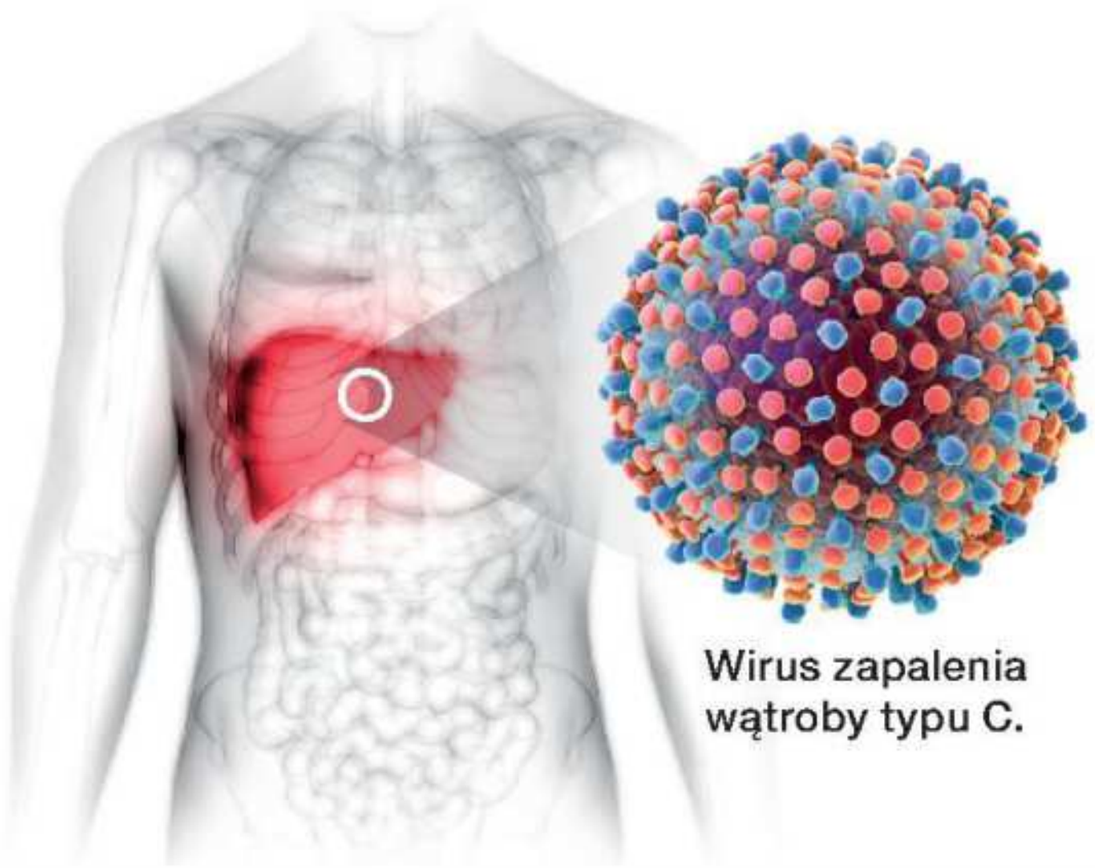
Pasożyty powodujące choroby

tasiemce	glista ludzka	włosień kręty	owsik ludzki
			
Profilaktyka: spożywanie mięsa przebadanego weterynaryjnie i poddanego obróbce cieplnej, przestrzeganie zasad higieny.	**Profilaktyka:** przestrzeganie zasad higieny, m.in. mycie rąk, owoców i warzyw.	**Profilaktyka:** spożywanie mięsa przebadanego weterynaryjnie i poddanego obróbce cieplnej.	**Profilaktyka:** przestrzeganie zasad higieny, częste mycie rąk, regularna zmiana odzieży i pościeli.

■ Choroby wirusowe

Wirusowe zapalenie wątroby (WZW)

Wyróżnia się trzy typy tej choroby, w zależności od typu wirusa, który je powoduje. Są to choroby przewlekłe, prowadzące do marskości wątroby, czyli nieodwracalnego uszkodzenia tego narządu. Wynika ono ze zwłóknienia miąższu wątroby, co utrudnia przepływ krwi. Szczególnie groźne jest wirusowe zapalenie wątroby typu C (WZW C), ponieważ nie można się przeciw niemu zaszczepić.



Wirus zapalenia wątroby typu C.

WZW A	WZW B	WZW C
• **Przyczyna:** zakażenie wirusem zapalenia wątroby typu A (HAV). • **Drogi zakażenia:** głównie droga pokarmowa, znacznie rzadziej droga płciowa lub przez krew. • **Profilaktyka:** przestrzeganie zasad higieny, szczepienia ochronne.	• **Przyczyna:** zakażenie wirusem zapalenia wątroby typu B (HBV). • **Drogi zakażenia:** przez krew, droga płciowa. • **Profilaktyka:** unikanie kontaktu z krwią osób zakażonych, bezpieczne zachowania seksualne, szczepienia ochronne.	• **Przyczyna:** zakażenie wirusem zapalenia wątroby typu C (HCV). • **Drogi zakażenia:** przez krew, droga płciowa. • **Profilaktyka:** unikanie kontaktu z krwią osób zakażonych, bezpieczne zachowania seksualne.

Choroby bakteryjne

Próchnica

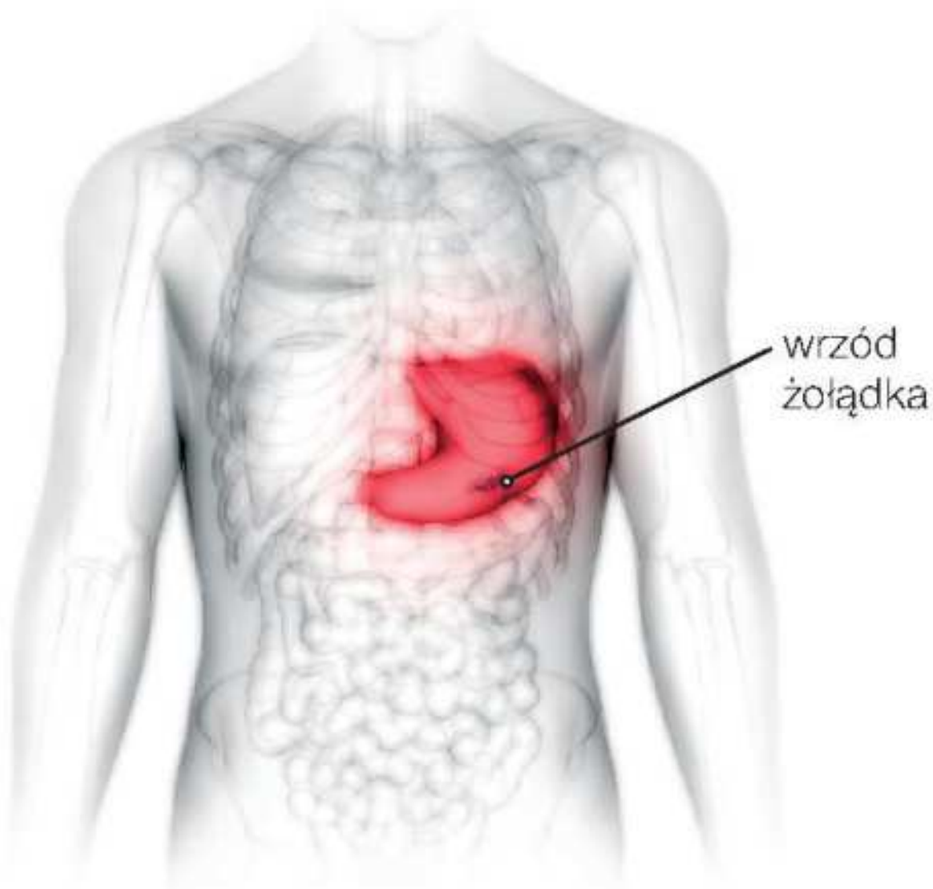
- **Przyczyna:** bakterie występujące na powierzchni zębów i rozkładające cukry.
- **Droga zakażenia:** bakterie powodujące próchnicę naturalnie występują w jamie ustnej.
- **Profilaktyka:** dieta bogata w wapń, fosfor, fluor i witaminę D_3, ograniczenie spożycia cukrów, mycie zębów, kontrolne wizyty u stomatologa co najmniej dwa razy w roku.



Bakterie próchnicotwórcze wytwarzają kwas, który uszkadza szkliwo zęba. Dzięki temu mogą dotrzeć do miazgi zęba, co powoduje ból. Jeżeli dostaną się do naczyń krwionośnych, to rozprzestrzeniają się po organizmie i uszkadzają inne tkanki.

Choroba wrzodowa żołądka i dwunastnicy

- **Przyczyna:** głównie zakażenie bakterią *Helicobacter pylori*. Na rozwój choroby mają wpływ także takie czynniki, jak:
  - palenie papierosów,
  - stosowanie leków przeciwzapalnych i przeciwbólowych,
  - stres,
  - niewłaściwe odżywianie się.
- **Droga zakażenia:** droga pokarmowa.
- **Profilaktyka:** polega na unikaniu stresu, nadmiernego przyjmowania leków przeciwbólowych i przeciwzapalnych oraz niepaleniu papierosów.



Bakterie *Helicobacter pylori* wytwarzają substancje wywołujące stan zapalny. Pod wpływem kwasu solnego powstaje drobna rana, która stopniowo powiększa się i pogłębia, tworząc owrzodzenie.

Salmonelloza

- **Przyczyna:** zakażenie bakterią z rodzaju *Salmonella*.
- **Droga zakażenia:** głównie droga pokarmowa (np. spożycie potraw zawierających surowe jaja lub niewłaściwie przygotowane mięso).
- **Profilaktyka:** właściwe przechowywanie i przyrządzanie produktów spożywczych oraz przestrzeganie zasad higieny.



Bakterie z rodzaju *Salmonella* mogą rozwijać się w niewłaściwie przechowywanych produktach spożywczych zawierających surowe jaja, np. lodach. Objawy zatrucia to m.in. wymioty, biegunka i bóle brzucha.

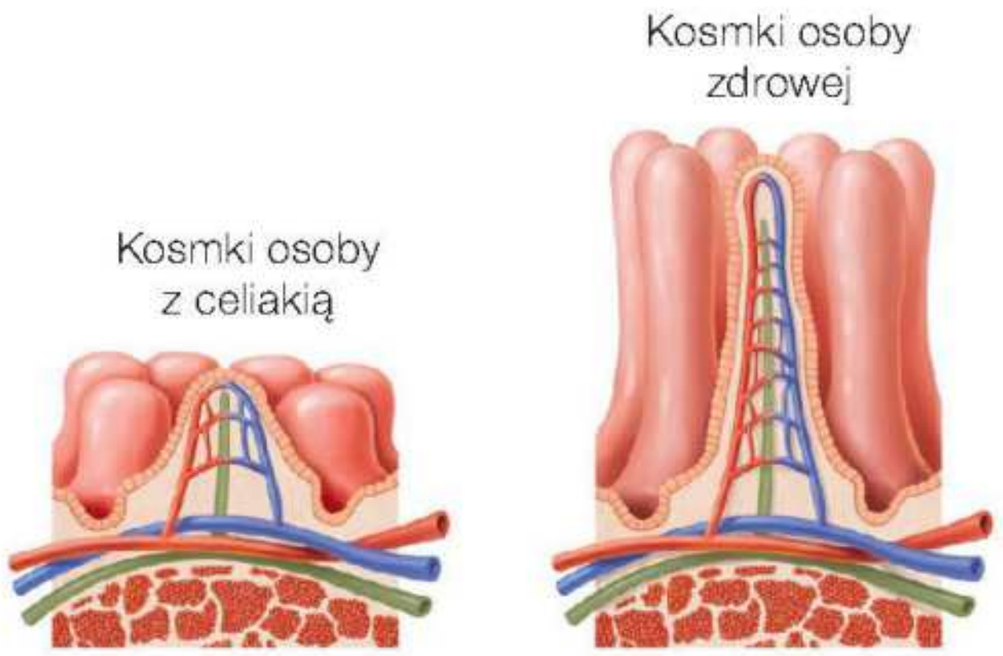
Te choroby warto znać

Zespół złego wchłaniania

To zespół objawów będących następstwem zaburzeń trawienia lub wchłaniania albo ich kombinacji. Upośledzenie wchłaniania może dotyczyć jednego składnika odżywczego (np. nietolerancja laktozy) lub wielu składników odżywczych (np. celiakia).

- **Przyczyny:** bardzo zróżnicowane. Do najczęstszych należą: przewlekłe infekcje jelita spowodowane m.in. przez pasożyty i mikroorganizmy chorobotwórcze, zapalenie trzustki lub wątroby, nietolerancja laktozy, celiakia.
- **Profilaktyka:** ze względu na złożone przyczyny trudno jest zapobiec rozwojowi choroby. Ważne jest, aby nie lekceważyć objawów i konsultować się z lekarzem.
- **Objawy:** utrata masy ciała, biegunki, wzdęcia, niedokrwistość.

Diagnostyka:
- badanie krwi,
- badanie kału,
- USG jamy brzusznej,
- gastroskopia i kolonoskopia z pobraniem próbek tkanek,
- testy przesiewowe na zaburzenie wchłaniania.



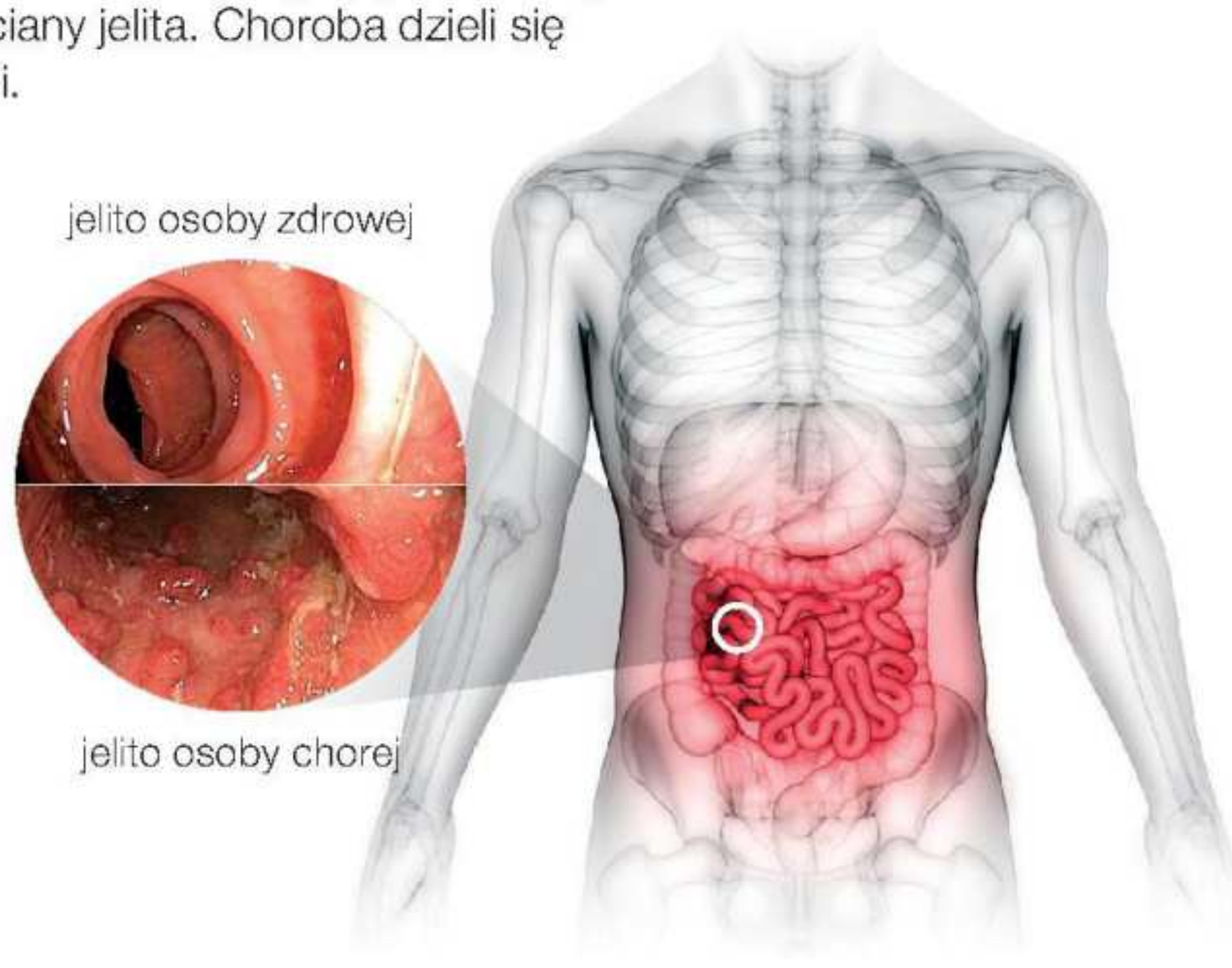
Zaburzenia wchłaniania występują m.in. w wyniku zniszczenia kosmków jelitowych, do którego dochodzi w celiakii. W chorobie tej, w efekcie nadmiernej reakcji alergicznej na gluten (mieszanina białek występująca w ziarnach niektórych zbóż, np. pszenicy), organizm niszczy własne komórki.

Choroba Crohna (choroba Leśniowskiego–Crohna)

Choroba Crohna to przewlekła choroba zapalna przewodu pokarmowego, najczęściej jelita cienkiego. Miejsca zmienione chorobowo występują na zmianę z miejscami zdrowymi i obejmują całą grubość ściany jelita. Choroba dzieli się na okresy z gwałtownymi lub słabszymi objawami.

- **Przyczyny:** m.in. czynniki genetyczne, infekcje, czynniki autoimmunologiczne, niewłaściwe odżywianie się, palenie papierosów i stres.
- **Profilaktyka:** ze względu na złożone przyczyny trudno jest zapobiec rozwojowi choroby. Ważne jest, aby nie lekceważyć objawów i konsultować się z lekarzem.
- **Objawy:** ból brzucha, biegunka, stan zapalny, wymioty, wzdęcia, krew w stolcu.

Diagnostyka:
- ogólne badanie krwi,
- USG jamy brzusznej,
- prześwietlenie rentgenowskie z kontrastem,
- tomografia komputerowa,
- gastroskopia lub kolonoskopia z pobraniem próbek tkanek.



Porównanie wyglądu jelita cienkiego osoby zdrowej i osoby cierpiącej na chorobę Crohna – widoczne są owrzodzenia (fotografia wykonana podczas endoskopii).

Choroby nowotworowe układu pokarmowego

Choroby nowotworowe mogą dotyczyć różnych narządów układu pokarmowego. Najczęściej występują jednak **rak żołądka** oraz **rak jelita grubego**. Wiele chorób nowotworowych związanych z układem pokarmowym długo nie daje żadnych objawów lub są one bagatelizowane, dlatego ważne są profilaktyka i systematyczne badania kontrolne.

- **Przyczyny:** zmiany w materiale genetycznym, powodujące niekontrolowane dzielenie się komórek. Na wystąpienie i rozwój choroby mają też wpływ tzw. **czynniki ryzyka**:

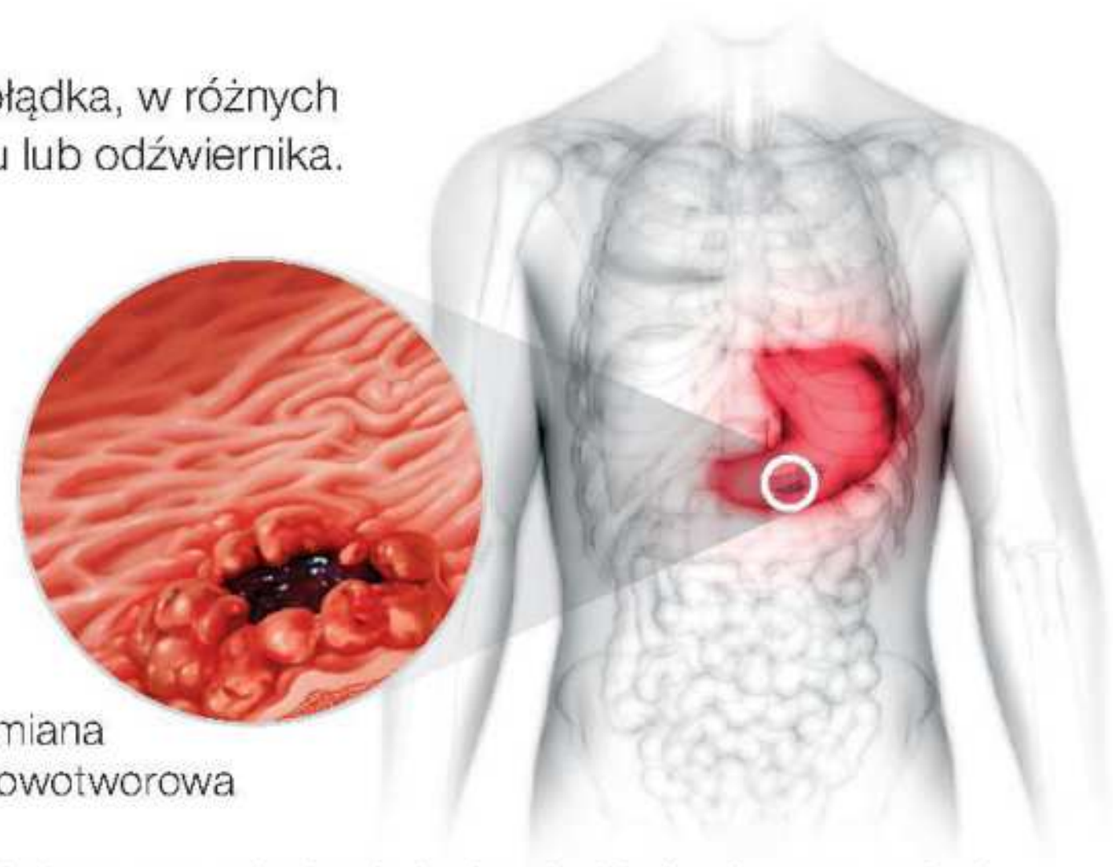


Rak żołądka

Rak żołądka rozwija się najczęściej w błonie śluzowej żołądka, w różnych jego częściach, np. w trzonie żołądka, w pobliżu wpustu lub odźwiernika.

- **Profilaktyka:** leczenie zakażenia *Helicobacter pylori*, kontrola i leczenie owrzodzeń żołądka, zmniejszenie czynników ryzyka, np. odpowiednia dieta, niepalenie papierosów, ograniczenie spożywania alkoholu.
- **Objawy:** ból brzucha i zgaga, brak apetytu, utrata masy ciała, wymioty.

Diagnostyka:
– prześwietlenie rentgenowskie z kontrastem,
– USG, tomografia komputerowa albo rezonans magnetyczny,
– gastroskopia z pobraniem próbek tkanek.


zmiana nowotworowa

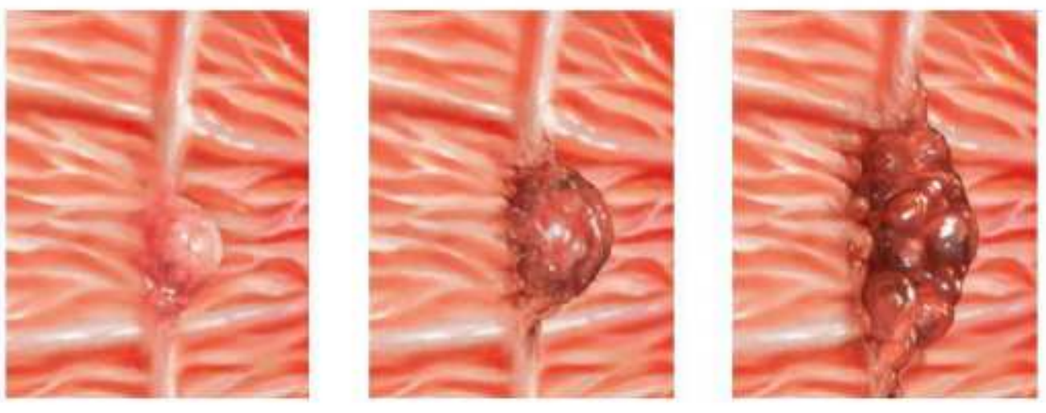
Nieleczone zakażenie bakterią *Helicobacter pylori* zwiększa ryzyko rozwoju raka żołądka.

Rak jelita grubego

Rak jelita grubego najczęściej rozwija się w okrężnicy i odbytnicy.

- **Profilaktyka:** zmniejszenie czynników ryzyka, m.in. niepalenie papierosów, dieta zawierająca dużo błonnika, utrzymywanie prawidłowej masy ciała, zdrowy tryb życia.
- **Objawy:** ból brzucha, wzdęcia, biegunka, krew w stolcu.

Diagnostyka:
– analiza próbek kału – wykrywanie krwi utajonej
– badanie *per rectum* (przez odbytnicę),
– zdjęcia rentgenowskie z użyciem kontrastu,
– kolonoskopia i pobieranie próbek tkanek.



Kolejne stadia rozwoju nowotworu w ścianie jelita grubego. Im wcześniej zostanie on wykryty, tym większa szansa na wyleczenie i uniknięcie przerzutów na inne narządy.

Nowoczesne metody endoskopii

W wyniku rozwoju technologicznego i postępującej miniaturyzacji sprzętu pojawiają się coraz nowocześniejsze metody badań endoskopowych, do których należą m.in. endoskopia kapsułkowa i laparoskopia.

Endoskopia kapsułkowa

Polega na połknięciu przez pacjenta kapsułki endoskopowej zawierającej miniaturowy aparat, który przechodząc przez przewód pokarmowy, wykonuje tysiące zdjęć. Zdjęcia są najpierw przesyłane do urządzenia znajdującego się na brzuchu pacjenta, a następnie analizowane przez lekarza na ekranie komputera. Tę metodę wykorzystuje się do badania jelita cienkiego, którego obserwacja jest niemożliwa podczas innych badań endoskopowych. Nowoczesne modele tych kapsułek mogą nawet pobrać próbki tkanek do badań histopatologicznych.

Dowiedz się więcej



Endoskopia kapsułkowa może być wykorzystana m.in. do zdiagnozowania choroby Crohna.

Laparoskopia

Pozwala na zbadanie wnętrza jamy otrzewnowej przez wykonanie niewielkich nacięć w skórze i wprowadzenie do jej wnętrza laparoskopu, składającego się z kamery i źródła światła, a także innych potrzebnych narzędzi chirurgicznych. Wyróżnia się **dwa rodzaje laparoskopii – diagnostyczną**, która umożliwia m.in. ocenę stopnia zaawansowania chorób nowotworowych i pobranie wycinków tkanek, oraz **chirurgiczną**, która pozwala na wykonanie zabiegów, np. usuwanie wyrostka robaczkowego czy pęcherzyka żółciowego. Zaletą zabiegów wykonywanych laparoskopowo jest m.in. krótszy czas rekonwalescencji, zmniejszone ryzyko powikłań oraz mniejsze blizny niż w przypadku tradycyjnej chirurgii.



Podczas laparoskopii do jamy otrzewnowej wprowadza się narzędzia pozwalające na wykonanie zabiegu – w tym także kamerę, dzięki której pole operacyjne jest widoczne na monitorze.

Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij, czym jest próba wątrobowa, i podaj przykład choroby, którą można dzięki niej wykryć.
2. Opisz, w jaki sposób można uniknąć zarażenia się pasożytniczymi chorobami układu pokarmowego.
3. Wymień cztery czynniki ryzyka, które sprzyjają rozwojowi nowotworów układu pokarmowego.
4. Podaj przykład trzech badań diagnostycznych, dzięki którym można wykryć chorobę Crohna.

Podsumowanie

1 Składniki organiczne pokarmu

Sacharydy	Białka	Lipidy
• Budowa: składają się z jednej, dwóch lub wielu cząsteczek cukrów prostych. • Główna funkcja: energetyczna (stanowią najważniejsze źródło energii). • Występowanie: kasze, makarony, pieczywo, ziemniaki.	• Budowa: są polimerami zbudowanymi z połączonych ze sobą aminokwasów. • Główne funkcje: budulcowa, regulatorowa, enzymatyczna, transportowa. • Występowanie: mięso, przetwory mleczne, nasiona zbóż i roślin strączkowych.	• Budowa: są zbudowane najczęściej z glicerolu i kwasów tłuszczowych. • Główne funkcje: zapasowa, energetyczna. • Występowanie: oleje roślinne, smalec, słonina, śmietana.

2 Podział aminokwasów

Aminokwasy	
endogenne	egzogenne
• są wytwarzane przez organizm człowieka	• nie są wytwarzane przez organizm człowieka, muszą być przyjmowane z pokarmem

3 Podział białek

Białka	
pełnowartościowe	niepełnowartościowe
• zawierają wszystkie niezbędne aminokwasy egzogenne • są to głównie białka zwierzęce • występują np. w mleku, jajach, mięsie	• nie zawierają wszystkich niezbędnych aminokwasów egzogennych • są to białka roślinne • występują np. w nasionach fasoli, bobu i soi

4 **Niezbędne nienasycone kwasy tłuszczowe (NNKT)** – kwasy tłuszczowe, które nie są wytwarzane w organizmie człowieka i muszą być przyjmowane z pożywieniem. Ich głównym źródłem są ryby morskie i oleje roślinne. NNKT są potrzebne do budowy błon komórkowych, obniżają poziom cholesterolu we krwi, działają przeciwmiażdżycowo, wpływają korzystnie na układ krwionośny i skórę.

5 **Błonnik pokarmowy** – substancje, najczęściej pochodzenia roślinnego, które nie są trawione przez enzymy występujące w układzie pokarmowym. W jego skład wchodzą głównie celuloza, pektyny i ligniny. Źródłem błonnika są np. warzywa, owoce i mąka pełnoziarnista.

Błonnik pełni wiele funkcji, m.in.:

- wzmaga ruchy perystaltyczne,
- przyspiesza wędrówkę pokarmu przez przewód pokarmowy, co zapobiega zaparciom,
- chłonie wodę, zapewnia uczucie sytości,
- stanowi pożywienie dla mikrobiomu jelit,
- przyczynia się do obniżenia stężenia cholesterolu i glukozy we krwi,
- pomaga chronić organizm przed nowotworami żołądka i jelita grubego.

6 Charakterystyka wybranych witamin

Witamina	Funkcje	Skutki niedoboru	Występowanie
Witaminy rozpuszczalne w tłuszczach			
A	jest niezbędna do prawidłowego widzenia oraz do funkcjonowania nabłonków, wpływa na wzrost i rozwój organizmu	kurza ślepota, łuszczenie się nabłonków, zaburzenia wzrostu	nabiał, żółte i czerwone warzywa i owoce, wątroba, tran, jaja, masło, sery
D_3	nasila wchłanianie wapnia i fosforu z przewodu pokarmowego, powoduje odkładnie się wapnia i fosforu w kościach oraz zębach	u dzieci – krzywica, u dorosłych – osteoporoza (demineralizacja kości)	tran, jaja, tłuste ryby, wątroba, mleko i jego przetwory; jest wytwarzana w organizmie człowieka
E	zmniejsza ryzyko zachorowania na nowotwory, zapewnia prawidłową pracę mięśni, chroni ściany naczyń krwionośnych, wpływa na płodność	wczesne starzenie się skóry, zaburzenia płodności, niedokrwistość, osłabienie i zanik mięśni	oleje roślinne, migdały, wątroba, jaja, orzechy, nasiona
K	bierze udział w procesie krzepnięcia krwi	krwawienia, np. z dziąseł, nosa, jelit	wątroba, zielone warzywa, jest wytwarzana przez bakterie jelitowe
Witaminy rozpuszczalne w wodzie			
B_2	bierze udział w oddychaniu tlenowym i syntezie hemoglobiny	zajady w kącikach ust, łysienie, łojotoki skórne	drożdże, wątroba, mięso, jaja, mleko i jego przetwory, grzyby
B_3 (PP)	bierze udział w oddychaniu tlenowym, zapewnia prawidłową pracę układu pokarmowego i nerwowego	pękanie i łuszczenie skóry, biegunka, otępienie	mięso, drożdże, ziarna zbóż, kiełki, mleko
B_6	uczestniczy w oddychaniu tlenowym i produkcji hemoglobiny	drgawki, apatia, obniżenie nastroju, anemia	ziarna zbóż, mięso, drożdże, orzechy, jaja, wątroba, fasola
Biotyna (H)	jest potrzebna do syntezy kwasów tłuszczowych, wpływa na prawidłowy stan skóry	wypadanie włosów, łuszczenie się skóry, bóle mięśni	rośliny strączkowe, drożdże, otręby, wątroba; jest wytwarzana przez bakterie jelitowe
Kwas foliowy	uczestniczy w biosyntezie kwasów nukleinowych i produkcji krwinek, wpływa na formowanie się układu nerwowego u płodu	większe prawdopodobieństwo urodzenia dziecka z wadą układu nerwowego, niedokrwistość	drożdże, zielone warzywa, ziarna zbóż, orzechy; jest wytwarzany przez bakterie jelitowe
B_{12}	reguluje proces powstawania krwinek, uczestniczy w biosyntezie kwasów nukleinowych	anemia złośliwa, uszkodzenia układu nerwowego	wątroba, jaja, mięso, ryby; jest wytwarzana przez bakterie jelitowe
C	wzmacnia odporność, ułatwia gojenie się ran, ułatwia wchłanianie żelaza	szkorbut, m.in. owrzodzenie i krwawienie dziąseł, wypadanie zębów, obniżona odporność	owoce (np. owoce cytrusowe, czarna porzeczka), warzywa liściaste, kiszonki

7 Podział składników mineralnych

Składniki mineralne

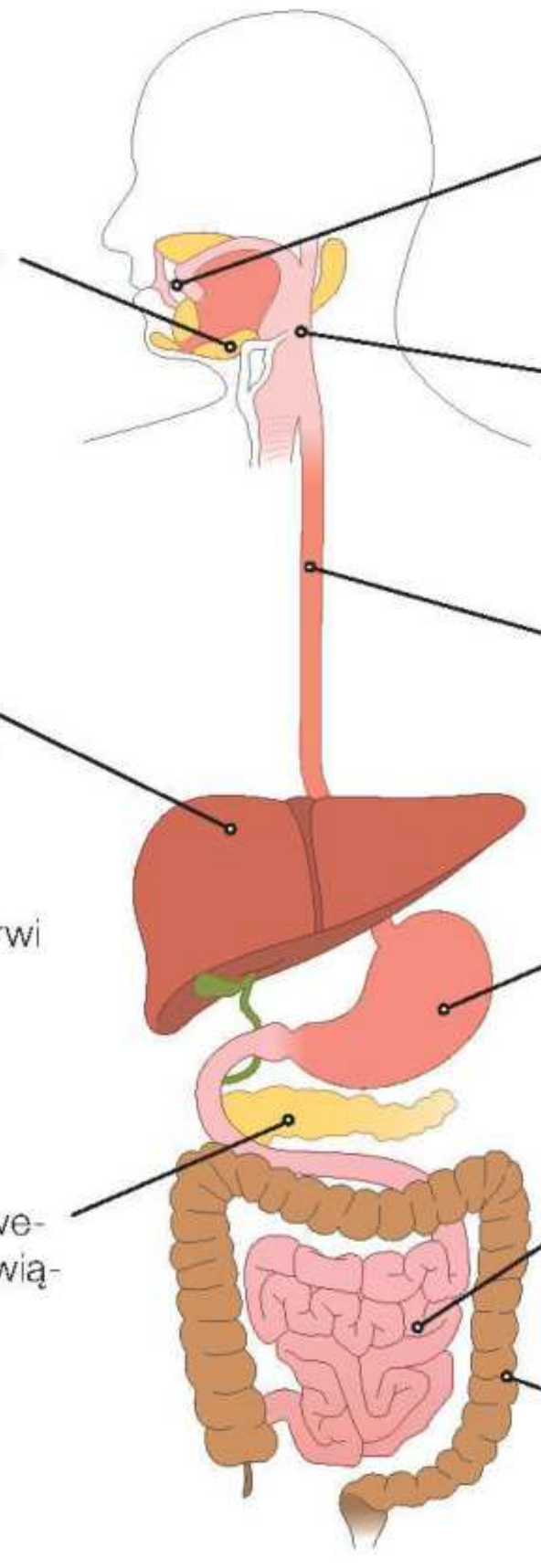
makroelementy	mikroelementy
Pierwiastki, które stanowią 0,01% lub więcej suchej masy ciała. Należą do nich pierwiastki biogenne (C, H, O, N, P, S) oraz wapń (Ca), magnez (Mg), potas (K), sód (Na) i chlor (Cl).	Pierwiastki, których ilość w organizmie jest niższa niż 0,01% suchej masy ciała. Zalicza się do nich m.in.: żelazo (Fe), miedź (Cu), jod (I), fluor (F) oraz kobalt (Co).

8 Budowa i funkcje układu pokarmowego

Układ pokarmowy

budowa	funkcje
• przewód pokarmowy składający się z kilku połączonych ze sobą odcinków • gruczoły trawienne, których wydzielina trafia do przewodu pokarmowego	• pobieranie pokarmu • trawienie pokarmu • wchłanianie strawionych cząstek pokarmowych • usuwanie niestrawionych resztek pokarmowych

9 Funkcje poszczególnych narządów układu pokarmowego



Ślinianki
- wydzielanie śliny, która nawilża pokarm, działa bakteriobójczo oraz zawiera enzym rozpoczynający trawienie cukrów

Jama ustna
- pobieranie, rozdrabnianie i nawilżanie pokarmu
- wstępne trawienie cukrów

Gardło
- transportowanie pokarmu do przełyku

Wątroba
- produkowanie żółci
- magazynowanie glikogenu
- magazynowanie witamin rozpuszczalnych w tłuszczach
- przekształcanie amoniaku w mocznik
- wytwarzanie białek osocza krwi
- rozkładanie hemoglobiny
- odtruwanie organizmu

Przełyk
- transportowanie pokarmu do żołądka

Żołądek
- odkażanie i magazynowanie pokarmu
- częściowe trawienie białek

Trzustka
- produkowanie soku trzustkowego, który zawiera enzymy trawiące cukry, białka i tłuszcze
- produkowanie hormonów: insuliny i glukagonu

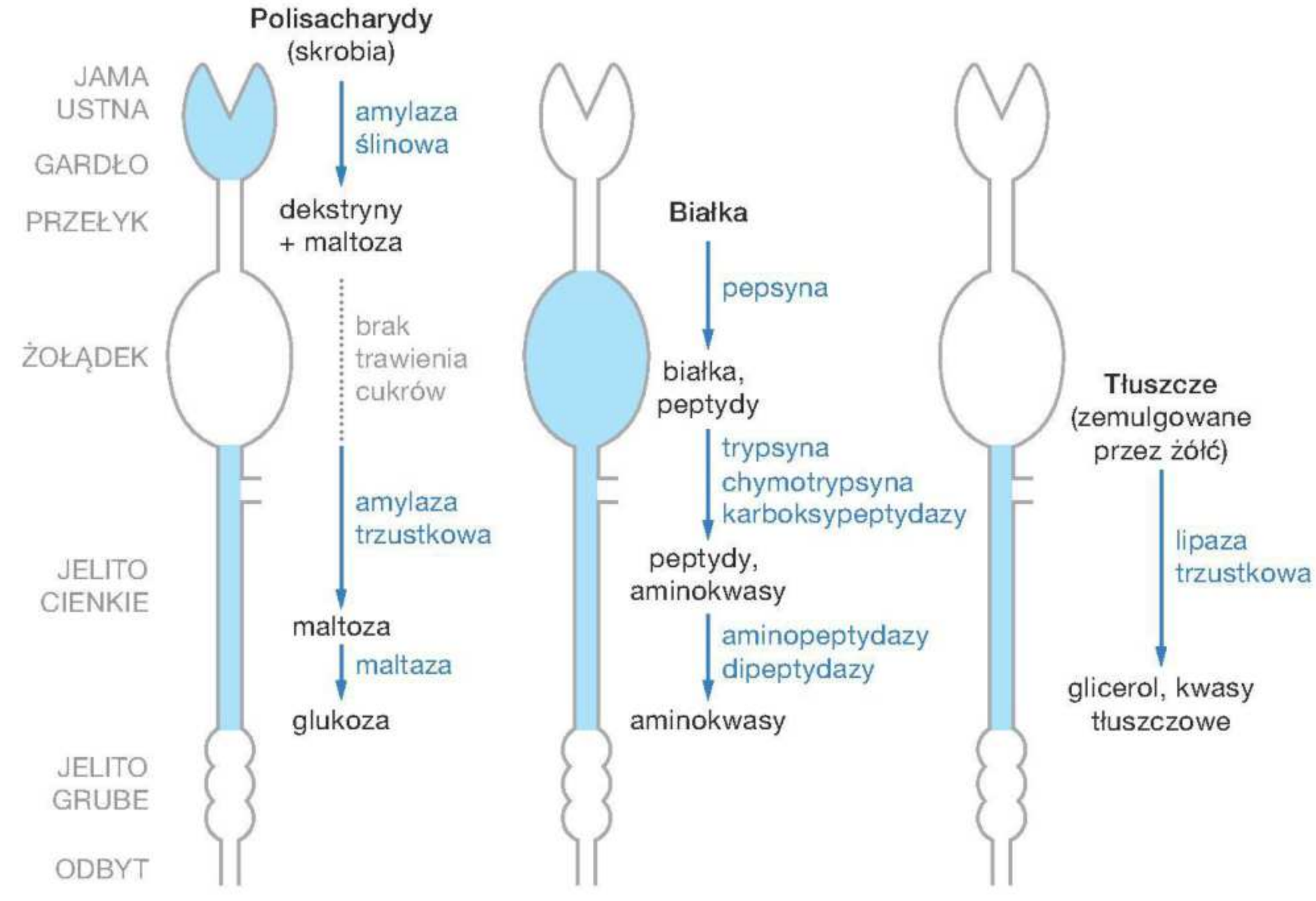
Jelito cienkie
- trawienie cukrów, białek i tłuszczów
- wchłanianie składników pokarmowych

Jelito grube
- wchłanianie wody i soli mineralnych, formowanie kału

10 Główne enzymy trawienne działające w przewodzie pokarmowym

Enzymy	Substraty	Produkty	Miejsce działania	Narządy / komórki produkujące enzym
Trawienie sacharydów				
Amylaza ślinowa	polisacharydy, np. skrobia	dekstryny, maltoza	jama ustna	ślinianki
Amylaza trzustkowa	dekstryny	maltoza	światło jelita cienkiego (głównie dwunastnicy)	trzustka
Maltaza	maltoza	glukoza	rąbek szczoteczkowy enterocytów	enterocyty
Sacharaza	sacharoza	glukoza, fruktoza	rąbek szczoteczkowy enterocytów	enterocyty
Trawienie białek				
Pepsyna	białka	peptydy	żołądek	komórki gruczołowe żołądka
Trypsyna	białka	peptydy	światło jelita cienkiego (głównie dwunastnicy)	trzustka
Chymotrypsyna	białka	peptydy	światło jelita cienkiego (głównie dwunastnicy)	trzustka
Karboksypeptydazy	peptydy	peptydy, aminokwasy	światło jelita cienkiego (głównie dwunastnicy)	trzustka
Aminopeptydazy	peptydy	peptydy, aminokwasy	rąbek szczoteczkowy enterocytów	enterocyty
Dipeptydazy	dipeptydy	aminokwasy	rąbek szczoteczkowy enterocytów	enterocyty
Trawienie tłuszczów				
Lipaza ślinowa	tłuszcze (naturalna emulsja)	glicerol, kwasy tłuszczowe	jama ustna	ślinianki
Lipaza żołądkowa	tłuszcze (naturalna emulsja)	glicerol, kwasy tłuszczowe	żołądek	komórki gruczołowe żołądka
Lipaza trzustkowa	tłuszcze (zemulgowane przez żółć)	glicerol, kwasy tłuszczowe	światło jelita cienkiego (głównie dwunastnicy)	trzustka

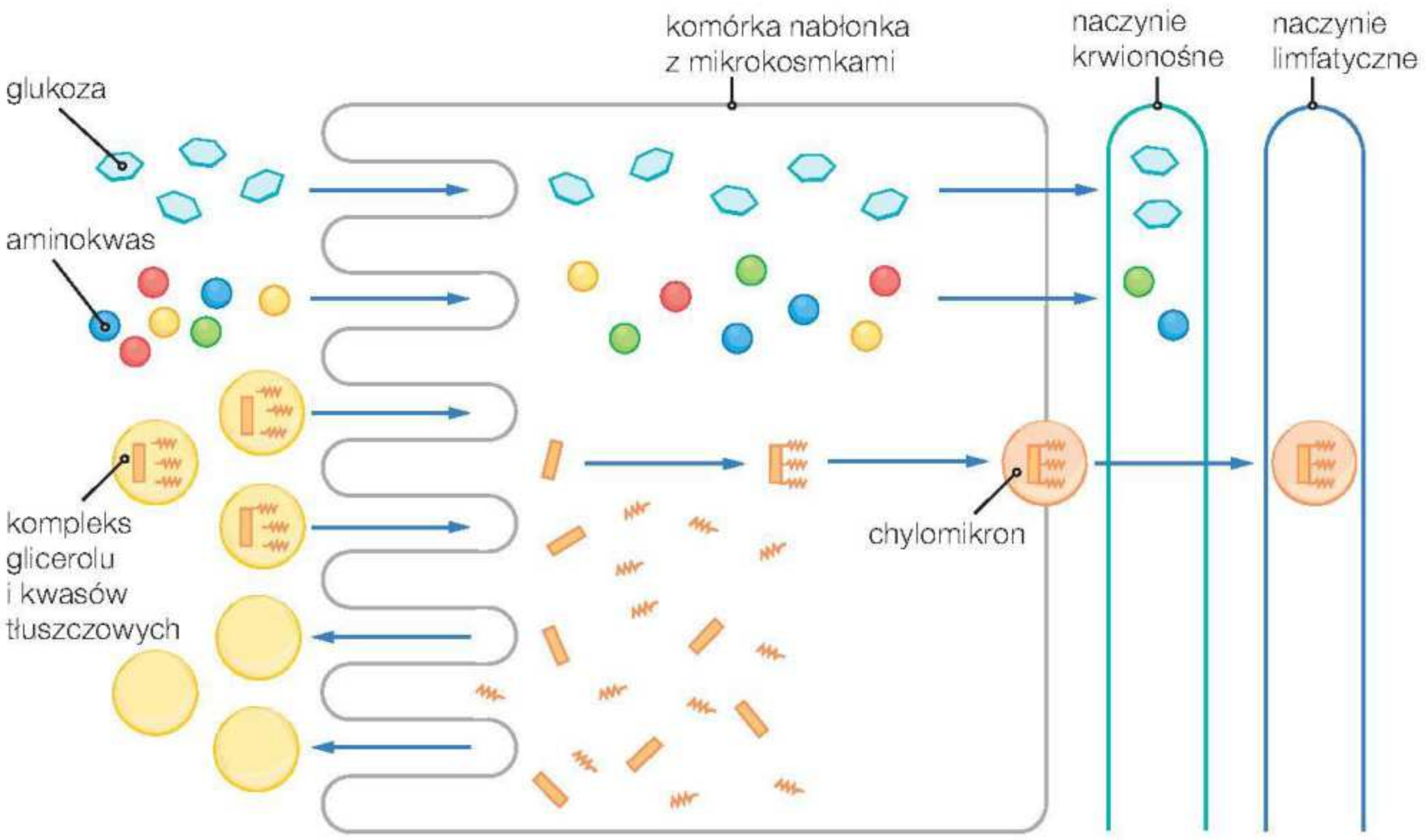
11 Trawienie i wchłanianie związków organicznych



Glukoza jest wchłaniana w jelicie cienkim do krwi.

Aminokwasy są wchłaniane w jelicie cienkim do krwi.

Kwasy tłuszczowe i **glicerol** w postaci chylomikronów są wchłaniane w jelicie cienkim do limfy.



Wchłanianie składników pokarmowych w kosmkach jelitowych.

12 Zaburzenia i choroby układu pokarmowego

Nazwa zaburzenia / choroby	Przyczyny	Objawy
Anoreksja	złożone, o podłożu psychicznym	utrata masy ciała, brak łaknienia, zahamowanie miesiączkowania, naprzemienne biegunki i zaparcia, zaburzenia krążenia, zanik mięśni, zmniejszenie odporności, wypadanie włosów, zmiany w wyglądzie skóry
Bulimia		napady wzmożonego apetytu, a następnie prowokowanie wymiotów, odwodnienie, zaparcia, osłabienie pracy serca i wątroby, obrzęk ślinianek, uszkodzenia nabłonka przełyku i szkliwa zębów
Otyłość	niewłaściwa dieta i styl życia, stres, uwarunkowania genetyczne	zbyt duża masa ciała w stosunku do wzrostu
Zespół złego wchłaniania	bardzo zróżnicowane, m.in. przewlekłe infekcje jelita, zapalenie trzustki lub wątroby, nietolerancja laktozy, celiakia	zróżnicowane w zależności od przyczyn, m.in. utrata masy ciała, biegunki, wzdęcia, niedokrwistość
Choroba Crohna	złożone, m.in. uwarunkowania genetyczne, infekcje, czynniki autoimmunologiczne, niewłaściwe odżywianie się, palenie papierosów oraz stres	ból brzucha, biegunka, stan zapalny, wymioty, wzdęcia, krew w stolcu
Choroby nowotworowe: rak żołądka i rak jelita grubego	uwarunkowania genetyczne, niewłaściwa dieta, niewielka aktywność fizyczna, palenie papierosów	utrata masy ciała, trudności w przełykaniu lub wypróżnianiu, przewlekłe bóle brzucha, brak apetytu

13 Wybrane metody diagnostyczne chorób układu pokarmowego

Metoda diagnostyczna	Opis	Zastosowanie
Badanie ogólne krwi	morfologia krwi, analiza procentowa poszczególnych składników krwi	ocena ogólnego stanu organizmu, występowania stanu zapalnego, alergii
Próby wątrobowe	analiza obecności enzymów wątrobowych we krwi	ocena funkcjonowania wątroby
Badanie kału	posiewy bakteryjne, test na krew utajoną, wykrywanie jaj i larw pasożytów	podejrzenie chorób nowotworowych, potwierdzenie występowania bakterii chorobotwórczych i pasożytów
USG	wykorzystanie obrazu fal dźwiękowych odbitych od narządu	pozwala wykryć nieprawidłowości oraz zmiany w budowie niektórych narządów wewnętrznych
Gastroskopia	wprowadzenie gastroskopu do przełyku, żołądka, a czasem też dwunastnicy	podejrzenie chorób górnych odcinków przewodu pokarmowego, np. wrzodów żołądka, nowotworów
Kolonoskopia	wprowadzenie kolonoskopu do jelita grubego	podejrzenia chorób końcowych odcinków przewodu pokarmowego, np. nowotworu jelita grubego, choroby Crohna

Sposób na zadania

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 W tabeli przedstawiono dane dotyczące przyjmowania kwasu foliowego i preparatów witaminowo-mineralnych przez ciężarne mieszkanki Łodzi.

	Kwas foliowy		Preparaty witaminowo-mineralne	
	n	%	n	%
Tak, jeszcze przed ciążą	23	20,72	31	27,93
Tak	61	54,95	55	49,55
Nie	27	24,32	25	22,52
Razem	111	100,00	111	100,00

n – liczba kobiet

Źródło: M. Godala, K. Pietrzak, M. Łaszek, A. Gawron-Skarbek, F. Szatko, *Zachowania zdrowotne łódzkich kobiet w ciąży. Cz. I. Sposób żywienia i suplementacja witaminowo-mineralna*, „Problemy Higieny i Epidemiologii" 2012, 93 (1), s. 38–42.

a) Skonstruuj wykres jednosłupkowy przedstawiający udział procentowy ciężarnych mieszkanek Łodzi, które: przyjmowały kwas foliowy przed ciążą, przyjmowały go w czasie ciąży i nie przyjmowały go w ogóle.

b) Określ znaczenie kwasu foliowego dla prawidłowego rozwoju płodu.

c) Podaj jeden skutek niedoboru jodu – mikroelementu, który jest składnikiem preparatów witaminowo-mineralnych przeznaczonych dla ciężarnych kobiet.

Wskazówki

Podpunkt a)

1. Przypomnij sobie, w jaki sposób należy konstruować wykresy jednosłupkowe i przedstawiać na nich dane. Informacje na ten temat znajdziesz w podręczniku do klasy 1 na s. 11.
2. Przeanalizuj dane umieszczone w tabeli i zastanów się, jak je wykorzystać, by skonstruować opisany w poleceniu wykres.
3. Pamiętaj o odpowiednim wyskalowaniu i opisaniu osi, a także o podaniu legendy do wykresu.
4. Skonstruuj wykres.

Podpunkt b)

1. Przypomnij sobie wiadomości dotyczące kwasu foliowego. Informacje na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 125.
2. Zastanów się, jakie są funkcje kwasu foliowego w rozwoju płodowym człowieka, a także jakie są skutki niedoboru tego pierwiastka dla rozwijającego się płodu.
3. Sformułuj odpowiedź.

Podpunkt c)

1. Przypomnij sobie wiadomości dotyczące znaczenia jodu dla organizmu człowieka. Informacje na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 129.
2. Zastanów się, jakie są funkcje jodu w organizmie człowieka, a także jakie są skutki niedoboru tego mikroelementu.
3. Sformułuj odpowiedź.

Zadania powtórzeniowe

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 „Błonnik pokarmowy nie stanowi zdefiniowanego chemicznie związku lub jednolitej grupy związków, ale jest kompleksem heterogennych substancji. Pojęcie to ulegało ciągłym modyfikacjom. Według definicji opracowanej przez American Association of Cereal Chemist (AACC) termin błonnik pokarmowy oznacza «jadalne części roślin, a także pochodne węglowodanów, odporne na trawienie i wchłanianie w jelicie cienkim człowieka oraz częściowo lub całkowicie fermentowane w jelicie grubym» […]. Zgodnie z tą definicją błonnik obejmuje wszystkie nieskrobiowe polisacharydy […]. Do błonnika zaliczana jest także lignina i substancje związane z nieskrobiowymi polisacharydami i ligniną […] oraz substancje występujące w świecie zwierzęcym, takie jak chityna […].
[…] Podczas przetwarzania żywności, w tym obróbki wstępnej oraz termicznej owoców i warzyw, na przykład warzyw kapustnych, zachodzą zmiany nie tylko cech sensorycznych, ale również zmiany zawartości błonnika pokarmowego i jego właściwości funkcjonalnych".

Zawartość błonnika pokarmowego w kapustach – białej, czerwonej i włoskiej – w zależności od obróbki cieplnej [% suchej masy]

Kapusta	Błonnik nierozpuszczalny ($\bar{x} \pm s$)	Błonnik rozpuszczalny ($\bar{x} \pm s$)	Błonnik całkowity ($\bar{x} \pm s$)
Kapusta biała			
surowa	21,15 ± 0,68	5,59 ± 0,76	26,74 ± 0,08
gotowana w wodzie	33,26 ± 0,22	9,66 ± 0,45	42,91 ± 0,67
gotowana na parze	17,02 ± 0,06	6,87 ± 0,74	23,89 ± 0,68
Kapusta czerwona			
surowa	25,16 ± 0,26	4,31 ± 0,78	29,46 ± 0,52
gotowana w wodzie	34,67 ± 0,90	17,17 ± 0,25	51,84 ± 0,99
gotowana na parze	21,52 ± 0,33	7,99 ± 0,09	29,51 ± 0,42
Kapusta włoska			
surowa	29,34 ± 1,03	8,00 ± 1,52	37,34 ± 2,44
gotowana w wodzie	36,34 ± 2,42	15,40 ± 2,03	51,73 ± 1,30
gotowana na parze	21,52 ± 0,79	6,99 ± 0,87	28,51 ± 1,66

Objaśnienia: $\bar{x}$ – wartość średniej arytmetycznej, s – wartość odchylenia standardowego.

Źródło: P. Komolka, D. Górecka, *Wpływ obróbki termicznej warzyw kapustnych na zawartość błonnika pokarmowego*, „Żywność. Nauka. Technologia. Jakość" 2012, 2 (81), s. 68–76.

a) Oceń, czy poniższe stwierdzenia dotyczące zawartości błonnika w kapuście są prawdziwe. Zaznacz P, jeśli stwierdzenie jest prawdziwe, albo F – jeśli jest fałszywe.

1.	Wartości odchylenia standardowego wskazują, że pomiary zawartości błonnika całkowitego były do siebie najbardziej zbliżone w przypadku surowej kapusty białej.	P	F
2.	Biorąc pod uwagę zawartość błonnika, spożywanie kapusty gotowanej na parze jest korzystniejsze niż spożywanie kapusty gotowanej w wodzie.	P	F
3.	W kapuście czerwonej obróbka cieplna bardziej wpływa na zawartość błonnika rozpuszczalnego niż na zawartość błonnika nierozpuszczalnego.	P	F

b) Spośród podanych niżej substancji wybierz i zaznacz te, które wchodzą w skład błonnika pokarmowego.

celuloza, fruktoza, galaktoza, pektyny, amylopektyna, hemiceluloza, amyloza, maltoza

c) Określ, czy grzyby stanowią źródło błonnika pokarmowego. Odpowiedź uzasadnij, uwzględniając budowę chemiczną ich ścian komórkowych.

d) Wyjaśnij, w jaki sposób błonnik pokarmowy przyczynia się do utrzymania prawidłowego stężenia glukozy we krwi.

2 W błonie śluzowej żołądka znajdują się gruczoły wydzielające sok żołądkowy. Jednym ze składników soku żołądkowego jest kwas solny, który bierze pośredni udział w trawieniu białek.

a) Wyjaśnij, na czym polega pośredni udział kwasu solnego w procesie trawienia białek pokarmowych w żołądku człowieka.

b) Określ, w jaki sposób ściany żołądka są zabezpieczone przed działaniem kwasu solnego.

c) Podaj, jaką funkcję, oprócz udziału w trawieniu białek, pełni kwas solny w żołądku człowieka.

3 W przewodzie pokarmowym, a w szczególności w jelicie grubym, występują liczne mikroorganizmy. Należące do nich bakterie jelitowe wykorzystują w procesach fermentacji niestrawione resztki pokarmu. Syntetyzują także niektóre niezbędne dla człowieka witaminy.

a) Wybierz i zaznacz punkt opisujący posiłek, którego składniki są szczególnie korzystne dla rozwoju mikrobiomu jelitowego. Uzasadnij swój wybór.

A. Kromka pszennego białego chleba z pastą z fasoli.
B. Owsianka z suszonymi morelami.
C. Jajecznica ze szczypiorkiem.
D. Ryba morska gotowana na parze.

b) Podaj nazwę witaminy rozpuszczalnej w tłuszczach, która jest wytwarzana przez bakterie jelitowe, a także określ jej funkcję.

4 Większość spożywanych przez człowieka tłuszczów jest trawiona w dwunastnicy przez lipazę trzustkową. Jednak niektóre tłuszcze, np. zawarte w mleku, są trawione już w jamie ustnej i żołądku przez lipazę ślinową i lipazę żołądkową.

a) Wyjaśnij, dlaczego niektóre z tłuszczów zawartych w pokarmie są trawione już w jamie ustnej i żołądku, a inne – dopiero w jelicie cienkim.

b) Podaj nazwę wiązania obecnego w cząsteczkach tłuszczów, które jest rozkładane przez lipazy, oraz nazwy produktów powstałych w wyniku tego rozkładu.

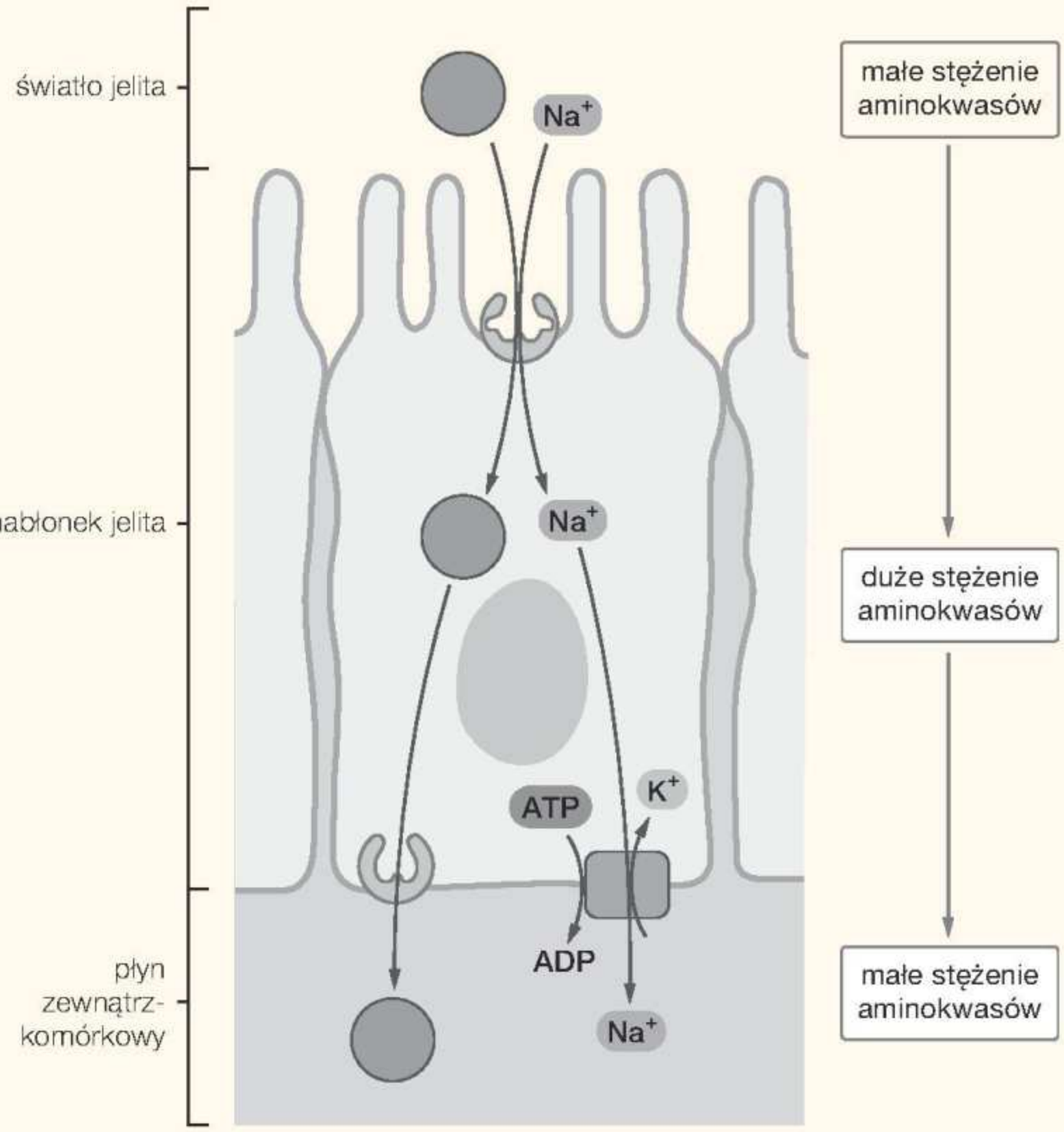
c) Określ, jaki odczyn środowiska – kwasowy, zasadowy czy obojętny – jest niezbędny, aby lipaza żołądkowa efektywnie trawiła tłuszcze. Odpowiedź uzasadnij.

5 Trzustka jest gruczołem trawiennym, który produkuje sok trzustkowy. Sok ten jest wodnistą wydzieliną o odczynie zasadowym, zawierającą m.in. nieaktywne formy enzymów proteolitycznych – proenzymy. Jednym z proenzymów jest trypsyna, która w soku trzustkowym ma postać nieaktywnego trypsynogenu.

a) Określ, jaka grupa związków organicznych jest trawiona przez trypsynę.

b) Wyjaśnij, dlaczego trypsyna jest wytwarzana i wydzielana w formie nieaktywnego trypsynogenu.

6 Schemat przedstawia transport aminokwasów przez błony enterocytu.



a) Oceń prawdziwość stwierdzenia: „Transport aminokwasów z wnętrza enterocytów do płynu zewnątrzkomórkowego jest transportem czynnym". Odpowiedź uzasadnij.

b) Wyjaśnij znaczenie pompy sodowo-potasowej w transporcie aminokwasów ze światła jelita do wnętrza enterocytu.

c) Podaj nazwę grupy makrocząsteczek, których produkty trawienia są transportowane przez błony enterocytu w sposób analogiczny do transportu aminokwasów.

d) Określ jedną widoczną na schemacie cechę budowy enterocytu, która pozwala na znaczące zwiększenie wydajności wchłaniania ostatecznych produktów trawienia składników pokarmu.

e) **Uzupełnij poniższe zdania tak, aby zawierały prawdziwe informacje dotyczące aminokwasów po wchłonięciu tych związków ze światła jelita cienkiego do krwi. Wybierz właściwe określenia spośród podanych.**

Wchłonięte do krwi aminokwasy trafiają do (*żyły wrotnej / żyły wątrobowej*), którą wędrują do wątroby. Część aminokwasów jest transportowana z wątroby wraz z krwią do innych narządów ciała, a pozostała część ulega procesowi (*deaminacji / karboksylacji*) i bierze później udział w (*cyklu mocznikowym / syntezie kwasów żółciowych*).

5. Układ oddechowy

5.1. Układ oddechowy u zwierząt
5.2. Budowa i funkcje układu oddechowego
5.3. Wentylacja płuc i wymiana gazowa
5.4. Zaburzenia funkcjonowania układu oddechowego

Fot. Nabłonek migawkowy oskrzelików (mikrofotografia elektronowa).

5.1. Układ oddechowy u zwierząt

Zwróć uwagę na:

- warunki umożliwiające i ułatwiające dyfuzję gazów przez powierzchnie wymiany gazowej,
- związek lokalizacji i budowy powierzchni wymiany gazowej ze środowiskiem życia,
- przykłady narządów wymiany gazowej i grup zwierząt, u których one występują,
- tendencje ewolucyjne w budowie płuc kręgowców.

Zwierzęta uzyskują energię niezbędną do wykonywania wszystkich czynności życiowych na drodze **oddychania tlenowego** lub – znacznie rzadziej – fermentacji (niektóre pasożyty wewnętrzne). Na proces oddychania tlenowego składają się reakcje chemiczne, których efektem jest utlenienie związków organicznych pochodzących z pokarmu do wody i dwutlenku węgla. W procesie tym uwalnia się znaczna ilość energii, której część zostaje zmagazynowana w postaci ATP. Oddychanie tlenowe wymaga sprawnej **wymiany gazowej**. Podczas tego procesu pobierany jest tlen, a usuwany – dwutlenek węgla. Wymiana gazowa u zwierząt zachodzi całą powierzchnią ciała lub poprzez narządy oddechowe:

- w wodzie – skrzela, skrzelotchawki i gardziel ze szczelinami skrzelowymi,
- na lądzie – płucotchawki, tchawki oraz płuca.

Wymiana gazowa a dyfuzja

Wymiana gazowa zapewnia dostarczenie tlenu do wszystkich komórek ciała oraz jednoczesne odebranie z nich dwutlenku węgla. Dzieje się tak, ponieważ oba gazy przenikają przez błonę komórkową dzięki dyfuzji, która zachodzi zgodnie z różnicą ich ciśnień parcjalnych po obu stronach błony. **Ciśnienie parcjalne** (cząstkowe) to ciśnienie gazu wchodzącego w skład mieszaniny gazów, które jest proporcjonalne do zawartości tego gazu w mieszaninie. Na przykład tlen stanowi ok. 21% objętości powietrza, więc jego ciśnienie parcjalne na poziomie morza wynosi ok. 213 hPa (21% z 1013 hPa). Różnica ciśnień jest utrzymywana dzięki **wentylacji**, czyli przepływowi gazów oddechowych między środowiskiem zewnętrznym a środowiskiem wewnętrznym organizmu. Szybkość dyfuzji zwiększa się wraz ze wzrostem powierzchni wymiany gazowej oraz ze wzrostem różnicy ciśnień parcjalnych gazów. Ponadto dyfuzja zachodzi tym szybciej, im krótszą drogę mają do pokonania cząsteczki gazu. Najkorzystniej jest zatem, aby powierzchnia wymiany gazowej i różnica ciśnień gazów po obu stronach błony były jak największe, natomiast sama błona była jak najcieńsza. Ponadto powierzchnie wymiany gazowej muszą być stale wilgotne, ponieważ gazy oddechowe dyfundują przez błony wyłącznie w środowisku wodnym lub bardzo wilgotnym.

Dyfuzja gazów w różnych środowiskach

Środowiska wodne i lądowe różnią się od siebie pod względem wydajności wymiany gazowej. Zawartość tlenu w wodzie jest niewielka i zmniejsza się wraz ze wzrostem temperatury, zasolenia i głębokości. Poza tym zależy ona od warunków panujących w określonym miejscu, np. występowania roślin (dostarczają tlen w ciągu dnia, a pobierają go przez całą dobę) i ilości rozkładającej się materii organicznej na dnie (w procesie rozkładu zużywana jest duża ilość tlenu). Z tych względów zawartość tlenu w wodzie podlega znacznym wahaniom, a duża gęstość wody sprawia, że dyfuzja zachodzi w niej powoli.

Środowisko lądowe zapewnia korzystniejsze warunki dyfuzji. Zawartość tlenu w powietrzu nie zmienia się, a dyfuzja gazów zachodzi ok. 10 tys. razy szybciej niż w wodzie. Największą przeszkodę stanowi możliwość wyschnięcia powierzchni wymiany gazowej.

Etapy wymiany gazowej

U większości zwierząt wymiana gazowa przebiega dwuetapowo. Pierwszym etapem jest **wymiana gazowa zewnętrzna**, która polega na pobraniu tlenu ze środowiska zewnętrznego do płynów ustrojowych oraz oddaniu dwutlenku węgla z płynów ustrojowych do środowiska zewnętrznego. U przeważającej części zwierząt wymiana gazowa zewnętrzna zachodzi dzięki narządom wymiany gazowej. Drugim etapem jest **wymiana gazowa wewnętrzna**, odbywająca się pomiędzy płynami ustrojowymi a komórkami ciała. Komórki pobierają tlen z płynów ustrojowych oraz oddają dwutlenek węgla do płynów ustrojowych. Zarówno wymiana gazowa zewnętrzna, jak i wymiana gazowa wewnętrzna zachodzą dzięki procesowi **dyfuzji**. Ciśnienie parcjalne tlenu w płynach ustrojowych jest wyższe (czasem kilkakrotnie) niż w komórkach, co umożliwia przepływ tego gazu. Natomiast ciśnienie parcjalne dwutlenku węgla osiąga wyższą wartość w komórkach i dlatego gaz ten przenika do płynów ustrojowych.

Ciśnienie parcjalne tlenu i dwutlenku węgla w ośrodkach biorących udział w wymianie gazowej u ssaków

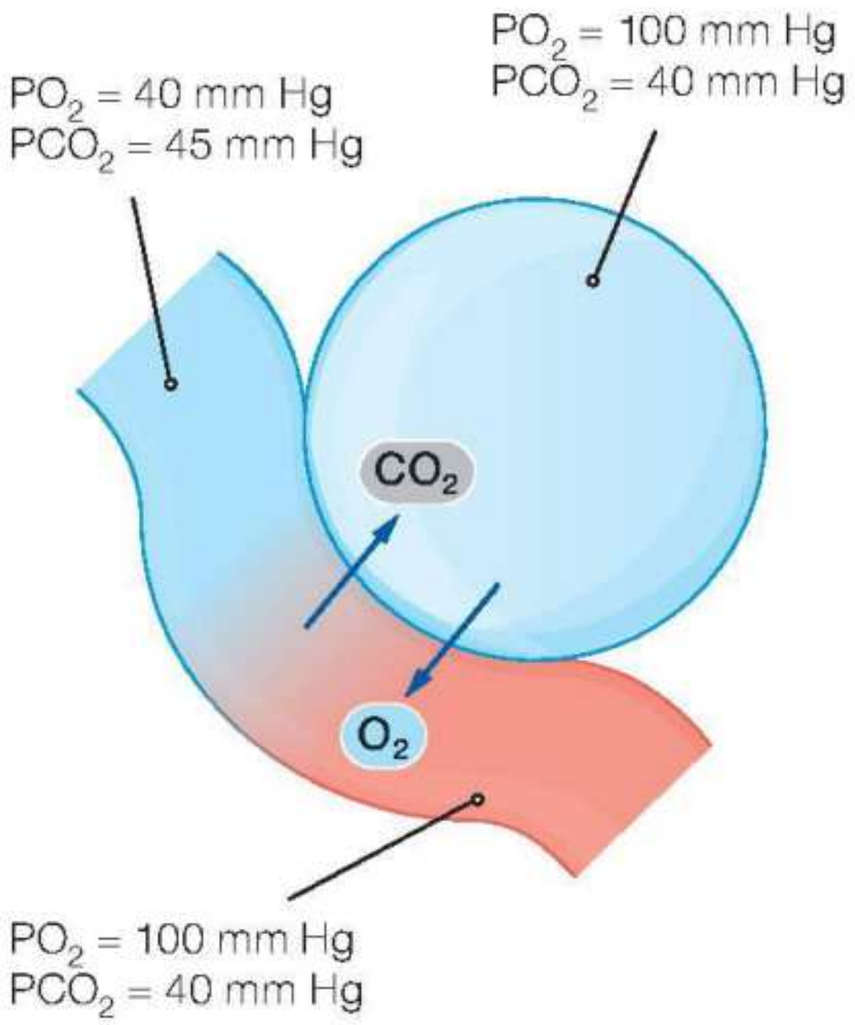
Ośrodek	Ciśnienie parcjalne tlenu [mm Hg]	Ciśnienie parcjalne dwutlenku węgla [mm Hg]
Powietrze	160	0,3
Pęcherzyk płucny	100	40
Krew utlenowana	95–100	40
Krew odtlenowana	40	45
Komórka	40	45

Wymiana gazowa

Dyfuzja tlenu i dwutlenku węgla między wnętrzem organizmu a środowiskiem zewnętrznym.

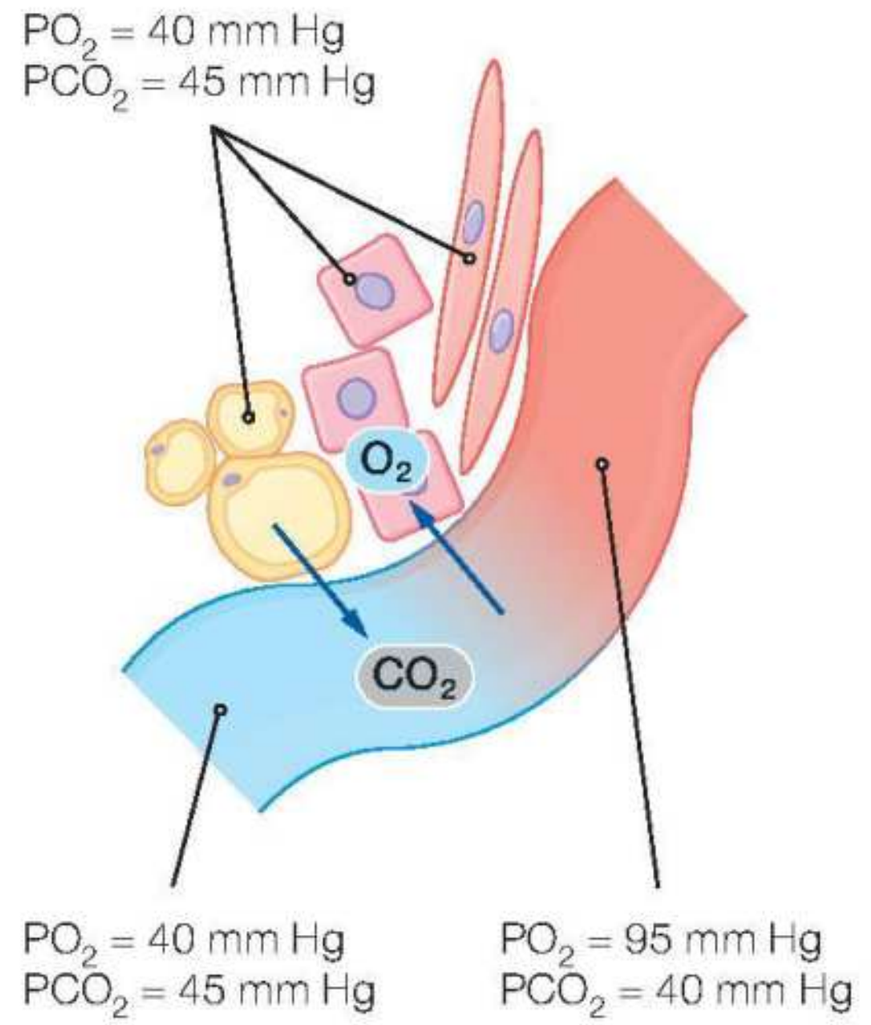
zewnętrzna

Zachodzi w płucach między pęcherzykami płucnymi a krwią.



wewnętrzna

Zachodzi w tkankach między krwią a komórkami.



Sposoby wymiany gazowej

Niektóre zwierzęta prowadzą wymianę gazową **całą powierzchnią ciała**. Są to zazwyczaj gatunki o powolnym tempie przemiany materii, a więc i niewielkim zapotrzebowaniu na tlen, oraz małe organizmy o korzystnym stosunku powierzchni ciała do jego objętości. Narządy wymiany gazowej nie są również konieczne w przypadku, gdy odległość między powierzchnią ciała a położonymi wewnątrz komórkami jest niewielka. Taka sytuacja występuje głównie u zwierząt płaskich i wydłużonych (np. u wirokształtnych). Wśród bezkręgowców wymianę gazową całą powierzchnią ciała prowadzą parzydełkowce, wolno żyjące płazińce i nicienie, a także wrotki, skąposzczety oraz pijawki. U kręgowców wymiana gazowa za pośrednictwem skóry występuje wyjątkowo. Największe znaczenie ma u płazów, które są zwierzętami mało aktywnymi, o niskim zapotrzebowaniu na energię.

Czy wiesz, że...

U niektórych płazów wymiana gazowa przez skórę pokrywa całe zapotrzebowanie na tlen, dlatego nie mają one płuc. Przykładem są salamandry bezpłucne.



Zwierzęta aktywne, duże, stałocieplne mają wysokie zapotrzebowanie na tlen, dlatego w toku ewolucji wykształcił się u nich układ oddechowy. Tworzą go **narządy wymiany gazowej** (m.in. skrzela i płuca) o bardzo dużej powierzchni, która umożliwia wydajną dyfuzję gazów oddechowych między środowiskiem zewnętrznym a krwią (lub hemolimfą). Ponadto u kręgowców lądowych wykształciły się **drogi oddechowe**, którymi powietrze dostaje się do płuc. Transport tlenu i dwutlenku węgla pomiędzy narządami oddechowymi a komórkami ciała odbywa się za pośrednictwem układu krwionośnego.

Narządy wymiany gazowej u zwierząt wodnych

U większości zwierząt wodnych narządami wymiany gazowej są **skrzela** – wyrostki ciała o dużej powierzchni i bardzo cienkim nabłonku, pod którym znajduje się gęsta sieć włosowatych naczyń krwionośnych. Skrzela mogą mieć postać blaszek, grzebyków lub wydłużonych palczastych wypustek – niekiedy zebranych w pęczki.

Wyróżnia się skrzela zewnętrzne oraz skrzela wewnętrzne. **Skrzela zewnętrzne** wystają poza obręb ciała. Nie są niczym osłonięte, co ułatwia kontakt z wodą, a tym samym – wymianę gazową. Są one jednak narażone na uszkodzenia mechaniczne i zwiększają opór ciała podczas ruchu. Skrzela zewnętrzne występują np. u wieloszczetów, niektórych mięczaków (ślimaków nagoskrzelnych) i skorupiaków (skrzelonogów). Mają je również larwy pewnych gatunków ryb (np. piskorza) oraz larwy płazów ogoniastych (np. salamander). Z kolei u larw płazów bezogonowych (kijanek) skrzela zewnętrzne występują przez kilka pierwszych dni życia. Po tym okresie ulegają resorpcji i zostają zastąpione przez skrzela wewnętrzne. **Skrzela wewnętrzne** znajdują się wewnątrz ciała zwierzęcia. Dzięki temu są chronione przed urazami, a ciało zachowuje opływowy kształt. Doprowadzenie do nich wody zachodzi przez otwór gębowy (ryby) lub wymaga odpowiednich struktur, takich jak syfon wpustowy (małże).

Wśród zwierząt wodnych występują też inne narządy wymiany gazowej. U osłonic, bezczaszkowców i larw minogów wymiana gazowa zachodzi dzięki **gardzieli przebitej szczelinami skrzelowymi**, a u żyjących w wodzie larw owadów (jętek, ważek) dzięki **skrzelotchawkom** – wyrostkom ciała z zamkniętymi (pozbawionymi przetchlinek) tchawkami wewnątrz.

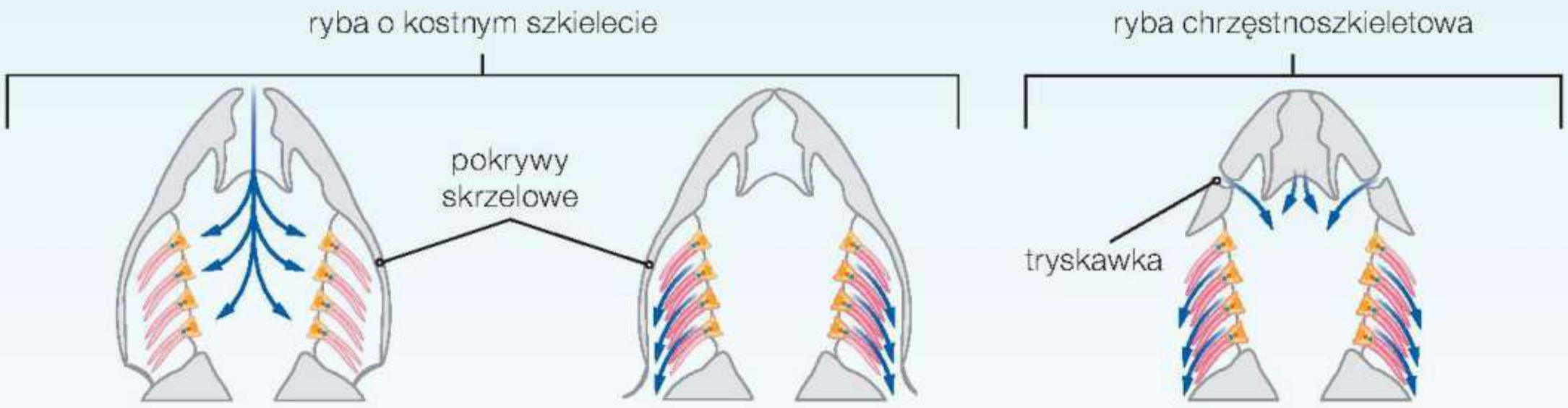
Przypomnij sobie

Mechanizmy wspomagające wymianę gazową

Spośród wszystkich zwierząt wodnych wymiana gazowa najefektywniej zachodzi u ryb. Wspomagają ją liczne przystosowania fizjologiczne, m.in. ruchy pokryw skrzelowych, działanie tryskawki i przeciwprądowy mechanizm przepływu krwi przez skrzela.

Działanie pokryw skrzelowych i tryskawki

U ryb o kostnym szkielecie występują pokrywy skrzelowe, które działają na zasadzie pompy umożliwiającej przepływ wody przez skrzela. Z kolei ryby chrzęstnoszkieletowe są zaopatrzone w tryskawkę, która u gatunków przydennych wspomaga wymianę gazową.



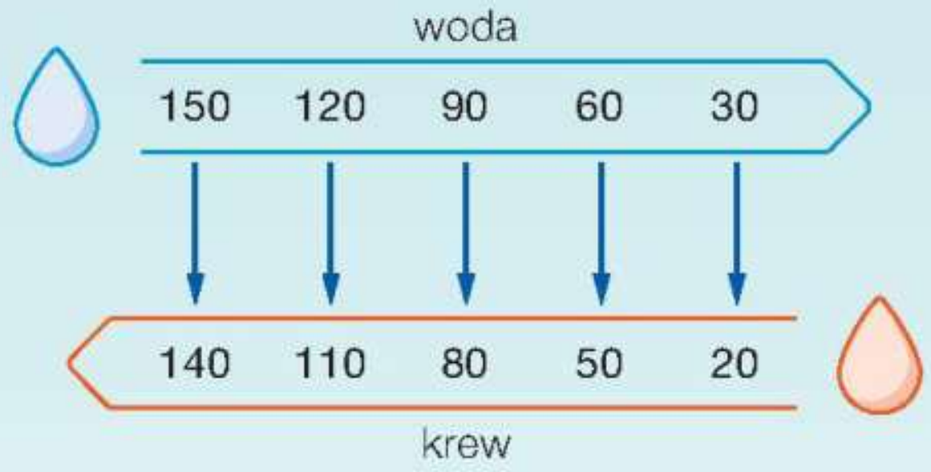
Podczas otwierania pyska pokrywy skrzelowe przylegają do ciała ryby i zamykają szczeliny skrzelowe. Dzięki temu woda wpływa do pyska, a następnie obmywa skrzela.

Pysk pozostaje zamknięty, a pokrywy skrzelowe się unoszą. Dzięki temu woda wypływa na zewnątrz ciała.

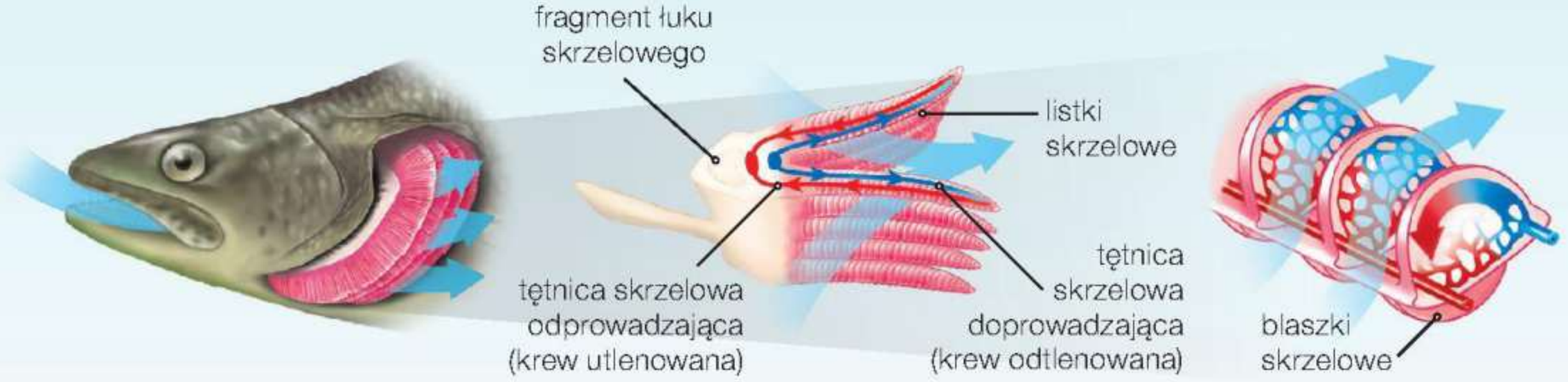
U ryb przydennych, np. płaszczek, tryskawka znajduje się po grzbietowej stronie ciała. Przez otwór tryskawki do skrzeli wciągana jest woda pozbawiona zanieczyszczeń z dna.

Mechanizm przeciwprądów

W mechanizmie przeciwprądów krew przepływa przez blaszkę skrzelową w odwrotnym kierunku niż obmywająca tę blaszkę woda. W rezultacie ciśnienie parcjalne[1] tlenu we krwi stopniowo rośnie, chociaż zawsze jest nieco niższe niż ciśnienie parcjalne tlenu w wodzie. Dzięki temu krew płynąca przez skrzela otrzymuje bez przerwy tlen.



Wymiana gazowa zachodzi dzięki różnicom ciśnień parcjalnych tlenu między krwią a wodą. Liczby na schemacie oznaczają wartości ciśnienia parcjalnego tlenu.



[1] **Ciśnienie parcjalne** (cząstkowe) – ciśnienie wywierane przez cząsteczki danego gazu wchodzącego w skład mieszaniny różnych gazów (np. ciśnienie parcjalne tlenu wchodzącego w skład powietrza).

Wymiana gazowa u zwierząt wodnych

Narządami wymiany gazowej u większości zwierząt wodnych są skrzela – cienkościenne wyrostki ciała o bardzo dużej powierzchni. U niektórych gatunków wymiana gazowa zachodzi za pośrednictwem skrzelotchawek lub gardzieli.

Skrzela zewnętrzne

Są to silnie unaczynione wyrostki ciała, które wystają poza jego obręb. Niektóre zwierzęta mogą nimi poruszać, dzięki czemu wydajność wymiany gazowej jest większa.



U niektórych osiadłych **wieloszczetów** skrzela tworzą kielichowatą lub spiralną koronę skrzelową.



U **ślimaków** nagoskrzelnych występują skrzela wtórne. Są to listkowate wyrostki rozmieszczone po bokach ciała lub tworzące wieniec w jego tylnej części.



U **skorupiaków** z gromady skrzelonogów skrzela są blaszkowatymi lub pierzastymi wyrostkami odnóży tułowiowych.



U **larw płazów**, np. traszek, skrzela mają postać pierzastych wyrostków rozmieszczonych po bokach głowy.

Skrzelotchawki

Są to palczaste lub blaszkowate wyrostki ciała, występujące u larw niektórych owadów, np. ważek. Wewnątrz wyrostków znajdują się tchawki. Tlen z wody przenika przez błonę skrzelotchawki do systemu tchawkowego i jest rozprowadzany po całym ciele larwy.



Skrzela wewnętrzne

To silnie unaczynione wyrostki ciała, które znajdują się w jego wnętrzu – są częściowo lub całkowicie osłonięte.



Skrzela **krabów** są ukryte w komorach skrzelowych po bokach tułowia. Przepływ wody przez skrzela jest wymuszany przez poruszanie odnóżami.



Skrzela **małży** są umieszczone w jamie płaszczowej. Woda wpływa do jamy płaszczowej przez syfon wpustowy, a wypływa przez syfon wyrzutowy.



U **ryb** skrzela są zbudowane z łuków skrzelowych i osadzonych na nich listków skrzelowych. Poprzeczne fałdy listków skrzelowych noszą nazwę blaszek skrzelowych.

Gardziel ze szczelinami skrzelowymi

Gardziel przebita licznymi szczelinami skrzelowymi występuje np. u żachw. Woda przepływając przez szczeliny skrzelowe do jamy okołoskrzelowej, oddaje tlen do naczyń włosowatych, znajdujących się w przegrodach skrzelowych.

Narządy wymiany gazowej u zwierząt lądowych

W warunkach lądowych narządy wymiany gazowej w postaci skrzeli są nieprzydatne. Siła ciążenia powoduje bowiem opadanie blaszek skrzelowych, które nie mają elementów usztywniających. Ponadto blaszki skrzelowe sklejają się i wysychają w kontakcie z powietrzem, co w dużym stopniu zmniejsza powierzchnię wymiany gazowej – z tego powodu ryba wyjęta z wody się dusi. W toku ewolucji u zwierząt lądowych wykształciły się więc narządy oddechowe ukryte głęboko wewnątrz ciała.

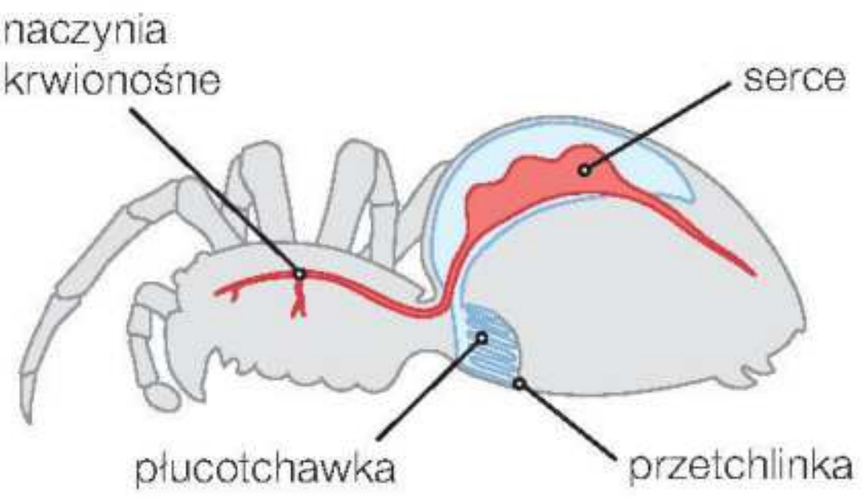
U stawonogów lądowych narządami wymiany gazowej są głównie płucotchawki oraz tchawki. Prowadzą do nich otwory zwane przetchlinkami.

Płucotchawki (worki płucne, płuca książkowe) występują u skorpionów i części pająków. Są to komory umiejscowione w odwłoku, zawierające cienkie, równolegle ułożone blaszki, w których krąży hemolimfa. Między blaszkami przepływa powietrze.

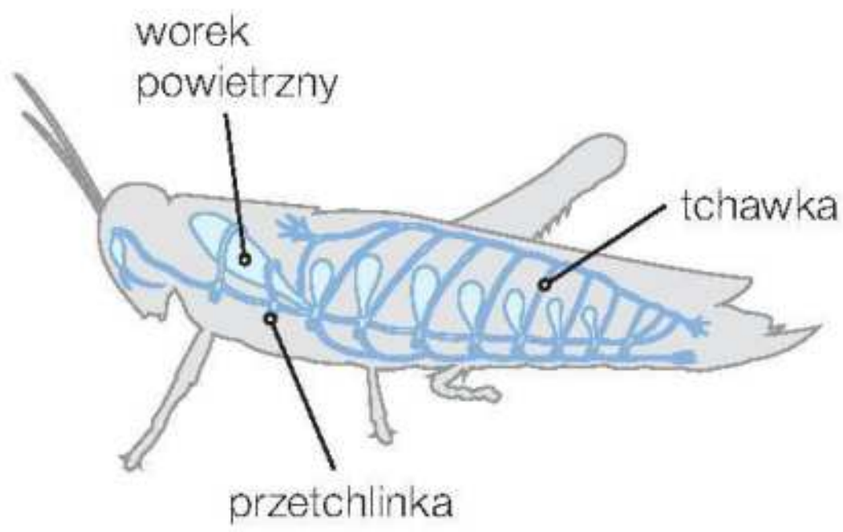
Tchawki występują u części pajęczaków (kosarzy, zaleszczotków, roztoczy i niektórych pająków), a także u owadów oraz wijów. Mają postać silnie rozgałęzionych rurek docierających do wszystkich komórek ciała. Ścianki tchawek są wzmocnione od wewnątrz chitynowymi spiralami, które utrzymują drożność systemu tchawkowego. Ruch powietrza wewnątrz tego systemu odbywa się dzięki rytmicznym skurczom ścian ciała. Najcieńsze rozgałęzienia tchawek – tracheole – wypełnia płyn, w którym rozpuszczają się gazy oddechowe. Dzięki temu dyfuzja gazów między tchawkami a otaczającymi tkankami zachodzi efektywniej. U owadów w sąsiedztwie narządów wymagających dużej ilości tlenu tchawki dodatkowo rozszerzają się i tworzą cienkościenne worki powietrzne. System tchawek zapewnia nie tylko wymianę gazową, lecz także efektywny transport gazów oddechowych. Doprowadzenie tlenu bezpośrednio do każdej komórki ciała ma szczególne znaczenie u owadów latających, których metabolizm jest bardzo intensywny.

U ślimaków lądowych oraz u większości ślimaków słodkowodnych narządami oddechowymi są **płuca**. Prowadzi do nich pojedynczy otwór, przez który dociera powietrze. Płuca ślimaków lądowych nie mają złożonych mechanizmów wspomagających wentylację. Wymiana powietrza odbywa się głównie dzięki dyfuzji, dlatego nazywa się je płucami dyfuzyjnymi.

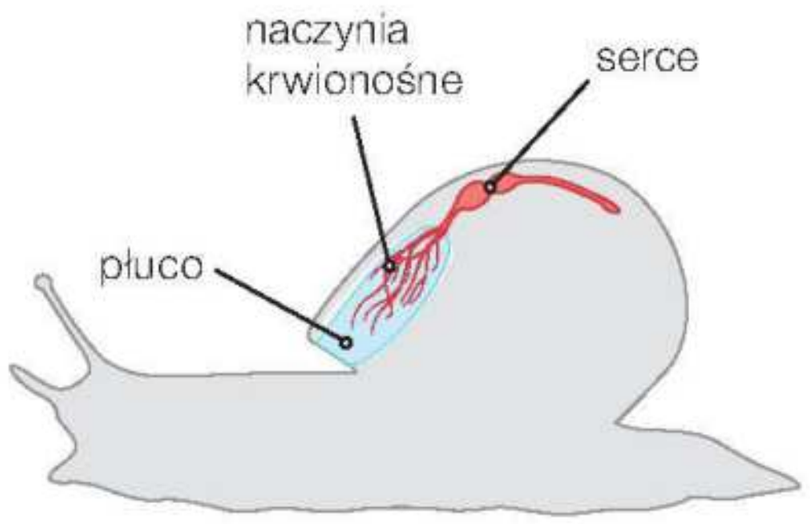
Narządy wymiany gazowej u bezkręgowców lądowych



Płucotchawki to wpuklenia ściany odwłoka w kształcie pofałdowanej od wewnątrz komory, otwierającej się na zewnątrz przetchlinką.



Tchawkowy system oddechowy jest utworzony przez rozgałęziającą się sieć rurek, które tworzą coraz cieńsze przewody.



Płuco ślimaka jest przekształconą, silnie ukrwioną jamą płaszczową.

U kręgowców lądowych narządami wymiany gazowej są **płuca wentylowane**. Rozwinęły się one z płuc ryb dwudysznych (mięśniopłetwe), a ich ewolucja polegała na zwiększaniu powierzchni wymiany gazowej poprzez rozbudowę wnętrza narządów. Poza tym w wymianie gazowej płazów uczestniczą nabłonek jamy gębowej oraz skóra. Wymiana gazowa u kręgowców, podobnie jak u innych zwierząt, zachodzi na drodze dyfuzji. Ich zapotrzebowanie na tlen jest jednak tak duże, że pojawiły się różne mechanizmy służące wentylacji płuc.

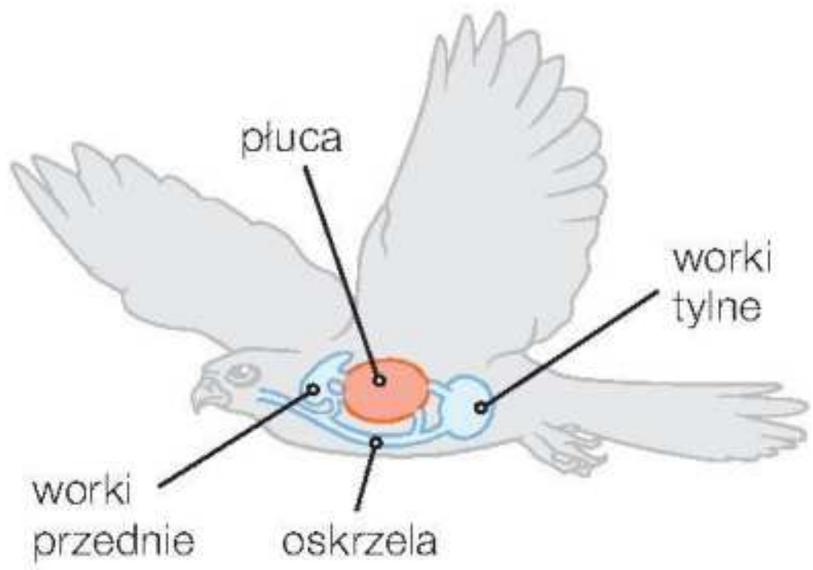
U płazów – w związku z brakiem klatki piersiowej – wentylacja płuc odbywa się dzięki ruchom dna jamy gębowej przy jednoczesnej współpracy mięśni gardzieli. Począwszy od **gadów** mechanizm wentylacji płuc polega na ruchach klatki piersiowej. Zwiększenie jej objętości podczas wdechu powoduje obniżenie ciśnienia powietrza. Aby mogło nastąpić wyrównanie ciśnień, powietrze jest zasysane ze środowiska zewnętrznego do płuc – wówczas zachodzi wdech. Z kolei zmniejszenie objętości klatki piersiowej podczas wydechu powoduje wypychanie powietrza z płuc do środowiska zewnętrznego. U ssaków ruchy oddechowe wspomaga przepona.

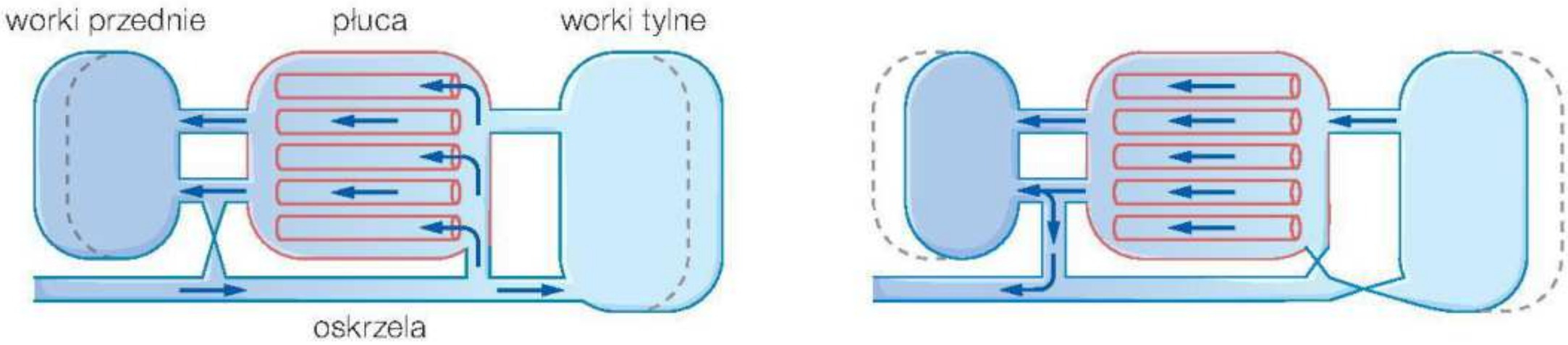
Wyjątek wśród kręgowców stanowią **ptaki**. Ich rurkowate płuca są niewielkie i sztywne, przez co nie zmieniają objętości w czasie wentylacji. Wentylację płuc wspomagają cienkościenne **worki powietrzne**, które podczas wdechu napełniają się powietrzem, a podczas wydechu się opróżniają. U zwierząt tych występuje **podwójne oddychanie**, w trakcie którego świeże powietrze przepływa przez płuca zarówno w czasie wdechu, jak i w czasie wydechu.

Sprawną wentylację płuc u kręgowców zapewnia pojawienie się **dróg oddechowych**, przez które powietrze dostaje się do płuc. Drogi oddechowe składają się z: jamy nosowej, gardzieli, krtani, tchawicy i oskrzeli. W drogach oddechowych powietrze zostaje oczyszczone, odpowiednio ogrzane i nawilżone. Dzięki temu nie uszkadza ono delikatnych błon, kiedy dociera do płuc, a proces wymiany gazowej zachodzi bez przeszkód.

Wentylacja płuc u ptaków

U ptaków podczas wentylacji płuc świeże powietrze przepływa przez płuca zawsze od tyłu do przodu, zarówno podczas wdechu, jak i podczas wydechu. Mechanizm ten, zwany podwójnym oddychaniem, umożliwia zachowanie wysokiego tempa przemian metabolicznych, które są niezbędne do lotu oraz utrzymania stałocieplności.





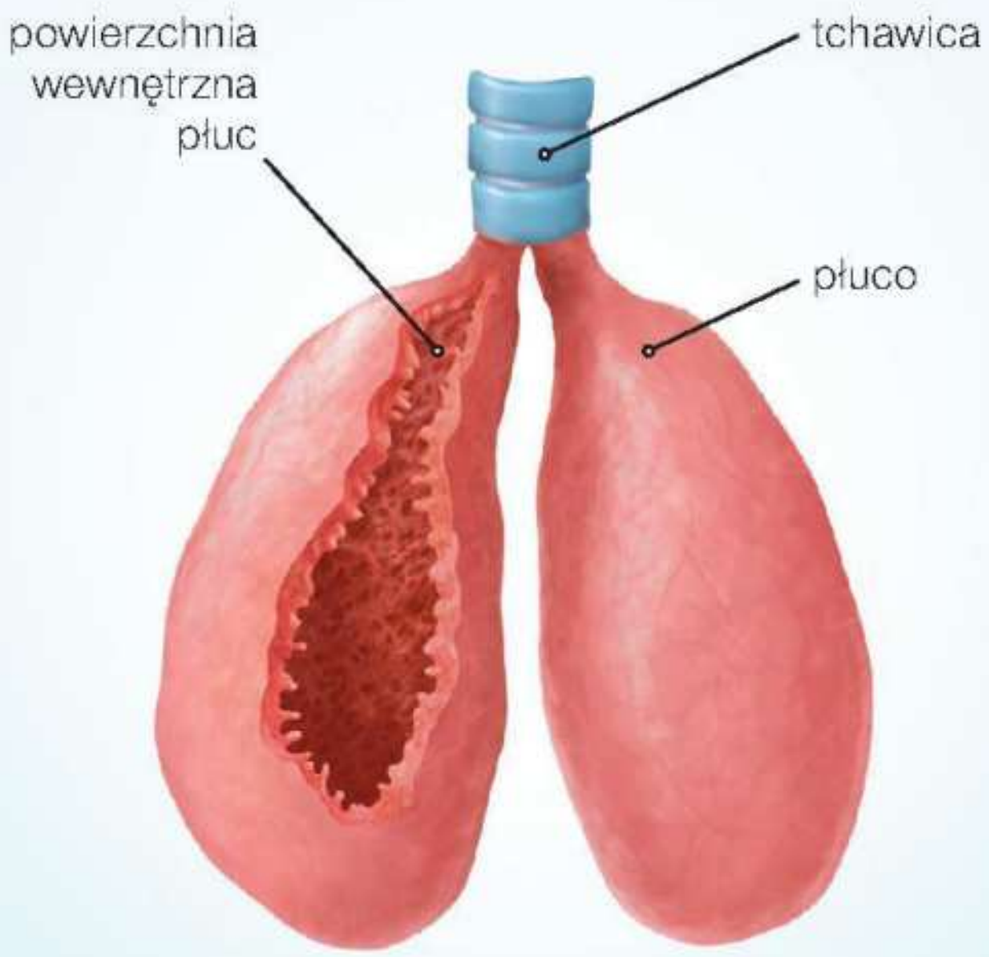
Wdech – świeże powietrze płynie jednocześnie do worków tylnych i do płuc. Z płuc jako powietrze zużyte przechodzi do worków przednich. W czasie wdechu droga z oskrzeli do worków przednich jest zamknięta, a worki powietrzne tylne i przednie się rozciągają.

Wydech – świeże powietrze z worków tylnych płynie przez płuca, po czym jako powietrze zużyte jest usuwane na zewnątrz razem z powietrzem z worków przednich. W czasie wydechu droga z worków przednich do oskrzeli jest otwarta, a worki powietrzne przednie i tylne zmniejszają swoją objętość.

Ewolucja płuc u kręgowców

Płazy

Płuca płazów to cienkościenne, silnie ukrwione worki o delikatnie pofałdowanej powierzchni wewnętrznej. Ich wentylacja zachodzi dzięki ruchom dna jamy gębowej.



Gady

Płuca gadów mają budowę gąbczastą, a ich wentylacja zachodzi dzięki pracy mięśni międzyżebrowych.







Płuca ryb dwudysznych

Ryby dwudyszne wykształciły w toku ewolucji płuca, dzięki czemu stały się zdolne do oddychania powietrzem atmosferycznym. Płuca tych ryb rozwijają się jako uchyłki jelita i są z nim połączone przewodem powietrznym. W wyniku rozwoju płuc oddychanie skrzelowe u większości dwudysznych jest silnie ograniczone. Płuca ryb dwudysznych dały początek płucom kręgowców lądowych.

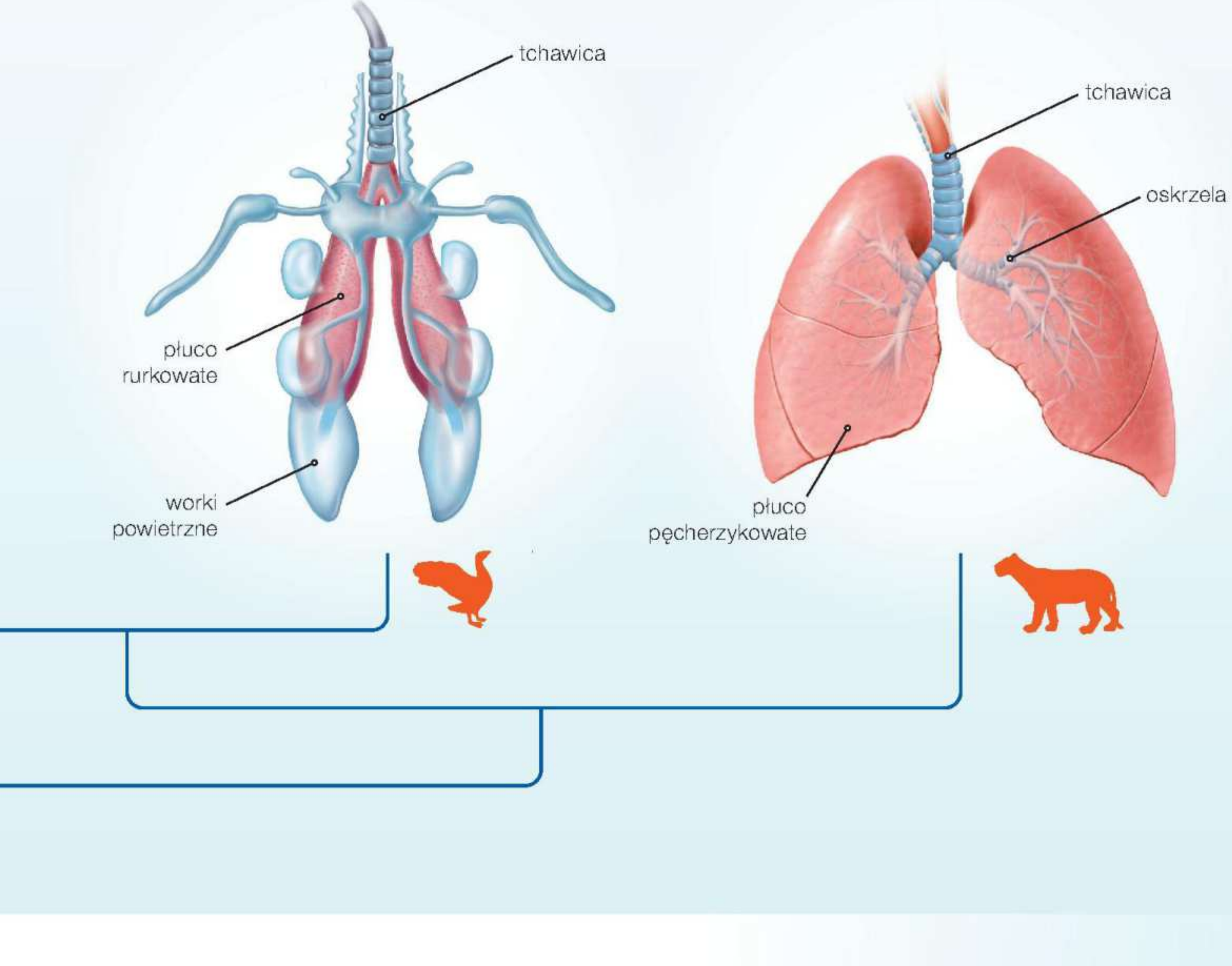


Ptaki

Płuca ptaków są rurkowate i nie zmieniają objętości. Powietrze przepływa przez nie zarówno w czasie wdechu, jak i w czasie wydechu. Podczas lotu wentylacja płuc zachodzi dzięki ruchom skrzydeł, a w trakcie spoczynku – dzięki pracy mięśni piersiowych oraz międzyżebrowych.

Ssaki

Płuca ssaków są zbudowane z pęcherzyków – dlatego spośród wszystkich zwierząt to właśnie ssaki mają największą powierzchnię oddechową w stosunku do objętości płuc. Wentylacja płuc ssaków odbywa się dzięki pracy mięśni międzyżebrowych i przepony.



Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij, czym różni się wymiana gazowa od oddychania komórkowego.
2. Wyjaśnij, czym jest ciśnienie parcjalne i jakie ma ono znaczenie podczas wymiany gazowej.
3. Opisz narządy wymiany gazowej zwierząt wodnych.
4. Podaj różnicę między płucami dyfuzyjnymi a płucami wentylowanymi.
5. Określ, czy tchawki można zaliczyć do narządów wentylowanych. Uzasadnij swoje stanowisko.

5.2. Budowa i funkcje układu oddechowego

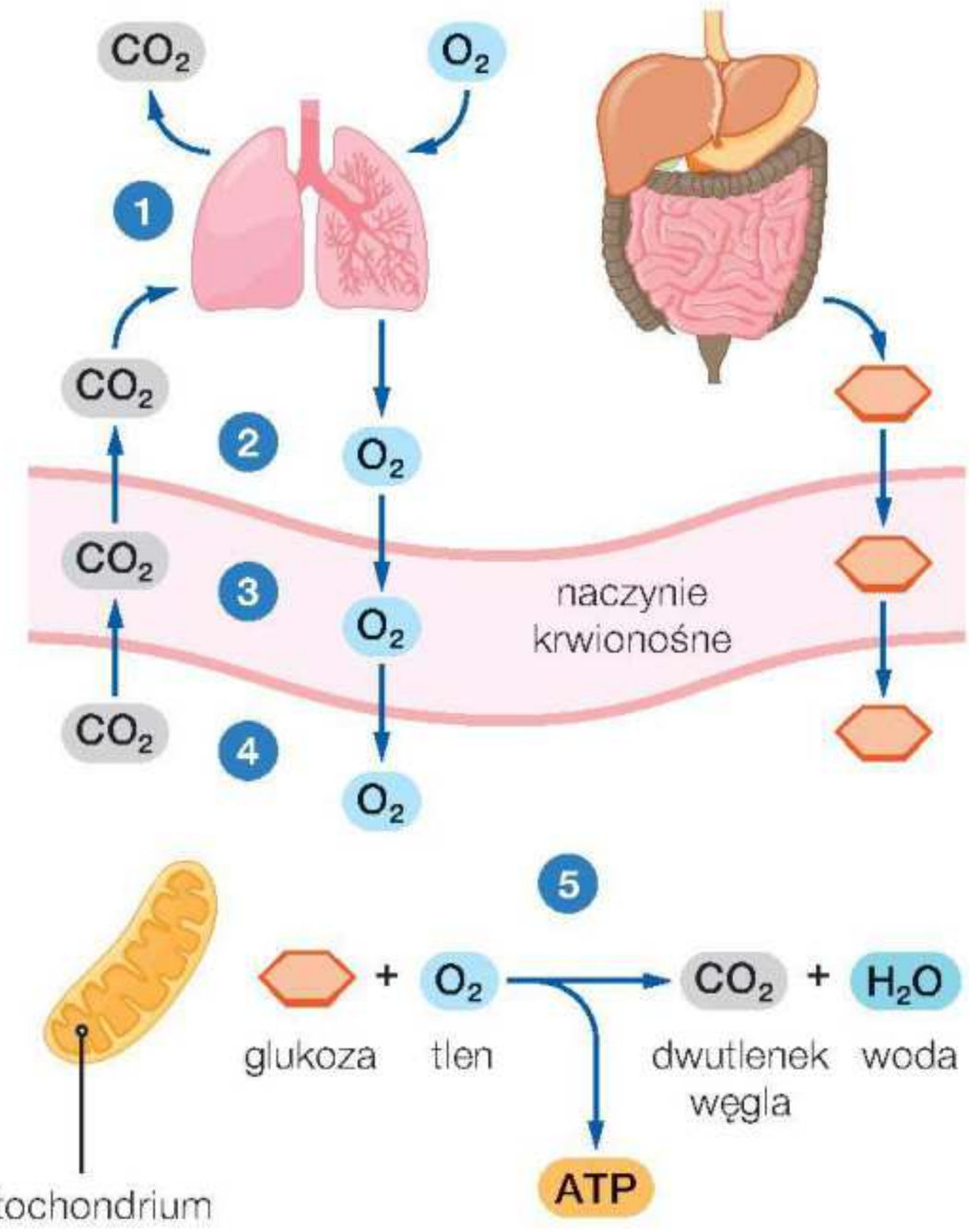
Zwróć uwagę na:
- budowę układu oddechowego,
- funkcje układu oddechowego,
- związek między budową a funkcją elementów układu oddechowego.

Oddychanie jest podstawowym procesem dostarczającym komórkom energii. W jego trakcie złożone związki organiczne są rozkładane i utleniane do związków prostszych, czemu towarzyszy uwolnienie energii. Jest to więc proces kataboliczny. Część uwolnionej energii rozprasza się w postaci ciepła, a część zostaje związana w cząsteczkach związków wysokoenergetycznych, głównie w ATP. ATP musi być stale wytwarzany, ponieważ czerpana z niego energia, zwana energią użyteczną biologicznie, jest nieustannie zużywana podczas czynności życiowych organizmów. Substratem oddychania jest zwykle glukoza. Rzadziej utleniane są tłuszcze, a w szczególnych przypadkach – np. podczas intensywnego wysiłku lub głodu – białka.

Człowiek uzyskuje energię w procesie oddychania tlenowego. Jednym z substratów tego procesu jest tlen, a jednym z produktów ubocznych – dwutlenek węgla. Z tego powodu oddychanie wymaga nieustannej wymiany gazowej, czyli dostarczania komórkom tlenu i usuwania z nich dwutlenku węgla. Wymianę gazową zapewnia układ oddechowy, który składa się z dróg oddechowych oraz płuc.

Funkcja układu oddechowego

Układ oddechowy umożliwia wymianę gazową między powietrzem atmosferycznym a wnętrzem organizmu. Celem wymiany gazowej jest dostarczenie komórkom tlenu niezbędnego do oddychania tlenowego oraz usunięcie powstałego dwutlenku węgla.



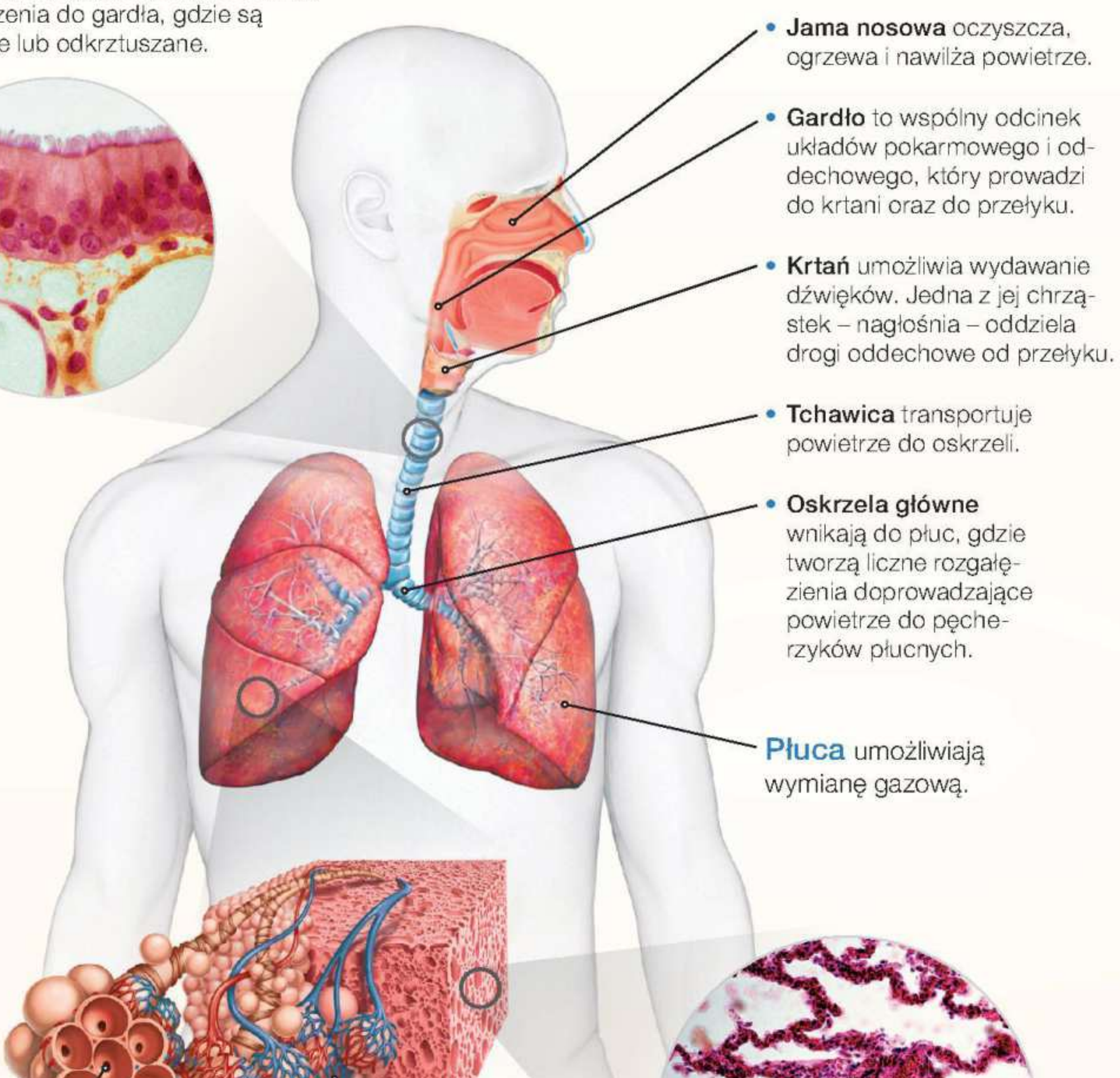
1. Naprzemienne wdechy i wydechy zapewniają transport gazów oddechowych między środowiskiem zewnętrznym a płucami.
2. Tlen z płuc przenika do krwiobiegu, natomiast dwutlenek węgla wędruje w kierunku przeciwnym.
3. Oba gazy oddechowe są transportowane przez krew.
4. Krew dostarcza do komórek ciała tlen, a odbiera z nich dwutlenek węgla.
5. W komórkach tlen jest wykorzystywany do utleniania składników pokarmowych. Główne etapy tego procesu zachodzą w mitochondriach, a jego produktami są: dwutlenek węgla, woda oraz energia magazynowana w postaci ATP.

Układ oddechowy człowieka

Układ oddechowy człowieka składa się z dróg oddechowych oraz płuc. Drogi oddechowe nie uczestniczą w wymianie gazowej – ich funkcją jest doprowadzanie świeżego powietrza ze środowiska zewnętrznego do płuc oraz odprowadzanie zużytego powietrza w przeciwnym kierunku. Płuca składają się z milionów pęcherzyków płucnych. Wymiana gazowa zachodzi między nimi a oplatającymi je włosowatymi naczyniami krwionośnymi.

Większość dróg oddechowych wyściela nabłonek migawkowy (obraz spod mikroskopu optycznego). Rzęski przesuwają zanieczyszczenia do gardła, gdzie są one połykane lub odkrztuszane.





Drogi oddechowe

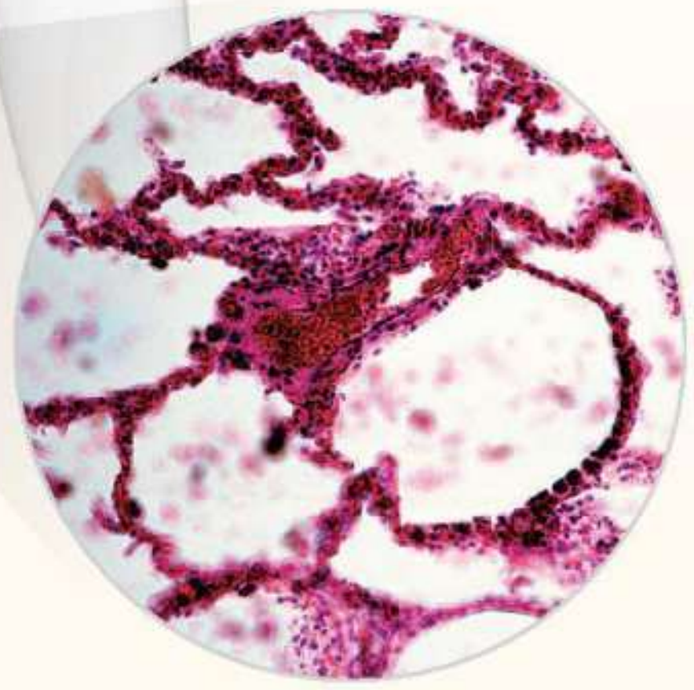
- **Jama nosowa** oczyszcza, ogrzewa i nawilża powietrze.
- **Gardło** to wspólny odcinek układów pokarmowego i oddechowego, który prowadzi do krtani oraz do przełyku.
- **Krtań** umożliwia wydawanie dźwięków. Jedna z jej chrząstek – nagłośnia – oddziela drogi oddechowe od przełyku.
- **Tchawica** transportuje powietrze do oskrzeli.
- **Oskrzela główne** wnikają do płuc, gdzie tworzą liczne rozgałęzienia doprowadzające powietrze do pęcherzyków płucnych.

Płuca umożliwiają wymianę gazową.

Pory międzypęcherzykowe zapewniają dostęp powietrza do wszystkich pęcherzyków płucnych.

sieć naczyń włosowatych

Pęcherzyki płucne są oplecione gęstą siecią włosowatych naczyń krwionośnych. Zarówno pęcherzyki płucne, jak i naczynia krwionośne są zbudowane z nabłonka jednowarstwowego płaskiego, który ułatwia dyfuzję gazów oddechowych.



Pęcherzyki płucne (obraz spod mikroskopu optycznego).

Drogi oddechowe

Drogi oddechowe to system kanałów, którymi powietrze przemieszcza się ze środowiska zewnętrznego do płuc. Wyścieła je błona śluzowa oraz m.in. nabłonek migawkowy. Dzięki temu powietrze jest w nich ogrzewane, nawilżane i oczyszczane z pyłów oraz drobnoustrojów chorobotwórczych.

Drogi oddechowe	
górne	dolne
• jama nosowa • gardło	• krtań • tchawica • oskrzela

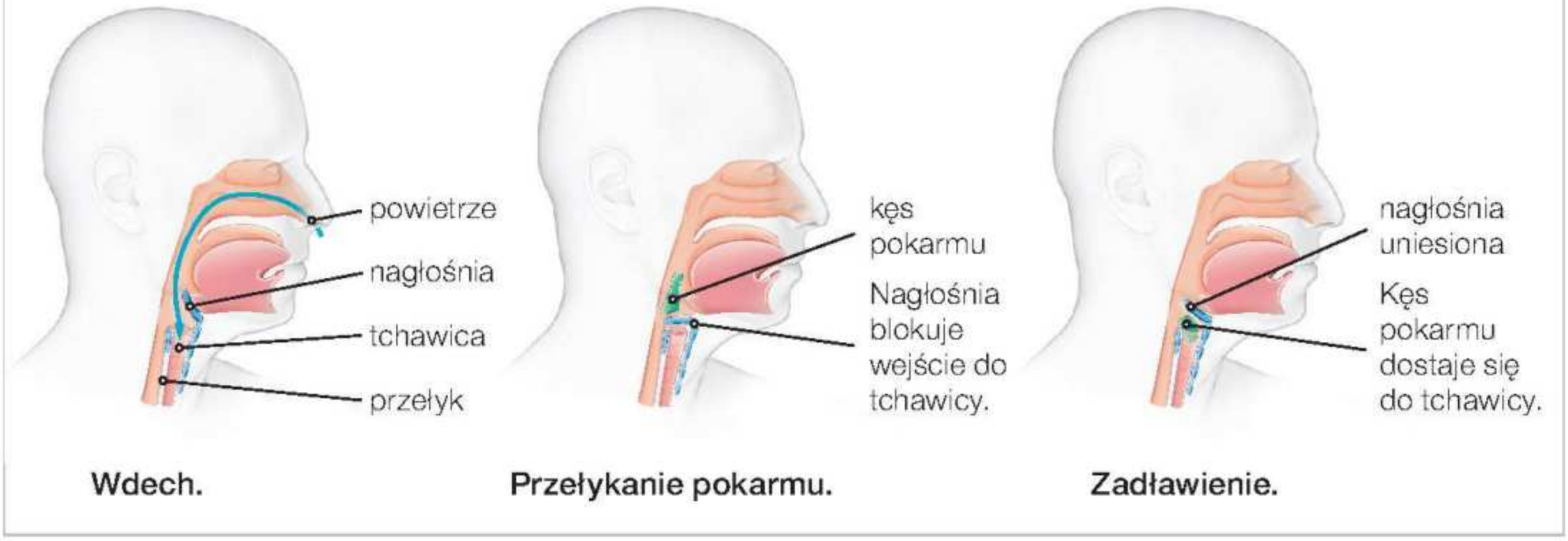
Jama nosowa kontaktuje się ze środowiskiem zewnętrznym za pośrednictwem nozdrzy przednich. Jest ona podzielona na dwie części przez przegrodę nosa. Błona śluzowa jamy nosowej jest dobrze unaczyniona i zawiera liczne gruczoły śluzowe. Dzięki temu powietrze zostaje w niej ogrzane oraz nawilżone. Z kolei włosy znajdujące się w początkowej, pokrytej skórą części jamy nosowej, a także rzęski nabłonka odpowiadają za oczyszczanie wdychanego powietrza. W szczytowej części jamy nosowej znajduje się **pole węchowe**, które zawiera receptory odbierające wrażenia węchowe. Jama nosowa jest połączona z zatokami przynosowymi, pełniącymi funkcję m.in. rezonatorów głosu. Kształt i wielkość zatok wpływają na barwę głosu.

Gardło łączy się z jamą nosową za pomocą nozdrzy tylnych. Jest ono wspólnym odcinkiem układów oddechowego i pokarmowego, przez który powietrze dostaje się do krtani, a pokarm – do przełyku. Część gardła – w odróżnieniu od pozostałych dróg oddechowych – jest pokryta nabłonkiem wielowarstwowym płaskim nierogowaciejącym.

Krtań składa się z dziewięciu chrząstek połączonych ze sobą za pomocą mięśni oraz więzadeł. Jedna z chrząstek – **nagłośnia** – podczas przełykania zamyka wejście do dróg oddechowych, zapobiegając w ten sposób zadławieniu. Najwęższą częścią krtani jest głośnia, która umożliwia wydawanie dźwięków. W jej skład wchodzą fałdy głosowe i znajdująca się między nimi szpara głośni. Inną chrząstką krtani jest **chrząstka tarczowata**, zbudowana z dwóch płytek połączonych ze sobą pod określonym kątem. Kąt ten zależy od płci i od wieku. Jest większy u dzieci i kobiet (ok. 120°) niż u mężczyzn (ok. 90°). Z tego powodu u mężczyzn chrząstka tarczowata jest zwykle dobrze widoczna i określana mianem wyniosłości krtaniowej, grdyki lub jabłka Adama.

Nagłośnia

Za zamykanie dróg oddechowych podczas jedzenia odpowiada nagłośnia. W trakcie przełykania pokarmu chrząstka ta odgina się, przez co blokuje wejście do tchawicy. Dzięki temu kęs pokarmu jest kierowany do przewodu pokarmowego.

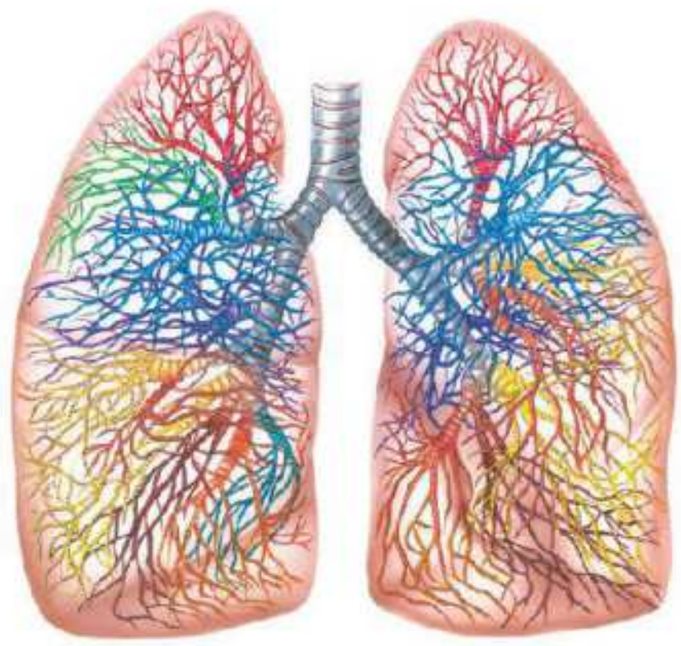


Wdech. **Przełykanie pokarmu.** **Zadławienie.**

Tchawica jest przewodem o długości ok. 10–15 cm. Jej rusztowanie stanowią chrząstki o kształcie podkowy, których wolne brzegi są skierowane ku tyłowi ciała. Między końcami chrząstek znajdują się tkanka łączna właściwa i tkanka mięśniowa gładka. Taka budowa tchawicy zapobiega zapadaniu się jej ścian, co z kolei zapewnia drożność dróg oddechowych. Nabłonek wielorzędowy migawkowy wyścielający tchawicę umożliwia oczyszczanie powietrza. Tchawica rozgałęzia się na dwa ostrzela główne.

Oskrzela główne są parzystymi przewodami, które wnikają do płuc, gdzie tworzą **drzewo oskrzelowe**. Oskrzele prawe jest wyraźnie krótsze i grubsze od oskrzela lewego. Drzewo oskrzelowe to system rozgałęzień o coraz mniejszej średnicy. Tworzą je oskrzela płatowe, które przechodzą kolejno w oskrzela segmentowe oraz podsegmentowe. Oskrzela podsegmentowe dzielą się następnie na system drobnych oskrzelików. Oskrzeliki ostatniego rzędu noszą nazwę oskrzelików końcowych. Są one zakończone oskrzelikami oddechowymi.

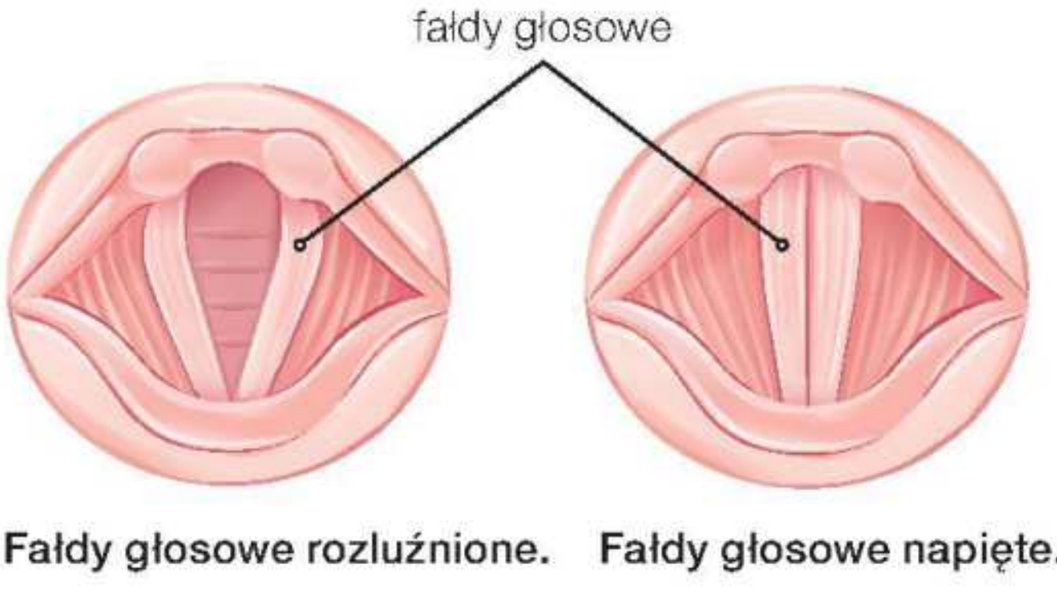
Oskrzela: główne, płatowe i segmentowe mają budowę podobną do budowy tchawicy – wyścieła je nabłonek wielorzędowy migawkowy, a w ścianach znajdują się mięśnie gładkie oraz chrząstki połączone tkanką łączną właściwą. W mniejszych oskrzelach i oskrzelikach nabłonek stopniowo traci rzęski, natomiast ściany nie mają chrząstek. W porównaniu z resztą dróg oddechowych przewody te zawierają więcej komórek mięśniowych.



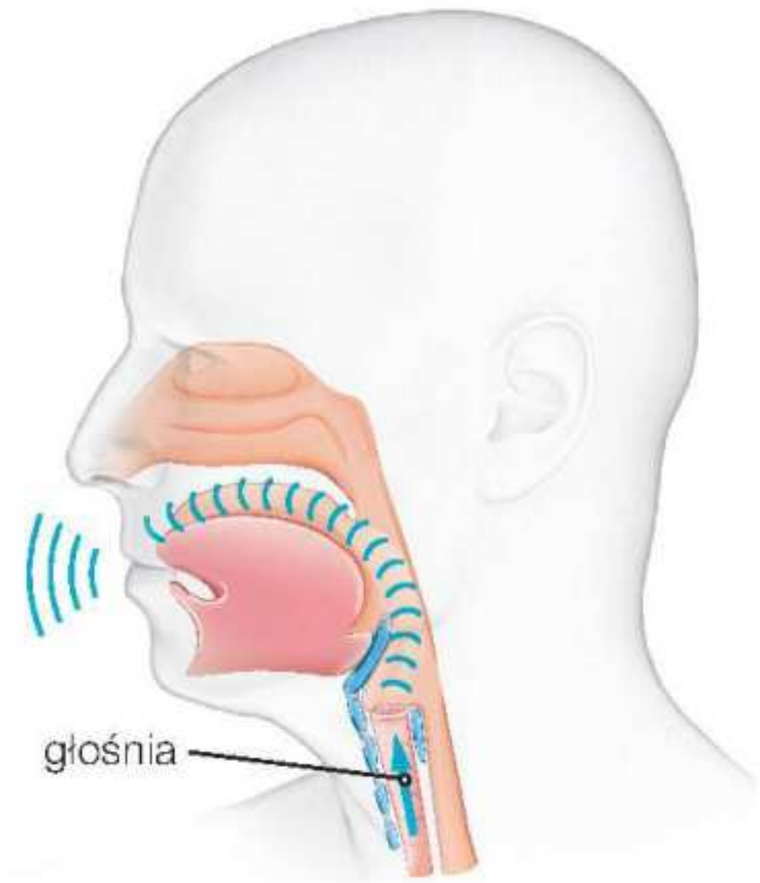
Drzewo oskrzelowe stanowi rusztowanie dla pęcherzyków płucnych.

Powstawanie głosu

Głos jest wytwarzany w części krtani zwanej głośnią. Znajdują się w niej fałdy głosowe, które wibrują pod wpływem przepływającego powietrza. Podczas spokojnego oddechu fałdy głosowe są rozluźnione i powietrze może swobodnie przechodzić przez krtań w czasie wdechów i wydechów. Kiedy fałdy głosowe są napięte i zbliżone do siebie, to przechodzące przez nie powietrze powoduje ich drgania. Wysokość głosu zależy od napięcia, długości i grubości fałdów głosowych. Natomiast na barwę głosu wpływają puste przestrzenie w kościach, np. jama nosowa i zatoki, które działają jak rezonatory.



Fałdy głosowe rozluźnione. **Fałdy głosowe napięte.**



Powietrze przepływa przez szparę głośni i wywołuje drganie fałdów głosowych.

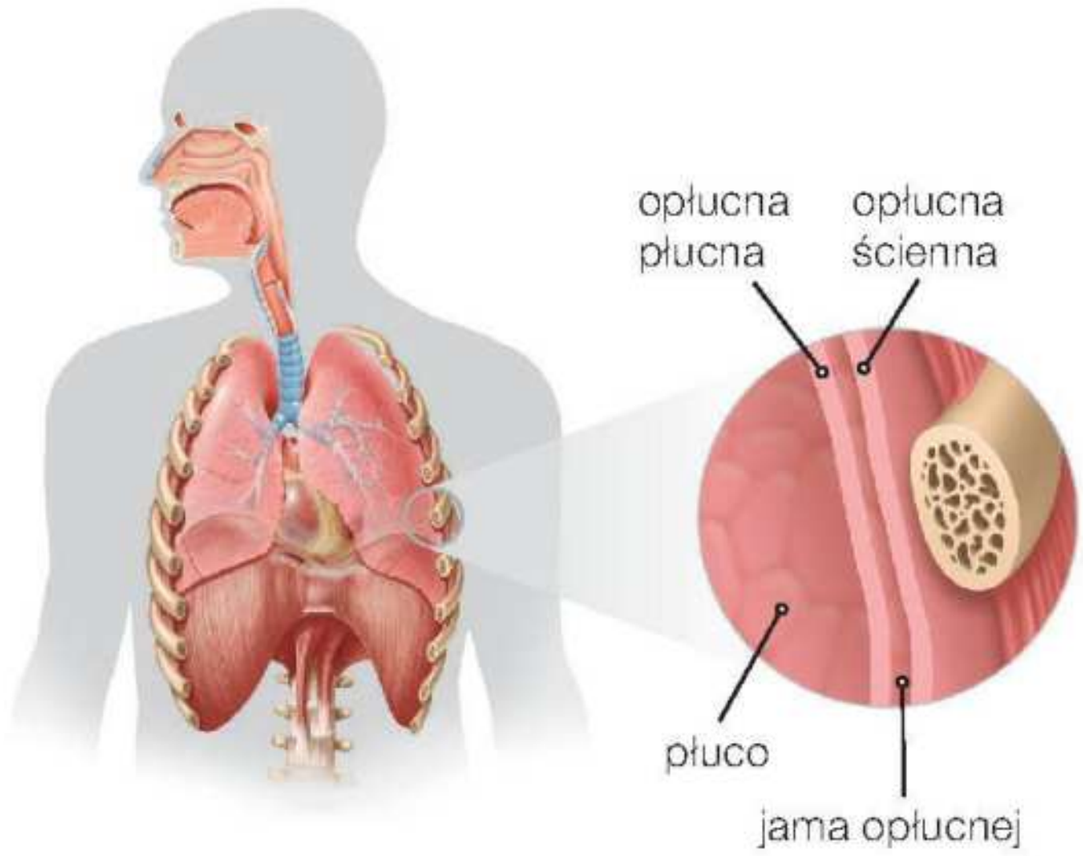
Płuca

Płuca są parzystymi narządami, w których dochodzi do wymiany gazowej między powietrzem pęcherzykowym a krwią. Płuco lewe jest mniejsze od płuca prawego, ponieważ serce znajduje się głównie w lewej części klatki piersiowej. Każde płuco jest podzielone na płaty zaopatrywane w powietrze przez oskrzela płatowe. Płuco prawe składa się z trzech płatów, natomiast płuco lewe z dwóch płatów. Każdy płat dzieli się na odrębne jednostki czynnościowe, zwane segmentami oskrzelowo-płucnymi. Docierają do nich oskrzela segmentowe i podsegmentowe, rozgałęziające się w oskrzeliki końcowe, które przechodzą następnie w oskrzeliki oddechowe. Oskrzeliki płucne są zakończone woreczkami, w których ścianach znajdują się pęcherzyki płucne. **Pęcherzyki płucne** tworzą grona, które stanowią anatomiczne i czynnościowe jednostki płuca. Ściany pęcherzyków płucnych są zbudowane z nabłonka jednowarstwowego płaskiego, zwanego **nabłonkiem oddechowym**, i oplecione gęstą siecią włosowatych naczyń krwionośnych. Wnętrze pęcherzyków jest pokryte **surfaktantem** – białkowo-lipidowym czynnikiem powierzchniowym zapobiegającym ich sklejaniu. Oba płuca zawierają 300–450 mln pęcherzyków, co daje ok. 100 m^2 powierzchni oddechowej.

Płuca okrywa z zewnątrz błona surowicza, zwana **opłucną**. Opłucna składa się z blaszki wewnętrznej (opłucnej płucnej) oraz blaszki zewnętrznej (opłucnej ściennej). Pomiędzy blaszkami znajduje się **jama opłucnej** wypełniona płynem surowiczym. Opłucna uczestniczy w mechanizmie wentylacji płuc oraz pełni funkcję ochronną – zmniejsza tarcie między powierzchnią płuc a ścianą klatki piersiowej oraz zapobiega zapadaniu się pęcherzyków płucnych.

Opłucna

Opłucna jest gładką łącznotkankową błoną pokrytą cienkim nabłonkiem. Opłucna płucna przylega ściśle do tkanki płuc, natomiast opłucna ścienna wyścieła wewnętrzną ścianę klatki piersiowej. W jamie opłucnej znajduje się płyn surowiczy, który umożliwia swobodne przemieszczanie obu blaszek opłucnej względem siebie oraz – dzięki siłom adhezji i kohezji – zapobiega ich rozdzielaniu się podczas ruchów oddechowych. Wewnątrz jamy opłucnej panuje ciśnienie ujemne, które umożliwia prawidłową pracę płuc.



Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij rolę układu oddechowego w funkcjonowaniu organizmu.
2. Wymień nazwy kolejnych odcinków dróg oddechowych oraz określ ich funkcje.
3. Opisz, w jaki sposób powstaje ludzki głos oraz od czego zależą jego wysokość i natężenie.
4. Wskaż cechy budowy płuc, które stanowią przystosowanie do wymiany gazowej.
5. Omów budowę i funkcje opłucnej.

5.3. Wentylacja płuc i wymiana gazowa

Zwróć uwagę na:
- mechanizm wentylacji płuc,
- wymianę gazową w płucach i w tkankach,
- budowę i funkcję hemoglobiny oraz jej powinowactwo do tlenu w różnych warunkach.

Na mechanizm oddychania składa się kilka powiązanych ze sobą procesów. Należą do nich: wentylacja płuc, wymiana gazowa zewnętrzna, transport gazów oddechowych za pośrednictwem krwi, wymiana gazowa wewnętrzna oraz oddychanie komórkowe.

Wentylacja płuc

Wentylacja płuc, czyli wymiana powietrza między płucami a środowiskiem zewnętrznym, składa się z rytmicznych wdechów i wydechów. Zachodzi ona dzięki mięśniom oddechowym, do których należą:

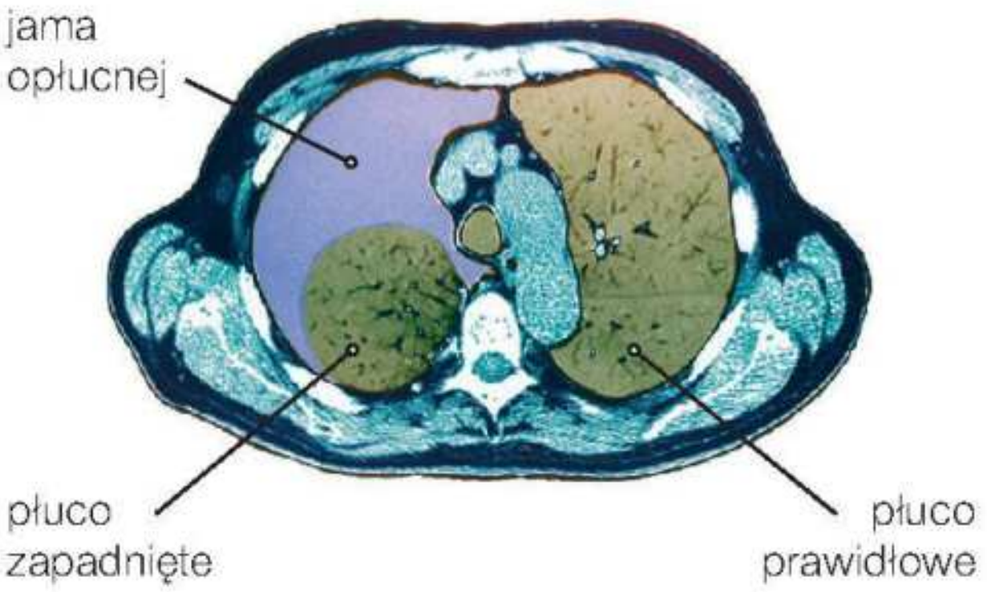
- przepona – płaski mięsień położony między jamą klatki piersiowej a jamą brzuszną,
- mięśnie międzyżebrowe, które znajdują się między poszczególnymi żebrami.

Wdech jest aktem czynnym, ponieważ odbywa się dzięki pracy mięśni oddechowych. Podczas wdechu skurcz przepony powoduje jej obniżenie oraz spłaszczenie, natomiast skurcz mięśni międzyżebrowych przesuwa żebra w przód oraz do góry. Następuje zwiększenie objętości klatki piersiowej, do której przylega opłucna ścienna, co powoduje powiększenie jamy opłucnej, a tym samym – znaczny spadek ciśnienia w jej obrębie. Wówczas opłucna płucna podąża za opłucną ścienną oraz za ruchem klatki piersiowej, co skutkuje wzrostem objętości płuc. Pęcherzyki płucne rozciągają się, a ciśnienie w ich wnętrzu spada poniżej wartości ciśnienia atmosferycznego. Powstająca różnica ciśnień wywołuje napływ powietrza z dróg oddechowych do płuc.

Wydech jest aktem biernym, który odbywa się bez udziału pracy mięśni. W jego trakcie zachodzą: rozkurcz przepony, która unosi się i uwypukla, a także rozkurcz mięśni międzyżebrowych, powodujący przesunięcie żeber w tył oraz w dół. Zmniejszenie objętości klatki piersiowej pociąga za sobą zmniejszenie jamy opłucnej, a w rezultacie – znaczny wzrost ciśnienia w jej obrębie. Dzięki temu zmniejsza się również objętość płuc, pęcherzyki płucne zwężają się, a ciśnienie w ich wnętrzu rośnie powyżej wartości ciśnienia atmosferycznego. Powstająca różnica ciśnień wywołuje odpływ powietrza z płuc do dróg oddechowych. Niekiedy, np. podczas kichania czy kaszlu, zachodzą wydechy aktywne, wymagające pracy mięśni międzyżebrowych i przepony, a czasem również mięśni brzucha i grzbietu.

Czy wiesz, że...

Przebicie ściany klatki piersiowej powoduje gwałtowny napływ powietrza atmosferycznego między blaszki opłucnej. Ciśnienie wewnątrz jamy opłucnej wyrównuje się wtedy z ciśnieniem atmosferycznym, a płuco zapada się i przestaje pełnić swoją funkcję. Stan taki nosi nazwę odmy.

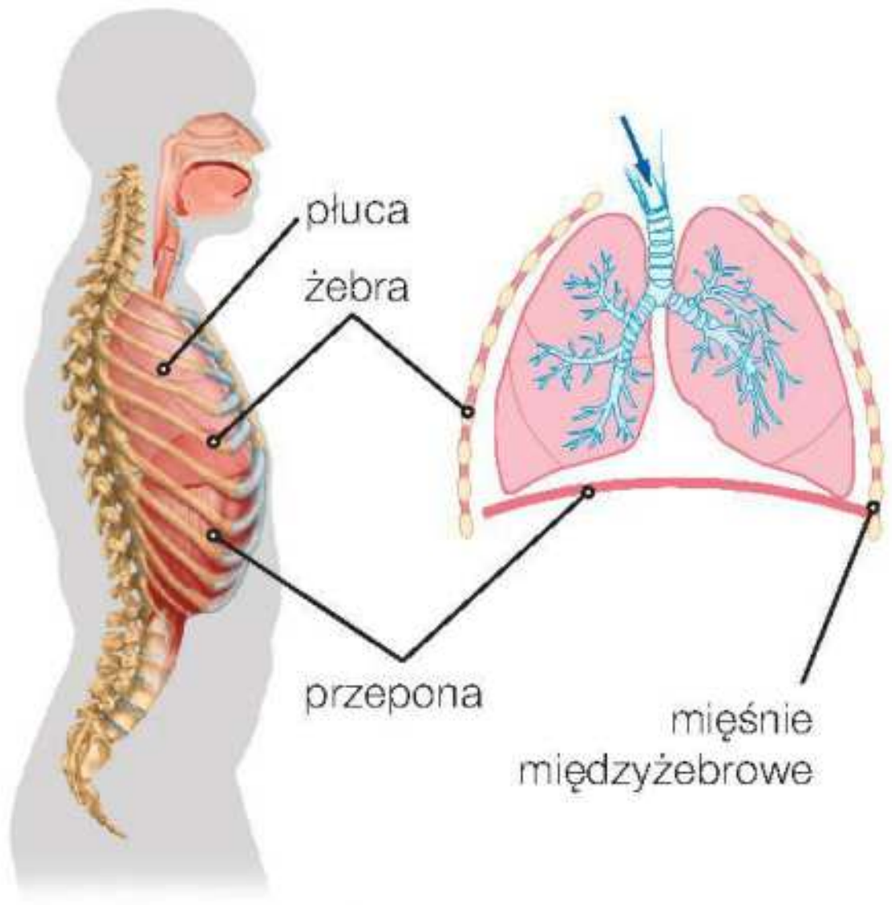


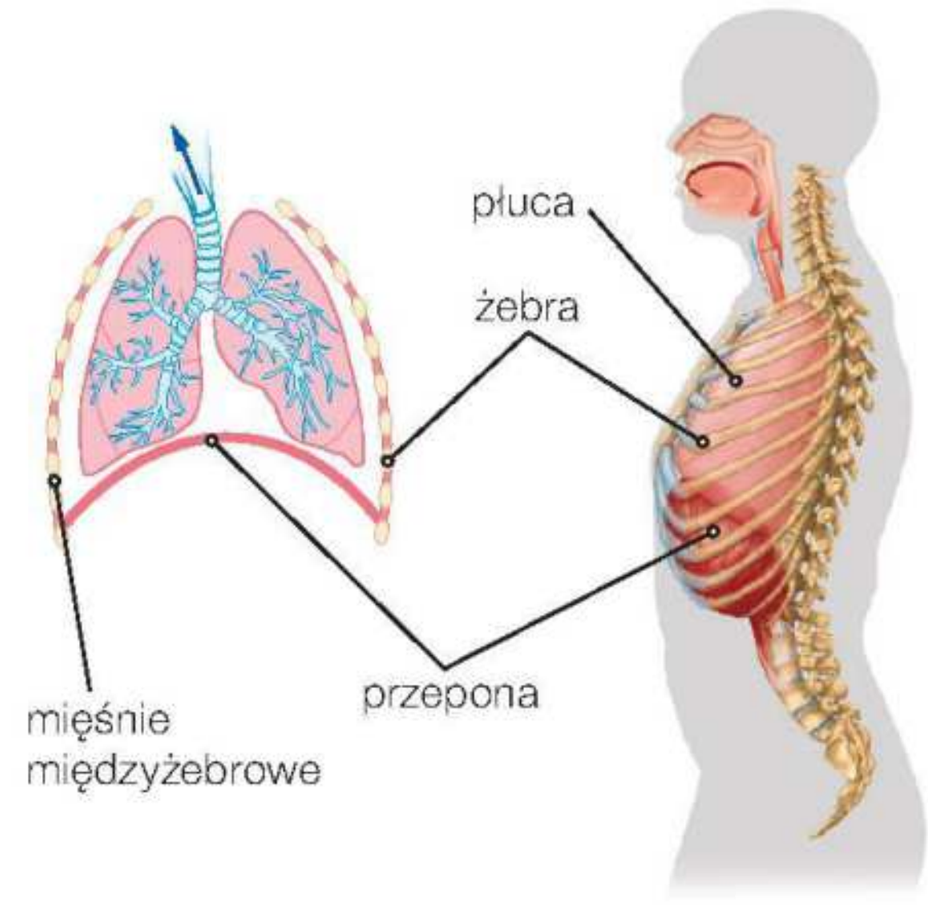
Obraz tomograficzny odmy lewego płuca.

Podczas wentylacji płuc mogą przeważać ruchy żeber (oddychanie piersiowe) lub przepony (oddychanie brzuszne). Oddychanie piersiowe jest charakterystyczne dla kobiet, a oddychanie brzuszne – dla mężczyzn i osób z chorobami płuc.

Mechanizm wentylacji płuc

Wentylacja płuc, czyli wymiana powietrza w płucach, składa się z rytmicznych wdechów i wydechów. Zachodzi ona dzięki pracy mięśni oddechowych.





Wdech

- Skurcz przepony powoduje jej obniżenie i spłaszczenie, natomiast skurcz mięśni międzyżebrowych przesuwa żebra w przód oraz do góry.
- Skurcz mięśni oddechowych prowadzi do zwiększenia objętości klatki piersiowej, co skutkuje spadkiem ciśnienia w pęcherzykach płucnych. Dzięki temu płuca wypełniają się powietrzem.

Wydech

- Rozkurcz przepony powoduje jej uniesienie i uwypuklenie, natomiast rozkurcz mięśni międzyżebrowych przesuwa żebra w tył oraz w dół.
- Rozkurcz mięśni oddechowych prowadzi do zmniejszenia objętości klatki piersiowej, co skutkuje wzrostem ciśnienia w pęcherzykach płucnych. Dzięki temu powietrze zostaje usunięte z płuc.

Pojemność płuc

Całkowita pojemność płuc, czyli maksymalna objętość gazów, która może się zmieścić w płucach, zależy od płci, wieku, rozmiarów ciała (masy i wzrostu), trybu życia i stanu zdrowia. U dorosłego człowieka wynosi ona ok. 5 dm^3. Pojemność życiowa płuc to ilość powietrza wprowadzonego do płuc przy maksymalnym wdechu poprzedzonym maksymalnym wydechem. Wynosi ona ok. 4 dm^3. Pozostałą część – ok. 1 dm^3 – stanowi powietrze zalegające w pęcherzykach płucnych. Na pojemność życiową płuc składają się: objętość oddechowa, objętość zapasowa wdechowa oraz objętość zapasowa wydechowa. Objętość oddechową – ok. 0,5 dm^3 – stanowi powietrze, które dostaje się do płuc przy spokojnym wdechu lub zostaje usunięte podczas spokojnego wydechu. Pogłębiając wdech, można zmieścić w płucach dodatkowe 2,5 dm^3 powietrza (objętość zapasowa wdechowa), natomiast pogłębiając wydech, można usunąć dodatkowo ok. 1 dm^3 powietrza (objętość zapasowa wydechowa).

<table>
<tr><th colspan="3">Pojemność płuc</th></tr>
<tr><td rowspan="4">całkowita pojemność płuc (5 dm^3)</td><td rowspan="3">pojemność życiowa płuc (4 dm^3)</td><td>objętość zapasowa wdechowa (2,5 dm^3)</td></tr>
<tr><td>objętość oddechowa (0,5 dm^3)</td></tr>
<tr><td>objętość zapasowa wydechowa (1 dm^3)</td></tr>
<tr><td colspan="2">powietrze zalegające (1 dm^3)</td></tr>
</table>

Regulacja częstości oddechów

O częstości wykonywanych oddechów decyduje ośrodek oddechowy umiejscowiony w pniu mózgu. W skład ośrodka oddechowego wchodzą:

- **ośrodek wdechu**, którego neurony rozpoczynają czynność oddechową, wysyłając impulsy pobudzające mięśnie wdechowe,
- **ośrodek wydechu**, który pobudza mięśnie wydechowe podczas wydechów aktywnych.

O naprzemiennym występowaniu wdechu i wydechu decyduje **ośrodek pneumotaksyczny**, również zlokalizowany w pniu mózgu.

Liczba oddechów zmienia się w zależności od zawartości gazów oddechowych w powietrzu atmosferycznym lub zapotrzebowania organizmu, np. wzrasta podczas wysiłku fizycznego, a maleje podczas snu.

Ośrodek oddechowy reaguje przede wszystkim na wzrost stężenia dwutlenku węgla we krwi. Gaz ten wchodzi w reakcję z wodą zawartą w osoczu krwi, tworząc kwas węglowy (H_2CO_3), który dysocjuje na jony wodorowe (H^+) i jony wodorowęglanowe (HCO_3^-). Zwiększenie stężenia jonów wodorowych obniża pH krwi poniżej tolerowanej wartości (pH = 7,35). Rejestrują to wyspecjalizowane komórki receptorowe pnia mózgu oraz chemoreceptory ścian aorty i tętnicy szyjnej. Pobudzony przez nie ośrodek oddechowy wysyła za pomocą neuronów dyspozycje do mięśni oddechowych, które zwiększają tempo i głębokość oddechów. Sytuacja taka utrzymuje się do czasu, aż pH krwi osiągnie prawidłową wartość. Znaczący spadek stężenia tlenu we krwi tętniczej (np. podczas przebywania na dużych wysokościach) również wpływa na ośrodek oddechowy, w konsekwencji zwiększając wentylację płuc.

Czy wiesz, że...

Płuca płodu są wypełnione płynem, a jego krew zawiera niewielką ilość dwutlenku węgla. Pierwszy wdech dziecko wykonuje w czasie porodu, kiedy dochodzi do przerwania krążenia łożyskowego, nagromadzenia dwutlenku węgla we krwi i pobudzenia ośrodka oddechowego.

Wymiana gazowa w płucach i tkankach

Wdychane powietrze zawiera głównie azot, tlen i dwutlenek węgla. Składniki powietrza wydychanego są takie same, występują jednak w innych proporcjach. Odmienny skład ilościowy powietrza wdychanego i wydychanego świadczy o zachodzącej wymianie gazowej. Wymiana ta odbywa się na zasadzie dyfuzji, a jej kierunek i tempo są uwarunkowane różnicą ciśnień parcjalnych gazów. Każdy gaz przenika ze środowiska o wyższym ciśnieniu parcjalnym do środowiska o niższym ciśnieniu parcjalnym. Wyróżnia się wymianę gazową zewnętrzną oraz wymianę gazową wewnętrzną.

Wymiana gazowa zewnętrzna odbywa się między pęcherzykami płucnymi a krwią. Tlen dyfunduje z powietrza znajdującego się w pęcherzykach płucnych do krwi, która przepływa przez naczynia włosowate. Dwutlenek węgla dyfunduje w przeciwnym kierunku.

Skład powietrza wdychanego i wydychanego



Powietrze wdychane.



Powietrze wydychane.

Wymiana gazowa wewnętrzna zachodzi między krwią a komórkami. Krew, która opuszcza płuca, zawiera znaczną ilość tlenu. Dociera ona do wszystkich komórek ciała, gdzie oddaje tlen potrzebny do oddychania komórkowego. Ubocznym produktem oddychania komórkowego jest dwutlenek węgla. W efekcie zawartość tlenu w komórkach jest zawsze mniejsza niż we krwi, a dwutlenku węgla – zawsze większa. Gazy dyfundują więc ponownie zgodnie z różnicą ciśnień parcjalnych: tlen z krwi do komórek, a dwutlenek węgla z komórek do krwi.

Udział krwi w transporcie tlenu i dwutlenku węgla

Transport gazów oddechowych odbywa się przy udziale krwinek czerwonych i osocza.

Transport tlenu

Cząsteczki tlenu po przejściu przez ściany pęcherzyka płucnego i naczynia włosowatego rozpuszczają się w osoczu, po czym dyfundują do erytrocytów. Tam łączą się odwracalnie z jonem Fe^{2+} grupy hemowej hemoglobiny. Jedna cząsteczka hemoglobiny wiąże cztery cząsteczki tlenu, tworząc **oksyhemoglobinę** – Hb_4O_8. Wiązanie tlenu z hemoglobiną nosi nazwę **utlenowania**, ponieważ zachodzi bez zmiany stopnia utlenienia żelaza. **Krew utlenowana** (tętnicza) ma jasnoczerwoną barwę. Systemem tętnic dociera ona do tkanek ciała, gdzie oddaje tlen i staje się **krwią odtlenowaną** (żylną) o ciemnoczerwonej barwie.

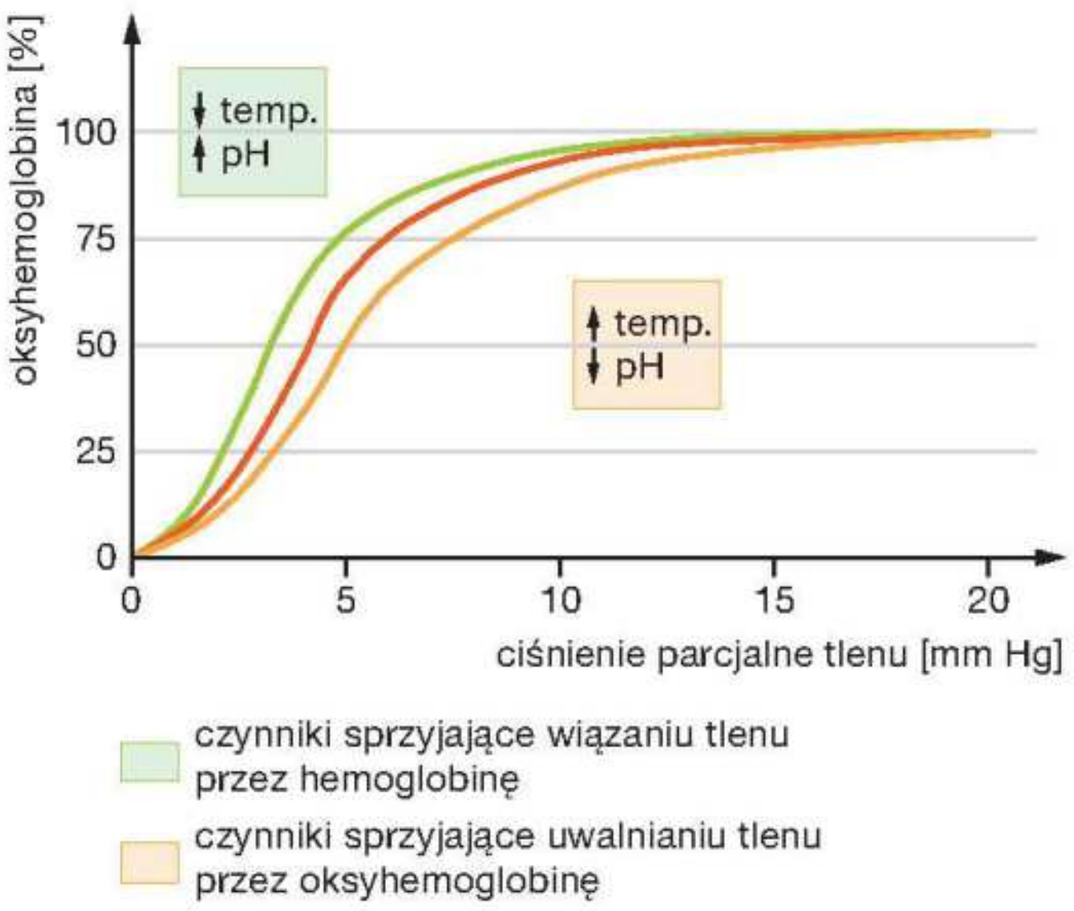
Reakcja łączenia hemoglobiny z tlenem jest odwracalna i – w zależności od warunków – może przebiegać w obu kierunkach:

$$Hb_4 + 4\,O_2 \Leftrightarrow Hb_4O_8$$

Kierunek reakcji zależy głównie od:

- ciśnienia parcjalnego tlenu (PO_2) – kiedy ciśnienie parcjalne tlenu jest wysokie, zachodzi przyłączanie tlenu do hemoglobiny. Kiedy ciśnienie parcjalne tlenu jest niskie, zachodzi rozkład oksyhemoglobiny i uwolnienie tlenu, który dyfunduje do tkanek;
- ciśnienia parcjalnego dwutlenku węgla (PCO_2) – kiedy ciśnienie parcjalne dwutlenku węgla jest niskie, zachodzi przyłączanie tlenu do hemoglobiny. Kiedy ciśnienie parcjalne dwutlenku węgla jest wysokie, zachodzi rozkład oksyhemoglobiny i uwolnienie tlenu, który dyfunduje do tkanek;
- pH – niskie stężenie jonów H^+ sprzyja łączeniu się tlenu z hemoglobiną, natomiast wysokie stężenie jonów H^+ sprzyja rozkładowi oksyhemoglobiny;
- temperatury – obniżenie temperatury sprzyja łączeniu się tlenu z hemoglobiną, natomiast podwyższenie temperatury sprzyja rozkładowi oksyhemoglobiny.

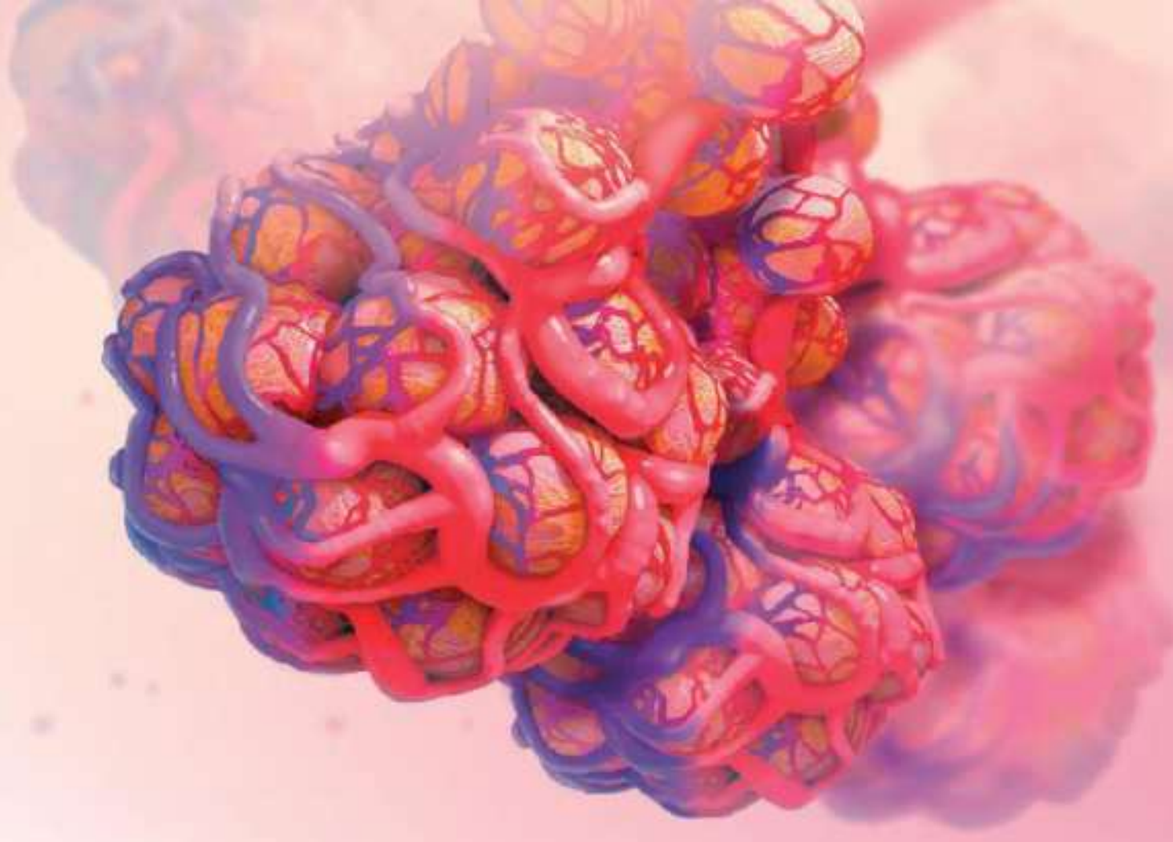
Zawartość procentowa oksyhemoglobiny w zależności od ciśnienia parcjalnego tlenu



Na syntezę i rozkład oksyhemoglobiny wpływa również obecność 2,3-bisfosfoglicerynianu (BPG) w erytrocytach. Związek ten jest jednym z produktów glikolizy, a jego stężenie w krwinkach czerwonych jest bliskie stężeniu hemoglobiny. BPG nie łączy się z hemoglobiną utlenowaną, natomiast łatwo łączy się z hemoglobiną odtlenowaną, zmniejszając jej powinowactwo do tlenu. Ma to duże znaczenie podczas oddawania tlenu w tkankach. Oddysocjowanie jednej cząsteczki tlenu od hemoglobiny powoduje związanie BPG, co z kolei ułatwia odłączanie się kolejnych cząsteczek tlenu.

Wymiana gazowa

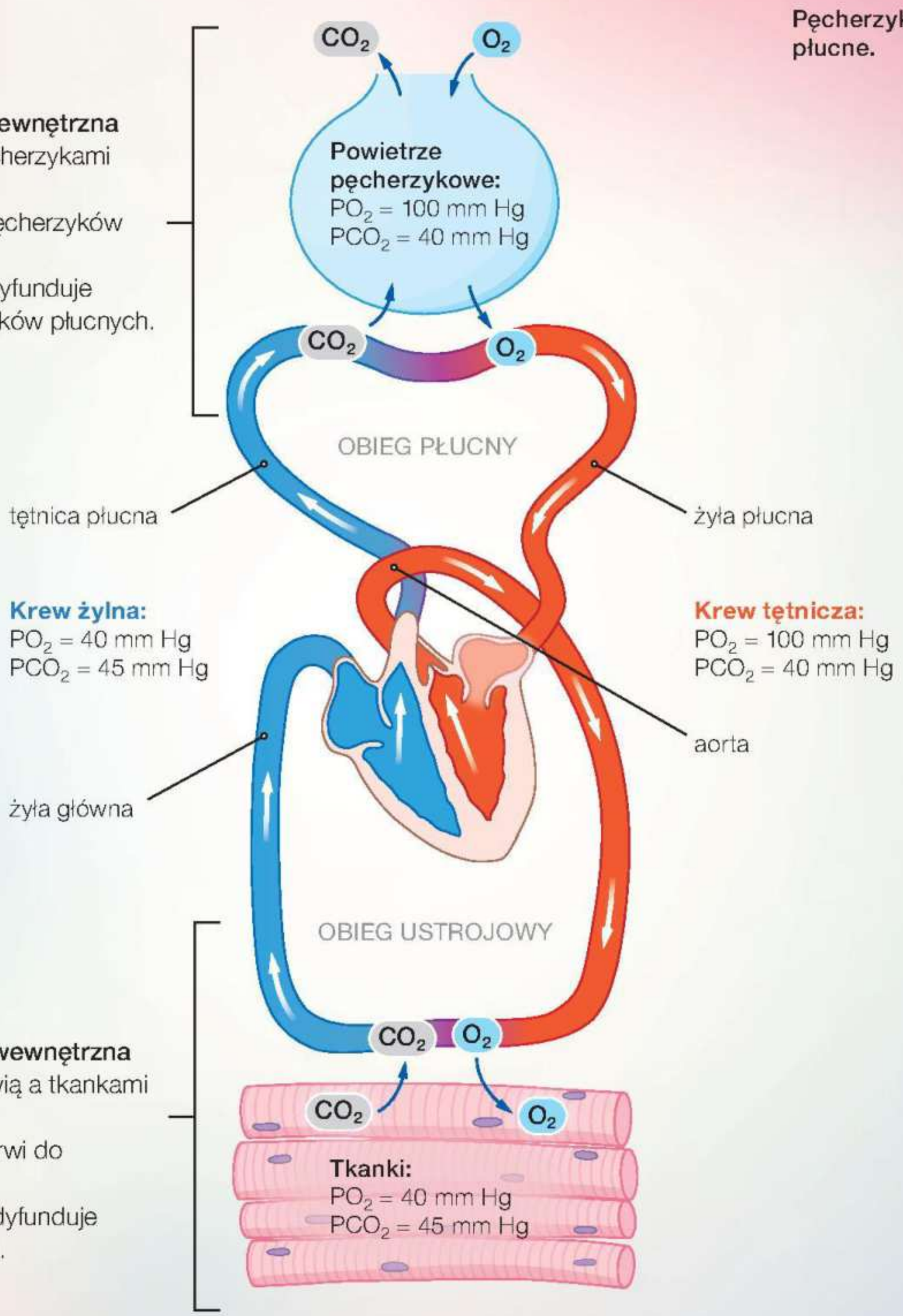
Wymiana gazowa to dyfuzja tlenu i dwutlenku węgla między wnętrzem organizmu a środowiskiem zewnętrznym. Odbywa się ona zgodnie z różnicą ciśnień parcjalnych gazów oddechowych.



Pęcherzyki płucne.

Wymiana gazowa zewnętrzna zachodzi między pęcherzykami płucnymi a krwią.

- Tlen dyfunduje z pęcherzyków płucnych do krwi.
- Dwutlenek węgla dyfunduje z krwi do pęcherzyków płucnych.

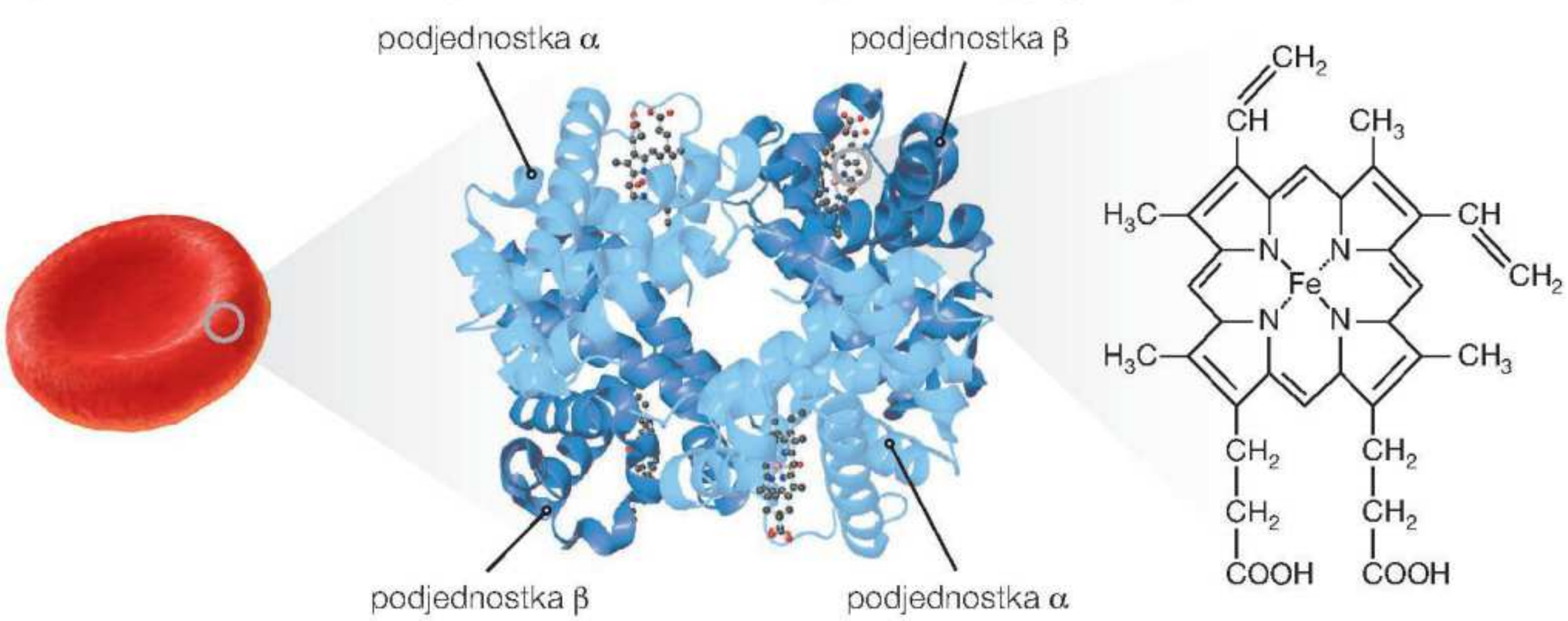


Wymiana gazowa wewnętrzna zachodzi między krwią a tkankami ciała.

- Tlen dyfunduje z krwi do komórek.
- Dwutlenek węgla dyfunduje z komórek do krwi.

Hemoglobina

Hemoglobina jest białkiem złożonym o strukturze czwartorzędowej. Jej cząsteczka składa się z czterech podjednostek białkowych, zwanych globinami, z których każda zawiera jedną cząsteczkę hemu. W centrum cząsteczki hemu znajduje się dwuwartościowy jon żelaza (Fe^{2+}), który umożliwia wiązanie tlenu. Hemoglobina pod wpływem związania pierwszej cząteczki tlenu zmienia swój kształt, co ułatwia wiązanie następnych cząsteczek.



Erytrocyt. **Hemoglobina.** **Hem.**

Wyróżnia się kilka rodzajów hemoglobiny, m.in. hemoglobinę A (HbA), która występuje u osoby dorosłej, oraz hemoglobinę F (HbF), która występuje u płodu. Hemoglobina A składa się z dwóch podjednostek α oraz dwóch podjednostek β, natomiast hemoglobina F – z dwóch podjednostek α oraz dwóch podjednostek γ.

Transport dwutlenku węgla

Kierunek dyfuzji dwutlenku węgla jest przeciwny do kierunku dyfuzji tlenu. Dwutlenek węgla dyfunduje z tkanek, gdzie jego ciśnienie parcjalne jest duże, do krwi, gdzie jego ciśnienie parcjalne jest małe. Dwutlenek węgla jest transportowany przez krew w formie:

- fizycznie rozpuszczonej w osoczu, a także w połączeniu z białkami osocza – ok. 10%,
- związanej z hemoglobiną – jako karbaminohemoglobina ($HbCO_2$) – ok. 20%,
- jonów wodorowęglanowych (HCO_3^-) – ok. 70%.

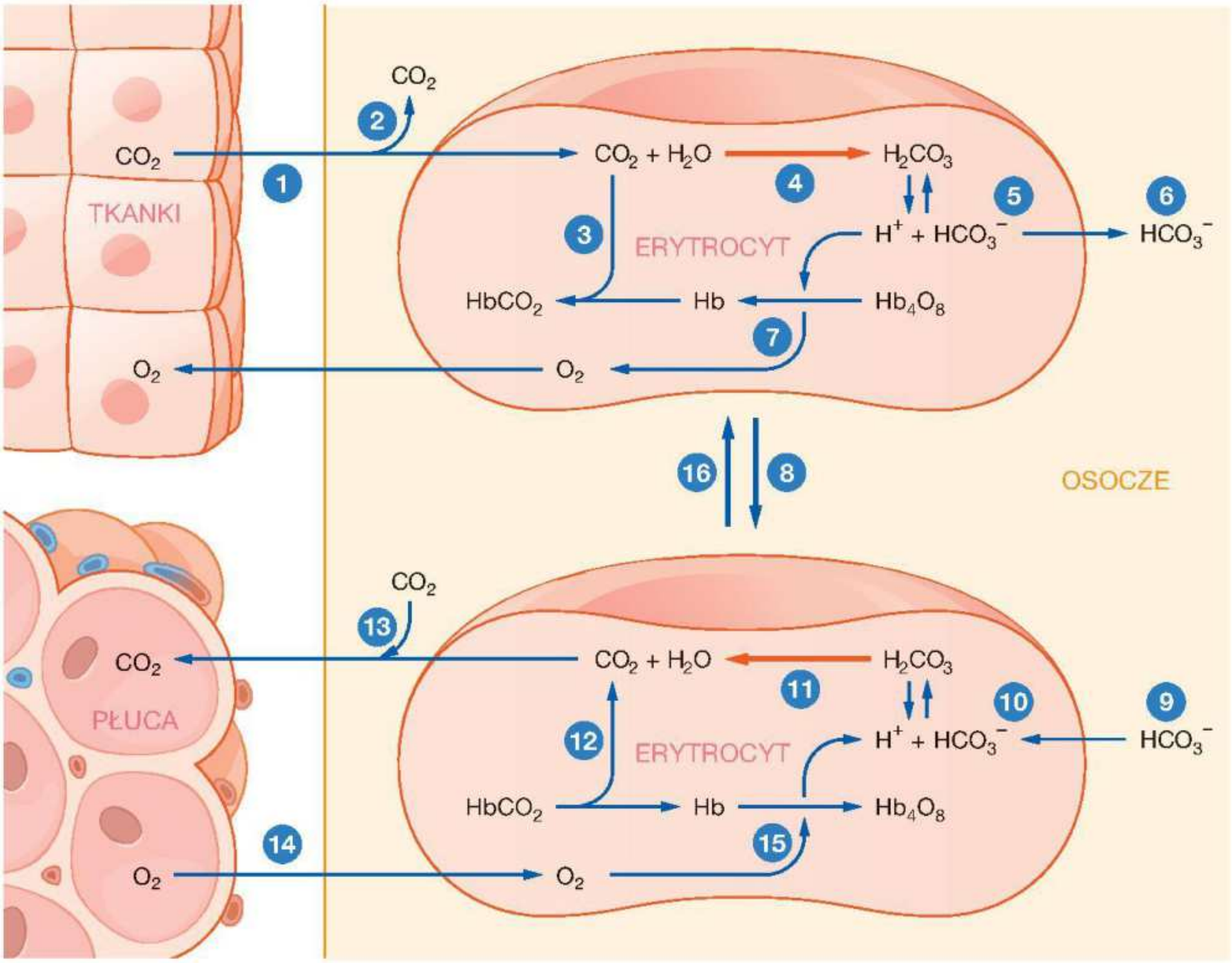
Jony wodorowęglanowe powstają podczas dwóch następujących po sobie reakcji:

$$CO_2 + H_2O \xleftrightarrow{\text{anhydraza węglanowa}} H_2CO_3$$

$$H_2CO_3 \Leftrightarrow H^+ + HCO_3^-$$

W erytrocytach znajduje się enzym anhydraza węglanowa. Katalizuje on zarówno reakcję syntezy kwasu węglowego z dwutlenku węgla i wody, jak i reakcję rozkładu kwasu węglowego do dwutlenku węgla i wody. We krwi obwodowej, w której stężenie dwutlenku węgla jest duże, reakcja przebiega w kierunku syntezy kwasu węglowego. Kwas ten dysocjuje na jon wodorowy oraz jon wodorowęglanowy. Większość jonów wodorowęglanowych dyfunduje z erytrocytów do osocza krwi i jest w tej formie transportowana do płuc. W naczyniach płucnych zachodzi łączenie jonów wodorowęglanowych z jonami wodorowymi i powstaje kwas węglowy. Anhydraza węglanowa w warunkach wysokiego stężenia tlenu i niskiego stężenia dwutlenku węgla katalizuje reakcję rozkładu kwasu węglowego. Równocześnie zachodzi odłączanie dwutlenku węgla od karbaminohemoglobiny. Powstały gaz dyfunduje z erytrocytów do osocza i wraz z dwutlenkiem węgla transportowanym przez osocze jest uwalniany do wnętrza pęcherzyków płucnych, a następnie wydalany z organizmu.

Mechanizm transportu gazów oddechowych



reakcje katalizowane przez anhydrazę węglanową

Wymiana gazowa w tkankach

1. Dwutlenek węgla przenika z tkanek ciała do osocza krwi.
2. 10% tego gazu rozpuszcza się fizycznie w osoczu, a 90% dyfunduje do erytrocytów.
3. 20% dwutlenku węgla obecnego w erytrocytach łączy się z hemoglobiną, tworząc karbaminohemoglobinę ($HbCO_2$).
4. 70% dwutlenku węgla obecnego w erytrocytach reaguje z wodą, tworząc kwas węglowy.
5. Kwas węglowy dysocjuje na jony wodorowęglanowe oraz jony wodorowe.
6. Jony wodorowęglanowe są transportowane do osocza krwi.
7. Jony wodorowe ułatwiają dysocjację oksyhemoglobiny (Hb_4O_8), uwolniony tlen dyfunduje zaś do osocza krwi, a następnie do tkanek.
8. Erytrocyty wędrują naczyniami do płuc.

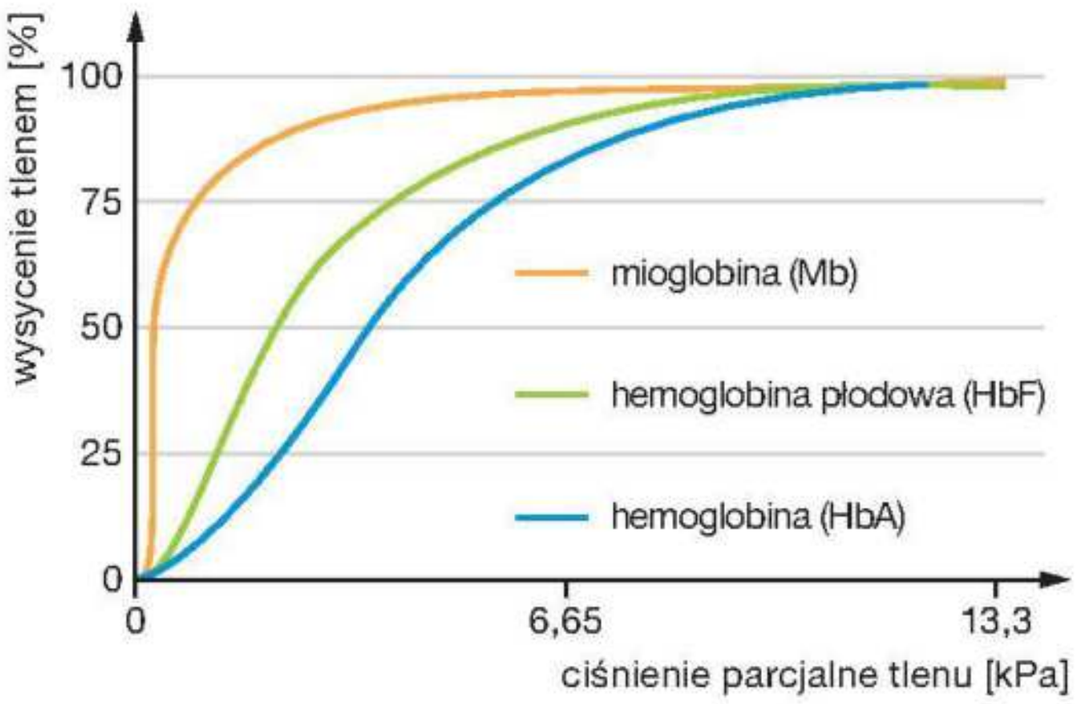
Wymiana gazowa w płucach

9. Jony wodorowęglanowe są transportowane z osocza krwi do erytrocytów.
10. Jony wodorowęglanowe tworzą z jonami wodorowymi kwas węglowy.
11. Kwas węglowy ulega rozkładowi do wody i dwutlenku węgla.
12. Jednocześnie karbaminohemoglobina uwalnia dwutlenek węgla.
13. Dwutlenek węgla dyfunduje z erytrocytów do osocza krwi, a następnie do pęcherzyków płucnych.
14. Tlen wnika z pęcherzyków płucnych do erytrocytów.
15. W erytrocytach tlen łączy się z hemoglobiną, tworząc oksyhemoglobinę. Proces ten ułatwia zmniejszone stężenie jonów wodorowych.
16. Erytrocyty wędrują naczyniami do tkanek.

Inne białka wiążące tlen

Pracujące mięśnie szkieletowe nieustannie potrzebują tlenu do uzyskiwania energii. Białkiem magazynującym tlen w mięśniach jest mioglobina (Mb), której cząsteczki, podobnie jak cząsteczki hemoglobiny, zawierają żelazo na drugim stopniu utlenienia (Fe^{2+}). Powinowactwo mioglobiny do tlenu jest większe niż hemoglobiny, dlatego kiedy utlenowana krew przepływa przez mięśnie, tlen odłącza się od hemoglobiny i wiąże się odwracalnie z mioglobiną. Uwalnianie tlenu przez mioglobinę jest jednak trudniejsze niż jego wiązanie – zachodzi dopiero wówczas, gdy ciśnienie parcjalne tlenu w mięśniach jest bardzo niskie.

Na podobnej zasadzie odbywa się dostarczanie tlenu do organizmu płodu w czasie ciąży. Hemoglobina występująca u płodu (HbF) łatwiej łączy się z tlenem niż hemoglobina występująca u osoby dorosłej (HbA). Dzięki temu w łożysku następuje przekazywanie tlenu z krwi matki do krwi dziecka.



Porównanie wiązania tlenu przez hemoglobinę z wiązaniem tlenu przez mioglobinę.

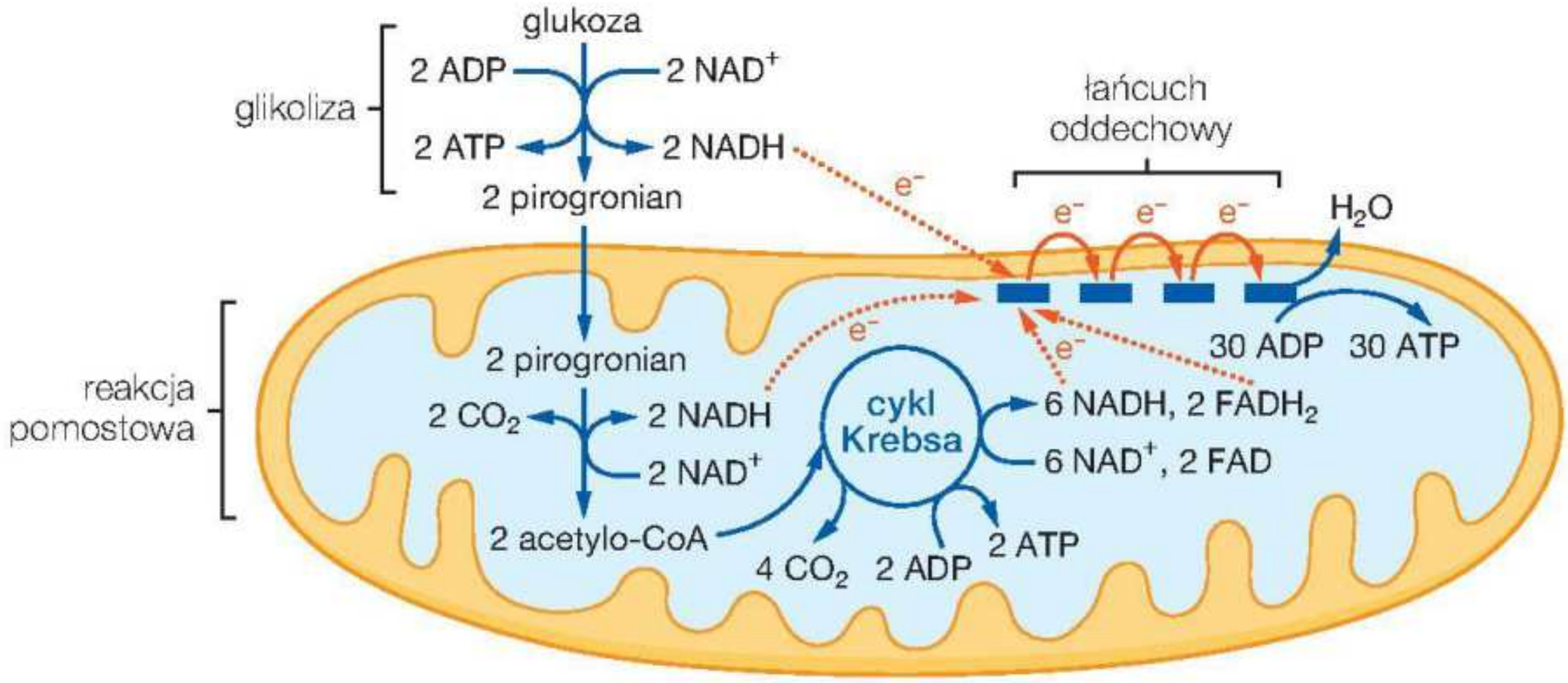
Przypomnij sobie

Oddychanie komórkowe

W większości komórek człowieka zachodzi oddychanie tlenowe. Jedynie włókna mięśniowe w warunkach deficytu tlenowego oraz erytrocyty uzyskują energię dzięki fermentacji mleczanowej.

Oddychanie tlenowe składa się z czterech głównych etapów:

- glikolizy, która zachodzi w cytozolu komórki,
- reakcji pomostowej, która przebiega w matrix mitochondrium,
- cyklu Krebsa, który zachodzi w matrix mitochondrium,
- łańcucha oddechowego, który zachodzi w wewnętrznej błonie mitochondrium.



Oddychanie tlenowe.

Czy wiesz, że...

Neuroglobina, którą odkryto w 2000 r., jest białkiem podobnym do mioglobiny. Funkcją neuroglobiny jest magazynowanie tlenu w tkance nerwowej, przede wszystkim w mózgowiu.

Współczynnik oddechowy

Współczynnik oddechowy (RQ) to stosunek objętości dwutlenku węgla wytworzonego w procesie oddychania tlenowego do objętości tlenu zużytego w trakcie tego procesu. Wartości współczynnika oddechowego są różne dla różnych substratów oddechowych, np. dla glukozy RQ = 1 ($RQ_{glukoza} = 6\ CO_2 / 6\ O_2 = 1$), natomiast dla kwasu palmitynowego RQ = 0,707.

Wartość współczynnika oddechowego zależy również od kierunku przemian metabolicznych. Przewaga przemian anabolicznych skutkuje wzrostem wartości współczynnika oddechowego, natomiast przewaga przemian katabolicznych działa odwrotnie.

Doświadczenie

Badanie zawartości dwutlenku węgla w powietrzu wdychanym i wydychanym

- **Problem badawczy:** Czy ilość dwutlenku węgla w powietrzu wdychanym i wydychanym jest taka sama?
- **Hipoteza:** Powietrze wydychane zawiera więcej dwutlenku węgla niż powietrze wdychane.
- **Przebieg doświadczenia**

  Próba badawcza: zlewka z wodą wapienną, do której ostrożnie wydychamy powietrze przez słomkę.

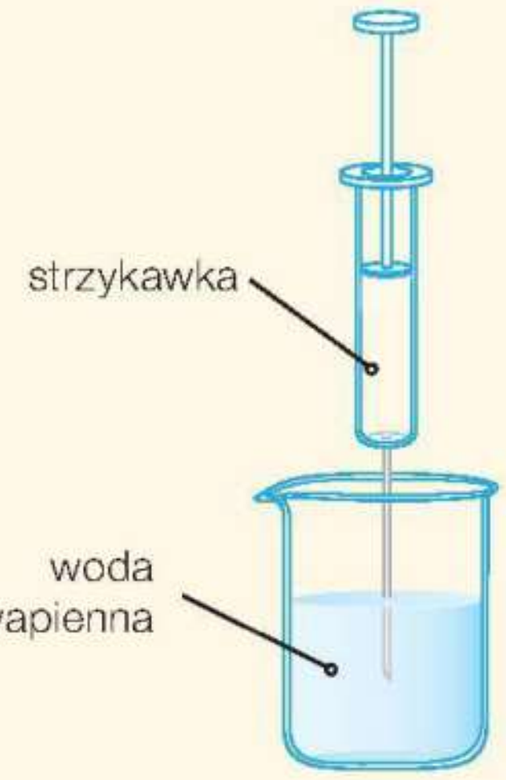
  Próba kontrolna: zlewka z wodą wapienną, do której wtłaczamy powietrze strzykawką lub gruszką.

Przygotuj dwie zlewki, wodę wapienną, słomkę oraz strzykawkę. Nalej do obu zlewek wody wapiennej. Następnie do jednej zlewki wdmuchnij słomką powietrze z płuc, a do drugiej wtłocz za pomocą strzykawki powietrze atmosferyczne, które wdychasz.

Próba badawcza



Próba kontrolna



- **Wynik**: Porównaj stopień zmętnienia wody wapiennej w obu zlewkach.
- **Wniosek**: Sformułuj wniosek.
- **Wyjaśnienie:** Wszystkie zasady pochłaniają CO_2 z powietrza. W reakcji $Ca(OH)_2$ z CO_2 powstaje trudno rozpuszczalna sól $CaCO_3$, która powoduje mętnienie wody wapiennej.

Wpływ ciśnienia zewnętrznego na wymianę gazową

Zmiany ciśnienia atmosferycznego wpływają na zmiany ciśnienia parcjalnego poszczególnych gazów. Przyjmuje się, że ciśnienie atmosferyczne na poziomie morza wynosi 1 atm (atmosferę), czyli 1013,25 hPa, a ciśnienie parcjalne tlenu w tych warunkach – 212,8 hPa. Wraz ze wzrostem wysokości powyżej poziomu morza następuje spadek ciśnienia, co z kolei powoduje zmniejszenie ciśnienia parcjalnego gazów w powietrzu. Na wysokości 5500 m n.p.m. ciśnienie atmosferyczne jest równe połowie wartości ciśnienia na poziomie morza – czyli ok. 507 hPa. Ciśnienie parcjalne tlenu także wynosi połowę swej wartości, czyli ok. 106 hPa. W takich warunkach osoby niezaaklimatyzowane tracą przytomność z powodu braku tlenu. Podczas dłuższego przebywania na dużych wysokościach organizm adaptuje się do nowych warunków. Jedną z pierwszych reakcji jest zwiększenie głębokości oraz częstości oddechów w celu poprawienia wentylacji płuc. Następnie zwiększa się tempo skurczów serca, co wpływa na wzrost wydajności transportowej krwi. Przy dłużej trwającym niedotlenieniu obserwuje się również zmiany we krwi, polegające na zwiększeniu liczby erytrocytów oraz ilości hemoglobiny.

Jak ciśnienie atmosferyczne wpływa na wymianę gazową?

Wspinaczka wysokogórska

W górach, gdzie ciśnienie atmosferyczne maleje wraz ze wzrostem wysokości, zmniejsza się również ciśnienie parcjalne tlenu w pęcherzykach płucnych. Brak wcześniejszego zaadaptowania do warunków wysokogórskich może spowodować trudności w wymianie gazowej, a w konsekwencji – chorobę wysokościową, prowadzącą do obrzęku płuc i mózgu.

Rdzenni mieszkańcy wysokich gór, np. przedstawiciele himalajskiego plemienia Szerpów, nie zapadają na chorobę wysokościową. W porównaniu z mieszkańcami nizin mają oni większą objętość płuc, większą liczbę czerwonych krwinek, wyższe powinowactwo hemoglobiny do tlenu w obrębie płuc oraz niższe powinowactwo tlenu do hemoglobiny w obrębie tkanek. Ze względu na te cechy Szerpowie są świetnymi wspinaczami (np. w styczniu 2021 r. jako pierwsi zdobyli K2 zimą).

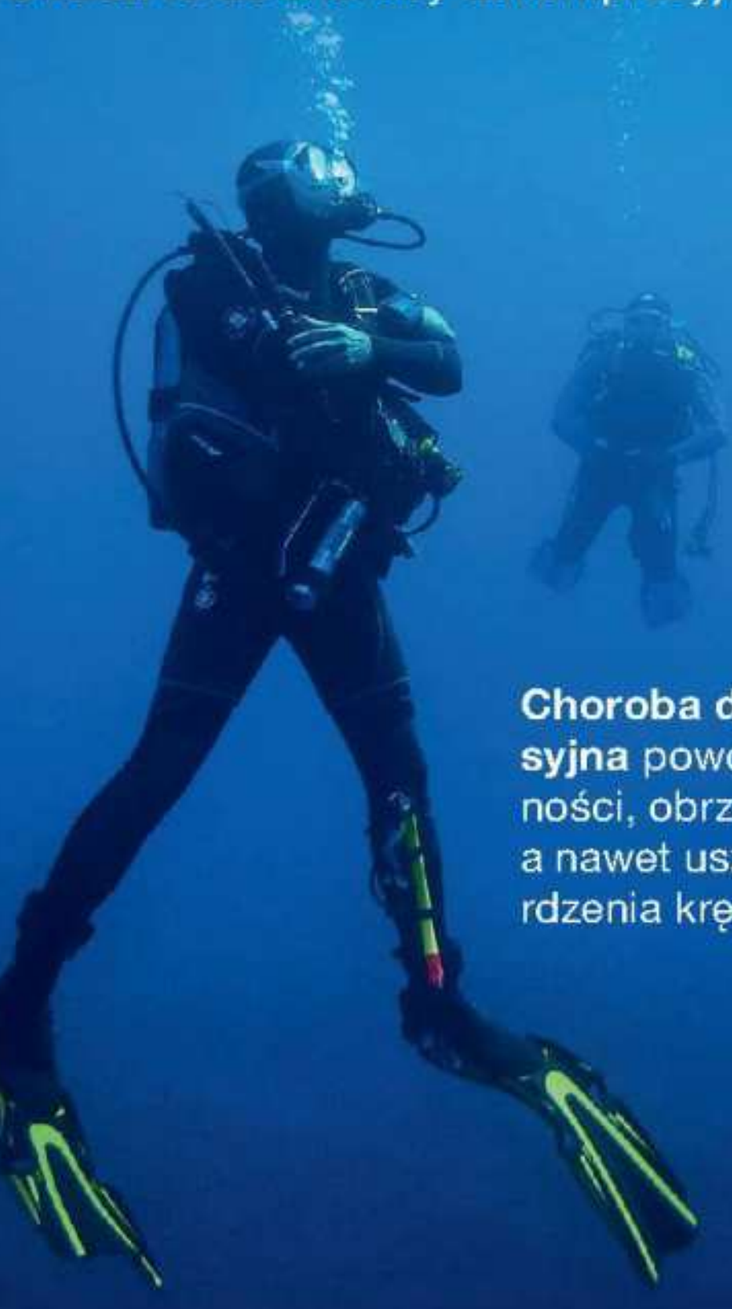


Himalaiści podczas wspinaczki stosują często butle tlenowe w celu zwiększenia zawartości tlenu we wdychanym powietrzu.

Na wymianę gazową wpływa również wzrost ciśnienia. Podczas nurkowania wzrost ciśnienia zewnętrznego zwiększa rozpuszczanie się w tkankach gazów zawartych w powietrzu oddechowym. Szczególne znaczenie mają zmiany zawartości azotu. Przy ciśnieniu panującym na poziomie morza w tkankach człowieka znajduje się ok. 1 dm^3 azotu. Wzrost ciśnienia zewnętrznego o 1 atm (1 atm przypada na każde 10 m zanurzenia) powoduje rozpuszczenie dodatkowego 1 dm^3 gazu. Po przekroczeniu głębokości 30 m gromadzący się w organizmie azot ma działanie podobne do alkoholu: początkowo powoduje euforię oraz nadmierną pewność siebie, a następnie – zaniki pamięci i zaburzenia koordynacji ruchowej. Z kolei podczas wynurzania ciśnienie maleje i następuje wydzielanie się gazów do przestrzeni międzykomórkowych oraz do krwi. Jeśli wynurzanie przebiega zbyt szybko, to gromadzące się pęcherzyki tworzą zatory gazowe, które blokują przepływ krwi w naczyniach krwionośnych i są przyczyną uszkodzenia tych naczyń. Skutki zbyt szybkiego wynurzania się noszą nazwę choroby dekompresyjnej (kesonowej). W jej profilaktyce stosuje się powolne, wieloetapowe wynurzanie, które pozwala na stopniowe usuwanie przez układ oddechowy uwolnionego azotu.

Nurkowanie głębinowe

Na dużych głębokościach panuje wysokie ciśnienie, które podczas nurkowania powoduje rozpuszczanie się we krwi gazowego azotu pochodzącego z powietrza. Zbyt szybkie wynurzanie się z wody wpływa na spadek ciśnienia. W konsekwencji azot gwałtownie uwalnia się z krwi, a jego pęcherzyki tworzą zatory naczyniowe i uszkadzają tkanki. Prowadzi to do choroby dekompresyjnej.



Choroba dekompresyjna powoduje duszności, obrzęk płuc, a nawet uszkodzenia rdzenia kręgowego.



Nagłe zmniejszenie ciśnienia zachodzące podczas odkręcania butelki z wodą gazowaną powoduje intensywne uwalnianie się pęcherzyków dwutlenku węgla rozpuszczonego w wodzie. Podobnie uwalnia się azot rozpuszczony we krwi nurka podczas szybkiego wynurzania się z wody.



Chorobę dekompresyjną leczy się, wykorzystując komorę hiperbaryczną, która stopniowo adaptuje chorego do zmian ciśnienia. W komorze tej do oddychania stosuje się czysty tlen, który wspomaga leczenie objawów choroby.

Walenie – płucodyszni ekstremalni nurkowie

Walenie to ssaki wtórnie wodne, doskonale przystosowane do środowiska wodnego. Ze środowiskiem lądowym łączy je tylko oddychanie za pomocą płuc. Walenie są świetnymi nurkami, np. kaszaloty potrafią schodzić na głębokość przekraczającą dwa kilometry. W tym czasie wstrzymują oddech i wykorzystują tlen zawarty w powietrzu pobranym znad powierzchni wody.

Elastyczna klatka piersiowa pozwala na duże zmiany objętości płuc. Pod wpływem wysokiego ciśnienia płuca są zgniatane do tego stopnia, że ściany pęcherzyków płucnych się zapadają.

płuca

Podczas nurkowania część powietrza z płuc cofa się do dróg oddechowych, co zapobiega zarówno przenikaniu azotu do tkanek, jak i chorobie dekompresyjnej.

Mózg jest bogaty w neuroglobinę, która magazynuje tlen w tkance nerwowej.

serce

kanały nosowe

otwór oddechowy

Wraz ze wzrostem głębokości zanurzenia krew wycofuje się z kończyn i gromadzi się w naczyniach klatki piersiowej, by dostarczać tlen do najważniejszych narządów ciała, m.in. do serca.

Ponad połowa tlenu pobranego podczas wdechu jest magazynowana w mioglobinie mięśni.

Efektywne oddychanie

Płuca są stosunkowo małe, ale bardzo wydajne – podczas wdechu napełniają się powietrzem w 90% (u człowieka w ok. 15–20%) i wykorzystują połowę zawartego w nich tlenu (u człowieka ok. 6%).

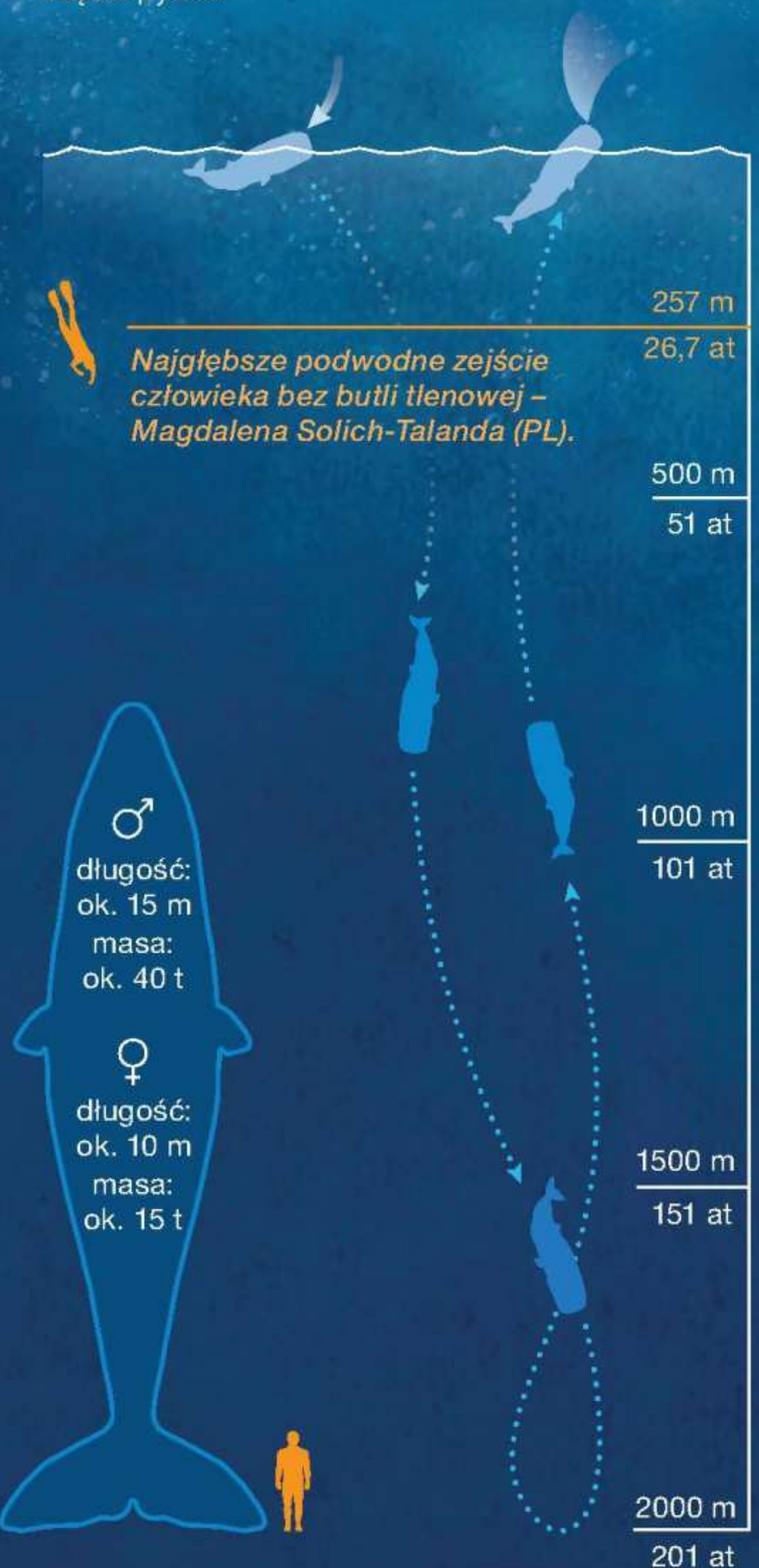
Napełnienie płuc powietrzem



Wykorzystanie tlenu zawartego w płucach



Kaszalot pobiera i usuwa powietrze za pomocą otworu oddechowego, zlokalizowanego w przedniej części pyska.



Polecenia kontrolne

1. Określ zależność między oddychaniem, wentylacją płuc a wymianą gazową.
2. Podaj różnice między mechanizmem wdechu a mechanizmem wydechu.
3. Wymień czynniki, które wpływają na częstość oddechów.
4. Wykaż związek między budową hemoglobiny a jej rolą w transporcie tlenu.
5. Określ, jak temperatura, pH i ciśnienie parcjalne dwutlenku węgla wpływają na uwalnianie tlenu z oksyhemoglobiny.
6. Wymień formy, w których dwutlenek węgla jest transportowany we krwi.
7. Wymień, jakie problemy oddechowe mogą wystąpić u ludzi przebywających na dużych wysokościach lub głębokościach.

5.4. Zaburzenia funkcjonowania układu oddechowego

Zwróć uwagę na:
- wpływ zanieczyszczeń powietrza i palenia tytoniu na funkcjonowanie układu oddechowego,
- metody diagnostyki chorób układu oddechowego,
- przykłady chorób układu oddechowego.

Na działanie układu oddechowego wpływają czynniki wewnętrzne, związane m.in. z budową płuc i dróg oddechowych, oraz czynniki zewnętrzne, wynikające np. ze stanu środowiska. Wraz z rozwojem cywilizacji wzrasta poziom zanieczyszczenia środowiska, w tym także powietrza. Zanieczyszczone powietrze niekorzystnie wpływa na wydolność oddechową i może prowadzić do rozwoju wielu chorób. Wydolność układu oddechowego osłabiają również alergie i infekcje wywoływane przez drobnoustroje chorobotwórcze.

Zanieczyszczenia powietrza

Zanieczyszczenia powietrza to wszystkie gazy, ciecze i ciała stałe, które znajdują się w powietrzu atmosferycznym, a nie są jego naturalnymi składnikami. Do zanieczyszczeń najbardziej szkodliwych dla zdrowia człowieka należą:

- tlenki azotu i tlenki siarki – związki te reagują z parą wodną obecną w atmosferze, co powoduje powstawanie kwaśnych opadów;
- benzopiren – związek silnie rakotwórczy, składnik m.in. spalin samochodowych;
- pyły zawieszone – drobne cząstki stałe zawieszone w powietrzu. Szczególnie niebezpieczne są:
  - pyły PM10 (średnica do 10 μm) – osadzają się na powierzchni płuc i zawierają substancje toksyczne,
  - pyły PM2,5 (średnica do 2,5 μm) – przenikają przez powierzchnię pęcherzyków płucnych do krwi.

Do głównych źródeł zanieczyszczeń powietrza należą domowe piece grzewcze, transport samochodowy oraz duże zakłady przemysłowe i energetyczne.

Wpływ zanieczyszczeń powietrza na organizm człowieka

Wdychanie zanieczyszczonego powietrza wywiera niekorzystny wpływ na zdrowie człowieka. Może powodować m.in.:

- nowotwory, np. raka płuc,
- przewlekłe infekcje, bezsenność i bóle głowy,
- choroby układu oddechowego, np. astmę oskrzelową, przewlekłą obturacyjną chorobę płuc (POChP),
- choroby układu krążenia i obniżenie odporności organizmu.

Zalegające masy zanieczyszczonego powietrza tworzą nienaturalne zjawisko atmosferyczne, zwane **smogiem**. Wdychanie tej mieszaniny trujących substancji może powodować poważne zaburzenia oddechowe oraz stanowić zagrożenie dla zdrowia i życia człowieka. Główną przyczyną smogu w Polsce – poza przemysłem – są kotły węglowe. Używa się ich w wielu domach, mimo że nie odpowiadają obowiązującym standardom emisyjnym.



W rankingu 100 europejskich miast o największym poziomie zanieczyszczenia powietrza znajduje się aż 29 polskich miejscowości.

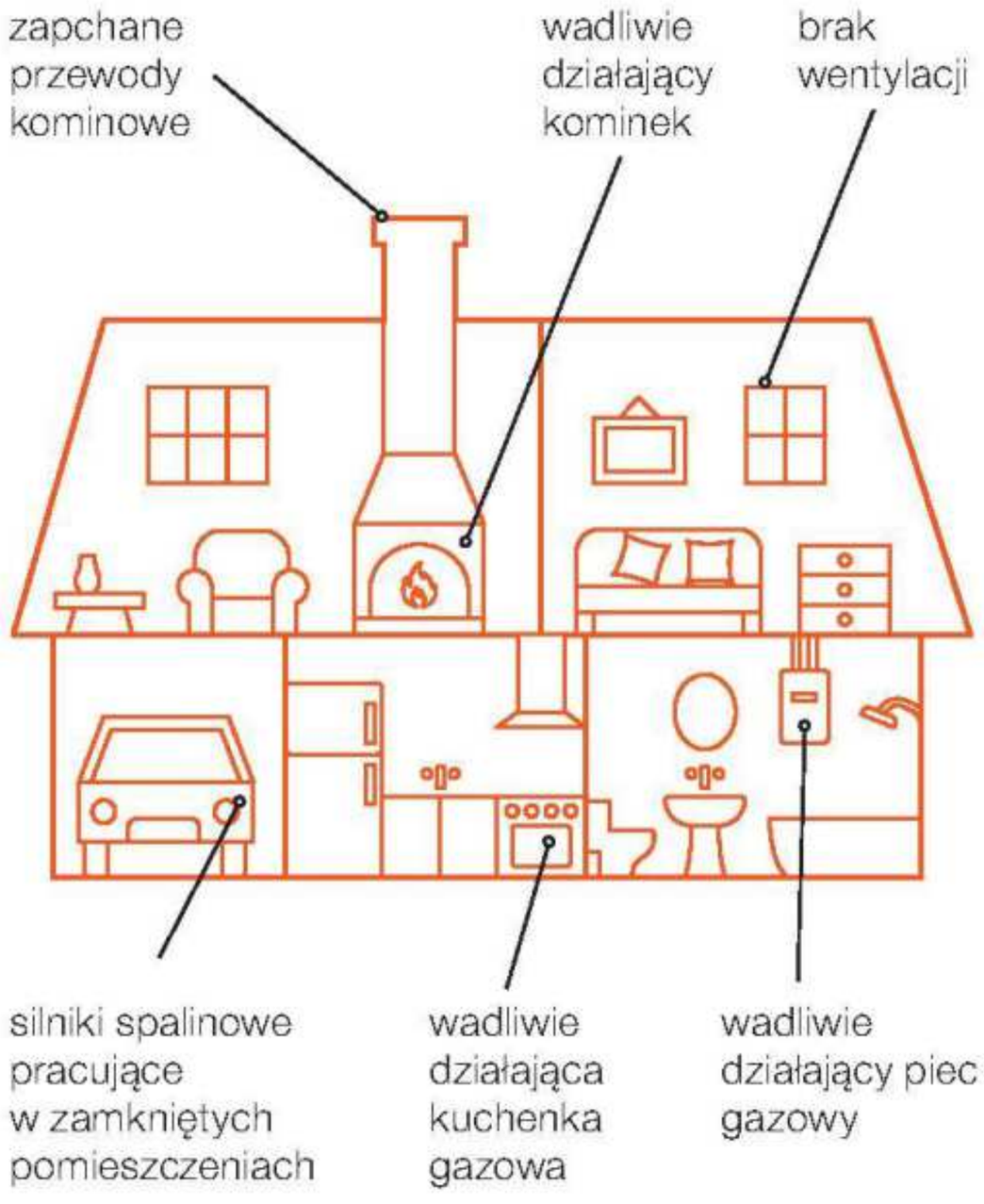


Zatrucie tlenkiem węgla

Tlenek węgla(II) – CO – zwany również czadem, powstaje podczas spalania węgla i innych paliw w niedostatecznej ilości tlenu. Tlenek węgla(II) jest bezbarwnym i bezwonnym gazem, który nie podrażnia dróg oddechowych, przez co nie można go wyczuć we wdychanym powietrzu. Wykazuje ok. 200 razy większe powinowactwo do hemoglobiny niż tlen i łączy się z nią trwale, tworząc karboksyhemoglobinę. Reakcja ta zachodzi niezwykle szybko i blokuje łączenie się hemoglobiny z tlenem, co powoduje niedotlenienie organizmu. Do objawów zatrucia czadem należą:

- ból i zawroty głowy,
- mdłości,
- trudności z oddychaniem,
- utrata przytomności.

W wypadku zatrucia czadem należy niezwłocznie wezwać karetkę. Konieczne jest także jak najszybsze zapewnienie choremu dostępu do świeżego powietrza. Leczenie zatrucia tlenkiem węgla(II) polega na podaniu tlenu za pośrednictwem maski lub komory tlenowej. W sytuacji poważnego zatrucia niezbędna jest transfuzja krwi, która zapewni choremu odpowiedni poziom hemoglobiny zdolnej do transportu tlenu. Do śmiertelnego zatrucia czadem w wyniku niedotlenienia dochodzi w sytuacji, gdy odsetek hemoglobiny zmienionej w karboksyhemoglobinę osiąga w organizmie chorego poziom ok. 70%. Najwięcej przypadków zatrucia czadem, w tym śmiertelnych, zdarza się w sezonie grzewczym – zagrożenie stanowią wówczas wadliwe lub uszkodzone urządzenia grzewcze oraz niesprawna wentylacja.



Przykłady źródeł tlenku węgla(II) w gospodarstwie domowym.

Dlaczego palenie papierosów jest szkodliwe?

Palenie papierosów przyczynia się do powstawania i rozwoju wielu rodzajów nowotworów oraz chorób przewlekłych. Narażone są na nie zarówno osoby palące aktywnie, jak i bierni palacze.

Przez palenie papierosów na całym świecie umiera rocznie **kilka milionów osób**.

Jak wskazują badania, palenie papierosów skraca czas życia średnio o **10 lat**.

Składniki dymu tytoniowego

Dym tytoniowy zawiera ponad 4 tys. różnych substancji, wśród których występują substancje drażniące, trujące oraz rakotwórcze.

Nikotyna – silna toksyna działająca na układ nerwowy.

Substancje smoliste – składniki dymu zawierające najwięcej związków rakotwórczych.

Tlenek węgla(II) – związek chemiczny powodujący niedotlenienie.

Kadm – silnie toksyczny pierwiastek powodujący m.in. uszkodzenia nerek.

Formaldehyd – związek chemiczny niszczący nabłonek migawkowy w drogach oddechowych.

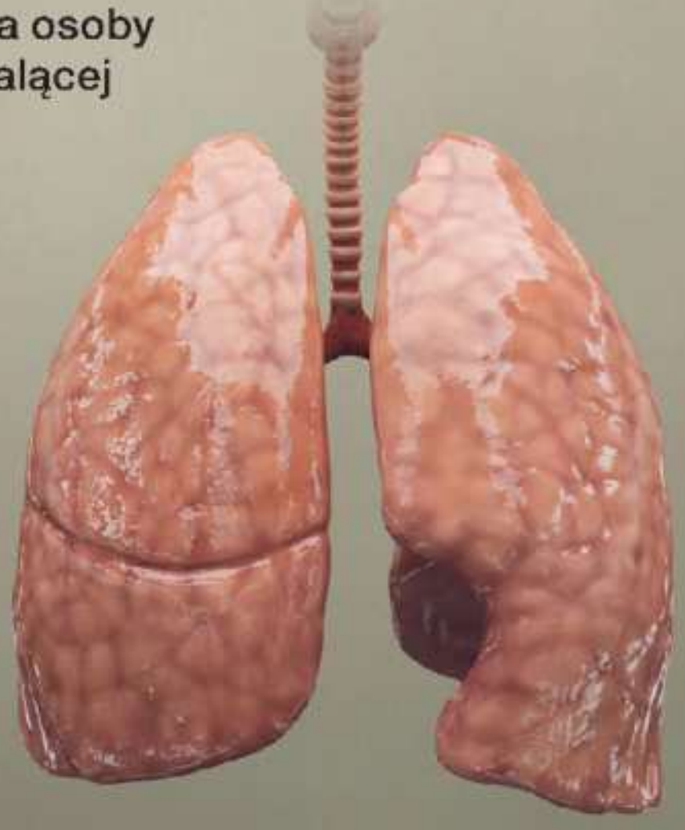


Wpływ palenia papierosów na organizm człowieka

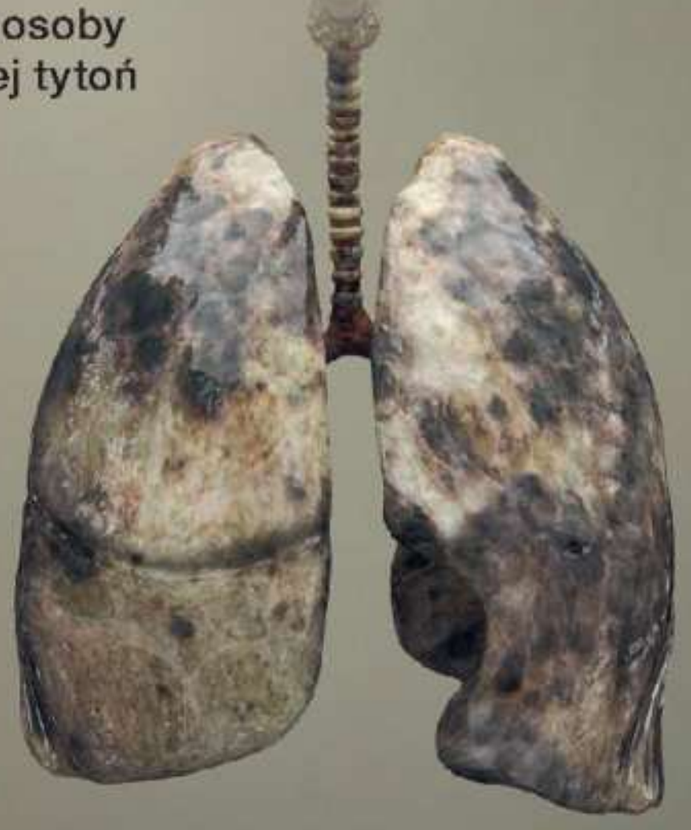
Do skutków palenia tytoniu zalicza się m.in.:

- zwiększone ryzyko zachorowania na nowotwory, głównie płuc i dróg oddechowych,
- niewydolność oddechową związaną z przewlekłą obturacyjną chorobą płuc,
- pogorszenie pamięci i zwiększone ryzyko udaru mózgu,
- rozwój nadciśnienia i miażdżycy, które mogą prowadzić do zawału serca,
- przyspieszony rozwój osteoporozy,
- ryzyko bezpłodności i impotencji.

Płuca osoby niepalącej



Płuca osoby palącej tytoń

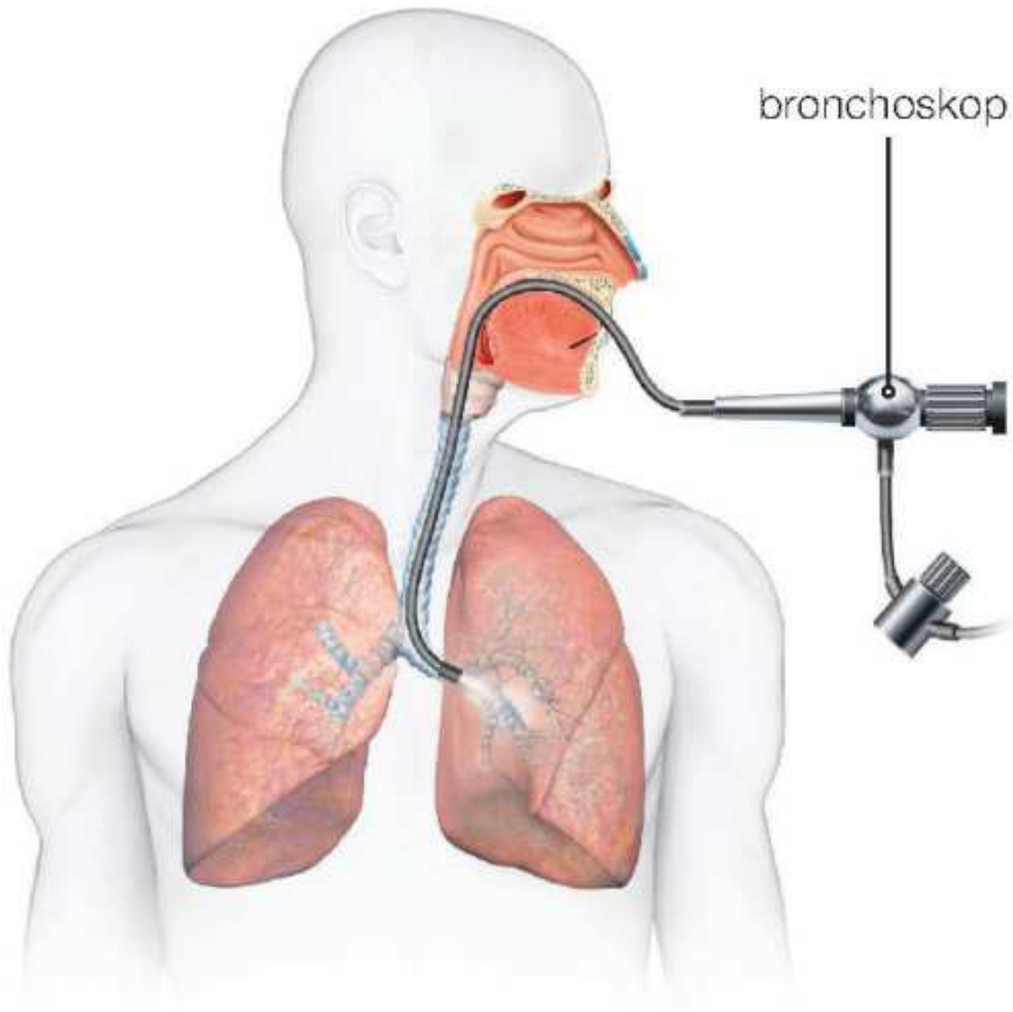


Diagnostyka chorób układu oddechowego

Badania diagnostyczne układu oddechowego nie tylko pozwalają ocenić stan poszczególnych narządów tego układu, lecz także pomagają określić jego wydolność. Na podstawie otrzymanych wyników można wykryć ewentualne nieprawidłowości oraz dobrać skuteczne metody profilaktyki i leczenia. Do podstawowych badań tego typu zaliczamy: bronchoskopię, RTG klatki piersiowej oraz spirometrię.

Bronchoskopia

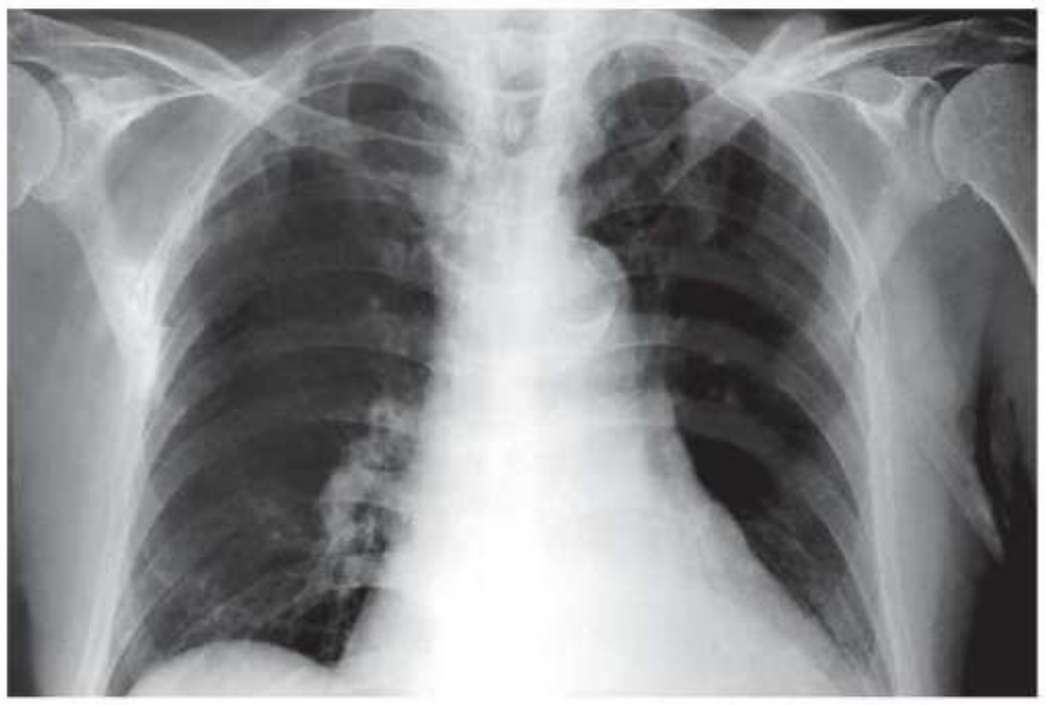
Bronchoskopia to badanie endoskopowe wykonywane za pomocą bronchoskopu – urządzenia składającego się m.in. z giętkiego przewodu wyposażonego w kamerę i źródło światła. Wprowadzenie tego przyrządu do dróg oddechowych pozwala na ich obserwację od wewnątrz, a także na pobranie próbek tkanek i badanie czynności dróg oddechowych. Bronchoskop wykorzystuje się do diagnostyki nowotworów, odsysania zalegającej wydzieliny, a także usuwania drobnych przedmiotów, które dostały się przez przypadek do dróg oddechowych. Badanie bronchoskopowe przeprowadza się w znieczuleniu miejscowym, jest ono zatem całkowicie bezbolesne.



Bronchoskop wprowadza się do dróg oddechowych przez jamę nosową lub jamę ustną.

RTG klatki piersiowej

Badanie to polega na prześwietleniu klatki piersiowej kontrolowanymi dawkami promieniowania rentgenowskiego. Im mniej promieniowania pochłania dana tkanka, tym ciemniejszy kolor ma na zdjęciu rentgenowskim. RTG klatki piersiowej stosuje się w diagnostyce takich chorób, jak: nowotwory układu oddechowego, zapalenie płuc i gruźlica płuc.



Zdjęcie rentgenowskie klatki piersiowej.

Spirometria

Spirometria jest badaniem, które pozwala ocenić pojemność płuc i szybkość przepływu powietrza przez drogi oddechowe. W jego trakcie badana osoba oddycha przez specjalny ustnik podłączony do urządzenia, które sprawdza objętość wdychanego i wydychanego przez nią powietrza. Spirometrię stosuje się m.in. w diagnostyce chorób, które znacząco obniżają sprawność układu oddechowego, np. astmy oskrzelowej i przewlekłej obturacyjnej choroby płuc (POChP).

Badanie z użyciem spirometru.

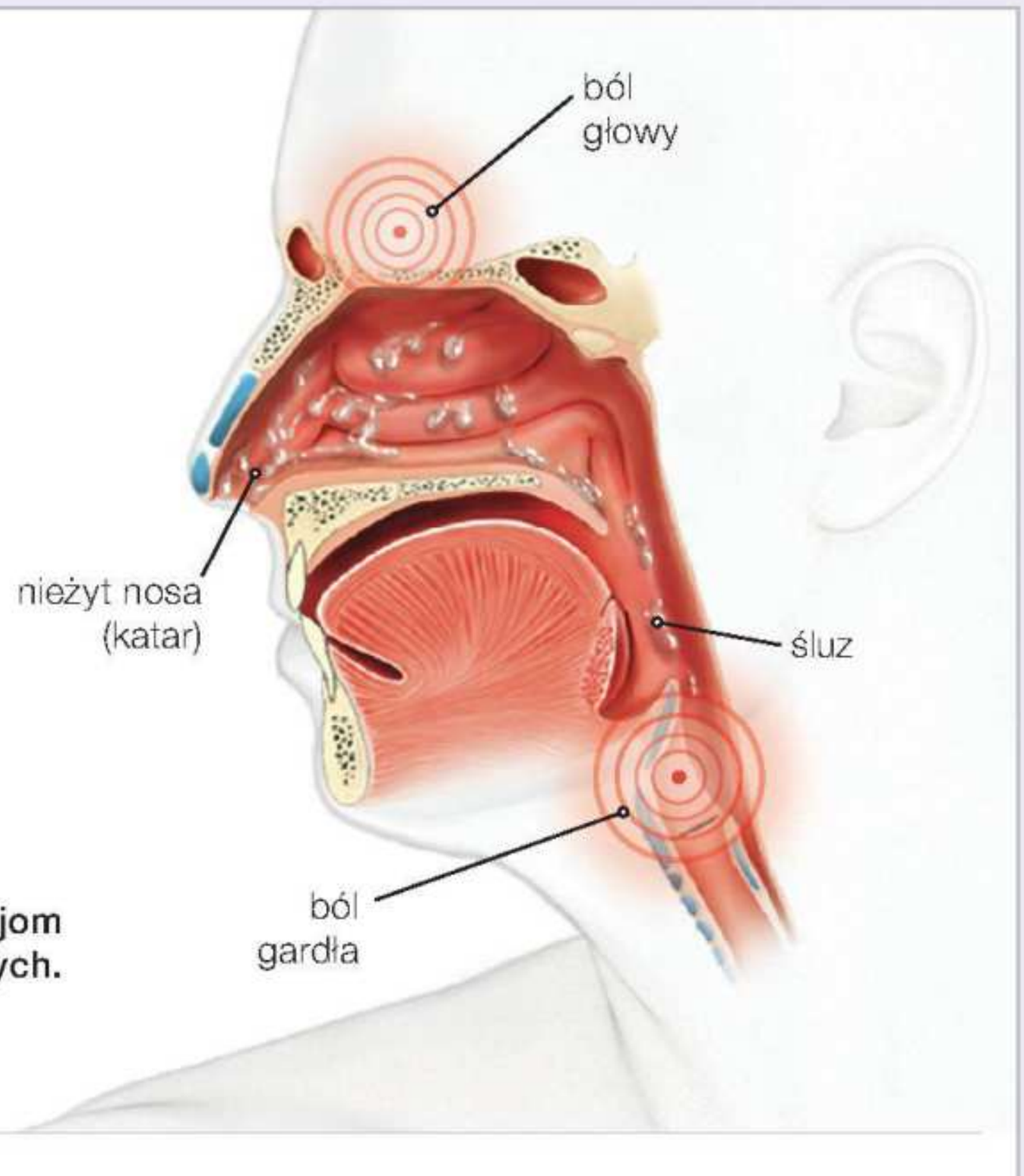
☑ Choroby układu oddechowego

■ Choroby wirusowe i bakteryjne

Nieżyt nosa (katar)

Nieżyt nosa to zapalenie błony śluzowej nosa. Często jest on traktowany jako objaw innych chorób, np. przeziębienia lub grypy.

- **Przyczyna:** najczęściej zakażenie wirusami, czynniki środowiskowe podrażniające błonę śluzową nosa lub alergeny.
- **Drogi zakażenia:** w przypadku choroby zakaźnej – najczęściej droga kropelkowa.
- **Profilaktyka:** dopasowanie ubioru do pogody, unikanie kontaktu z chorymi, unikanie kontaktu z alergenami.



Objawy towarzyszące infekcjom górnych dróg oddechowych.

Przeziębienie

- **Przyczyna:** zakażenie różnego rodzaju wirusami, np. rinowirusami.
- **Drogi zakażenia:** głównie droga kropelkowa.
- **Profilaktyka:** stosowanie zasad higieny osobistej, dopasowanie ubioru do pogody, zdrowe odżywianie się (wzmocnienie odporności), unikanie kontaktu z chorymi.

Grypa

- **Przyczyna:** zakażenie różnymi odmianami wirusa grypy, mające niekiedy ostry przebieg. Co kilka lat występują fale zachorowania na grypę – epidemie.
- **Drogi zakażenia:** głównie droga kropelkowa.
- **Profilaktyka:** szczepienia ochronne, unikanie kontaktu z chorymi.

Porównanie objawów przeziębienia z objawami grypy

Angina (zapalenie migdałków podniebiennych)

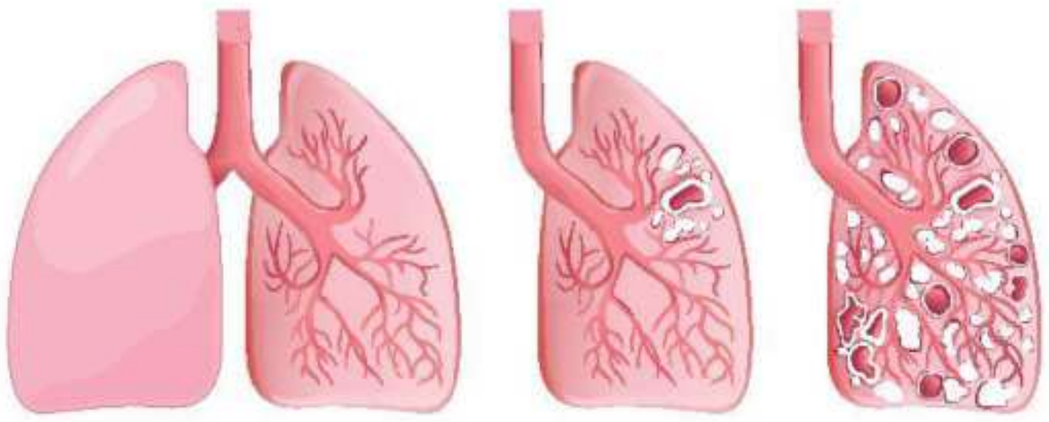
- **Przyczyna:** zakażenie bakteriami (najczęściej paciorkowcami), rzadziej wirusami lub grzybami.
- **Drogi zakażenia:** głównie droga kropelkowa.
- **Profilaktyka:** unikanie kontaktu z chorymi, leczenie chorych zębów i uszu, odpowiedni ubiór, np. osłonięcie szyi w chłodne dni, unikanie spożywania zimnych potraw i napojów.



Wygląd migdałków w czasie anginy.

Gruźlica płuc

- **Przyczyna:** zakażenie bakteriami (prątkami gruźlicy).
- **Drogi zakażenia:** droga kropelkowa oraz droga pokarmowa, np. przez picie mleka od zakażonej gruźlicą krowy.
- **Profilaktyka:** szczepienia ochronne, unikanie kontaktu z chorymi ludźmi i zwierzętami, dbanie o higienę.



Stadia rozwoju gruźlicy płuc.

Rak płuc

Rak płuc jest najczęściej występującym nowotworem złośliwym oraz najczęstszą przyczyną zgonów z powodu chorób nowotworowych. Występuje on przeważnie u mężczyzn. Skuteczność leczenia zależy od tego, w jakim stadium zostanie wykryta choroba, oraz w jakiej kondycji fizycznej znajduje się pacjent.

- **Przyczyna:** zmiany w materiale genetycznym.
- **Główne czynniki ryzyka:**
  - palenie papierosów (w tym bierne palenie),
  - skłonności genetyczne,
  - inne choroby (POChP, gruźlica),
  - zanieczyszczenia powietrza,
  - toksyczne materiały – głównie azbest.
- **Profilaktyka:**
  - niepalenie papierosów i unikanie kontaktu z dymem papierosowym,
  - unikanie miejsc o silnie zanieczyszczonym powietrzu,
  - przeprowadzanie okresowych badań (RTG klatki piersiowej).



Zmiany spowodowane rakiem płuc można zaobserwować na zdjęciu rentgenowskim.

Te choroby warto znać

Astma oskrzelowa

Astma oskrzelowa jest przewlekłą zapalną chorobą dróg oddechowych. Polega na obkurczeniu drzewa oskrzelowego i zwiększeniu wydzielania śluzu. Objawy astmy często występują napadowo. Do czynników, które mogą wywołać napad astmy, należą m.in.: obecność alergenów, zanieczyszczone powietrze, silne emocje, dym tytoniowy, wysiłek fizyczny.

Diagnostyka:
- badanie osłuchowe,
- spirometria,
- bronchoskopia,
- RTG klatki piersiowej,
- badanie przeciwciał we krwi,
- testy alergiczne w celu stwierdzenia przyczyn astmy.

- **Przyczyny:** czynniki genetyczne oraz czynniki środowiskowe, np. zanieczyszczenia środowiska, dym tytoniowy, alergie.

Porównanie dróg oddechowych osoby zdrowej i osoby z astmą



Prawidłowe oskrzela. Astma. Napad astmy.

1. U osoby zdrowej światło oskrzeli jest duże, dlatego powietrze może przepływać swobodnie.
2. U osoby chorej na astmę ściany oskrzeli są pogrubione, występuje stan zapalny – przepływ powietrza jest utrudniony.
3. W czasie ataku mięśnie oskrzeli kurczą się, a błona śluzowa wydziela zbyt dużo śluzu, co prowadzi do jeszcze większego zwężenia światła oskrzeli.

- **Profilaktyka:** unikanie czynników alergicznych, niepalenie papierosów, unikanie silnie zanieczyszczonego powietrza, regularne leczenie stanów alergicznych, niekiedy odczulanie.
- **Objawy:** świszczący oddech, obniżona wydolność wysiłkowa, duszność, kaszel.

Przewlekła obturacyjna choroba płuc (POChP)

Zespół chorobowy charakteryzujący się niecałkowicie odwracalnym, postępującym ograniczeniem przepływu powietrza przez drogi oddechowe. Przejawia się zmniejszeniem sprężystości i pękaniem ścian pęcherzyków płucnych w wyniku rozedmy płuc.



Pęcherzyki płucne osoby zdrowej. Pęcherzyki płucne osoby chorej.

- **Przyczyny:** nadmierna reakcja zapalna w oskrzelach i płucach spowodowana najczęściej paleniem papierosów. Ponadto: zanieczyszczenie powietrza, nawracające infekcje dróg oddechowych, uwarunkowania genetyczne.
- **Profilaktyka:** niepalenie papierosów, unikanie silnie zanieczyszczonego powietrza.
- **Objawy:** obniżona wydolność wysiłkowa, duszność, kaszel, przewlekła produkcja plwociny.

Diagnostyka:
- spirometria,
- bronchoskopia,
- RTG klatki piersiowej,
- tomografia komputerowa.

Obserwacja

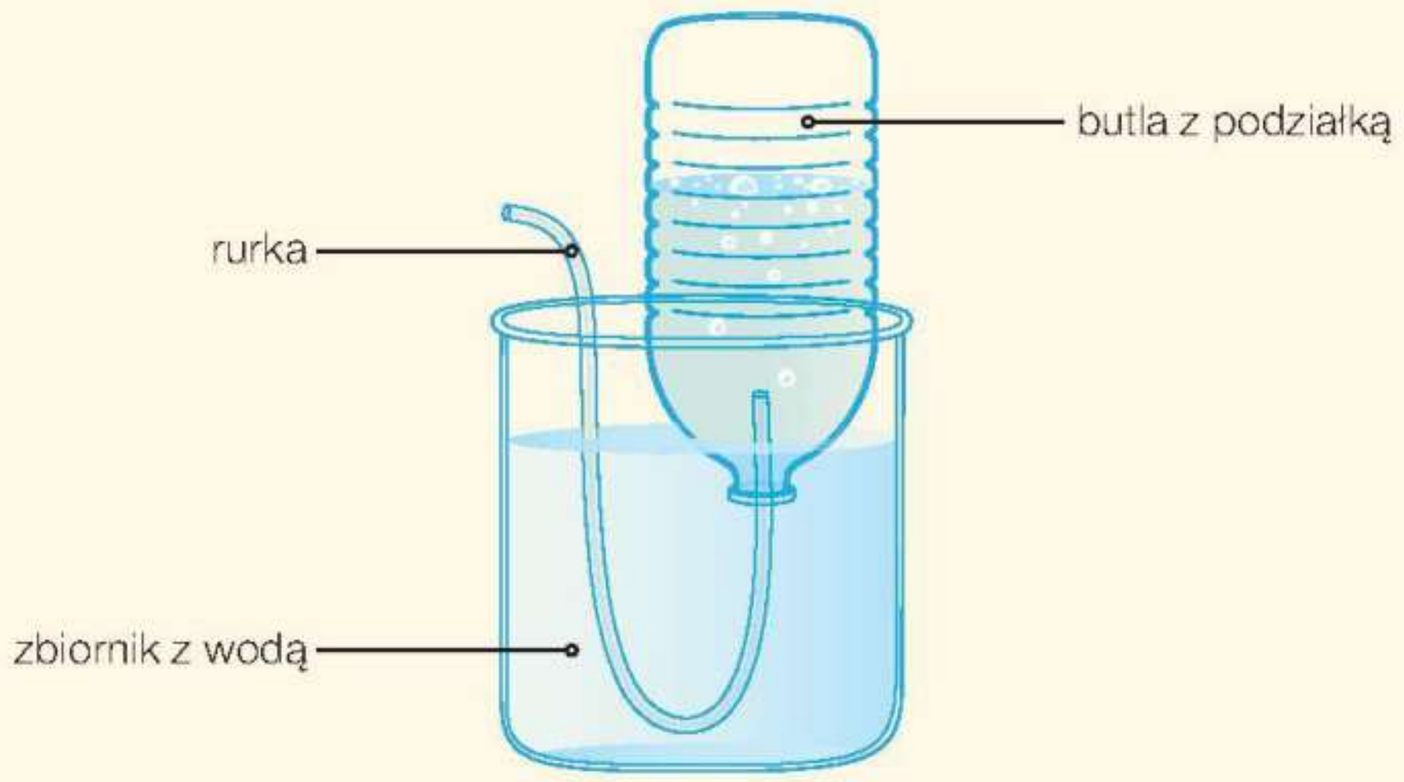
Pomiar objętości płuc

Pomiar objętości płuc można wykonać nie tylko w gabinecie lekarskim z wykorzystaniem specjalistycznego spirometru, lecz także w domu. W tym celu należy samodzielnie skonstruować zestaw doświadczalny z łatwo dostępnych materiałów.

Przebieg obserwacji

Przygotuj: pięciolitrową, przezroczystą, plastikową butlę, marker, miarkę kuchenną, zbiornik z wodą i giętką rurkę.

1. Narysuj markerem na butli podziałkę, np. co 20 cm^3. Aby to zrobić, odmierz miarką kuchenną odpowiednią porcję wody, wlej ją do butli, a następnie zaznacz poziom wody markerem. Powtórz te czynności kilkakrotnie.
2. Napełnij butlę do pełna wodą, a następnie zakryj jej otwór dłonią. Odwróć butlę dnem do góry i delikatnie wstaw ją do zbiornika z wodą.
3. Włóż rurkę do odwróconej butli tak, aby woda mogła swobodnie wypływać na zewnątrz pomiędzy szyjką a rurką.
4. Nabieraj powietrze – aż do wykonania maksymalnego wdechu. Następnie postaraj się je w całości wdmuchnąć przez rurkę do butli. Wdmuchiwane do butli powietrze spowoduje wypływanie z niej wody.
5. Odczytaj za pomocą podziałki objętość powietrza w butli. Uzyskany wynik to wartość pojemności życiowej Twoich płuc.



Polecenia kontrolne

1. Zaproponuj przykłady trzech działań, które ograniczyłyby tworzenie się smogu w miastach.
2. Wyjaśnij, jaka jest różnica między gastroskopią a bronchoskopią. Określ, który z elementów budowy krtani należy unieść podczas wykonywania bronchoskopii, aby dostać się do tchawicy.
3. Wymień trzy czynniki ryzyka, które zwiększają prawdopodobieństwo zachorowania na raka płuc.
4. Wyjaśnij, dlaczego podczas napadu astmy osoby chore doświadczają ataków duszności.
5. Na podstawie podręcznika i dostępnych źródeł omów wpływ palenia papierosów na funkcjonowanie układu oddechowego.

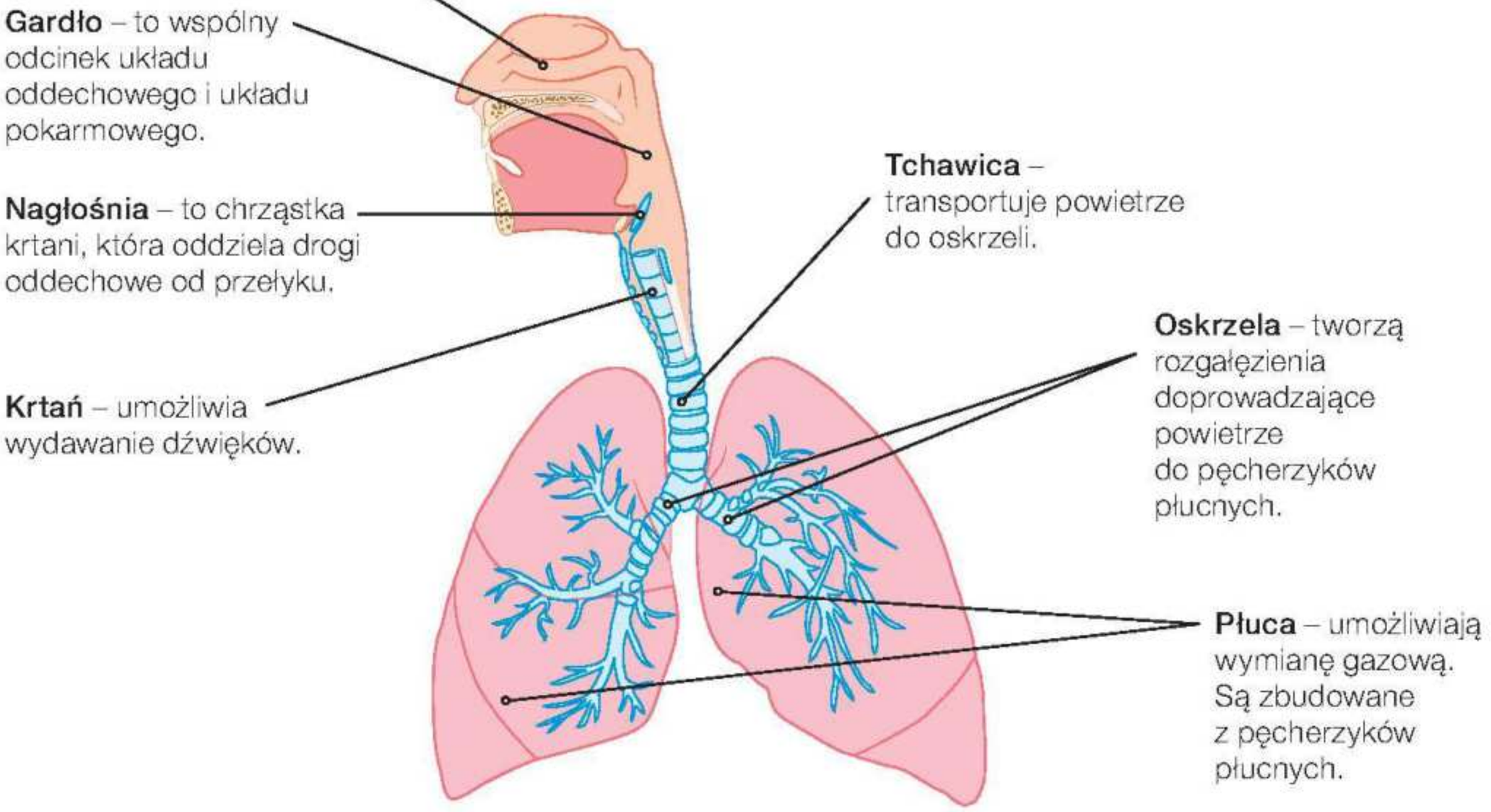
Podsumowanie

1 Układ oddechowy umożliwia **wymianę gazową** między wnętrzem organizmu a powietrzem atmosferycznym. Celem wymiany gazowej jest dostarczenie komórkom tlenu oraz usunięcie z nich dwutlenku węgla. Wymiana gazowa następuje dzięki **wentylacji płuc**.

2 **Budowa układu oddechowego**

Układ oddechowy

drogi oddechowe	płuca
• odpowiadają za doprowadzanie powietrza do płuc	• odpowiadają za przeprowadzanie wymiany gazowej między pęcherzykami płucnymi a krwią



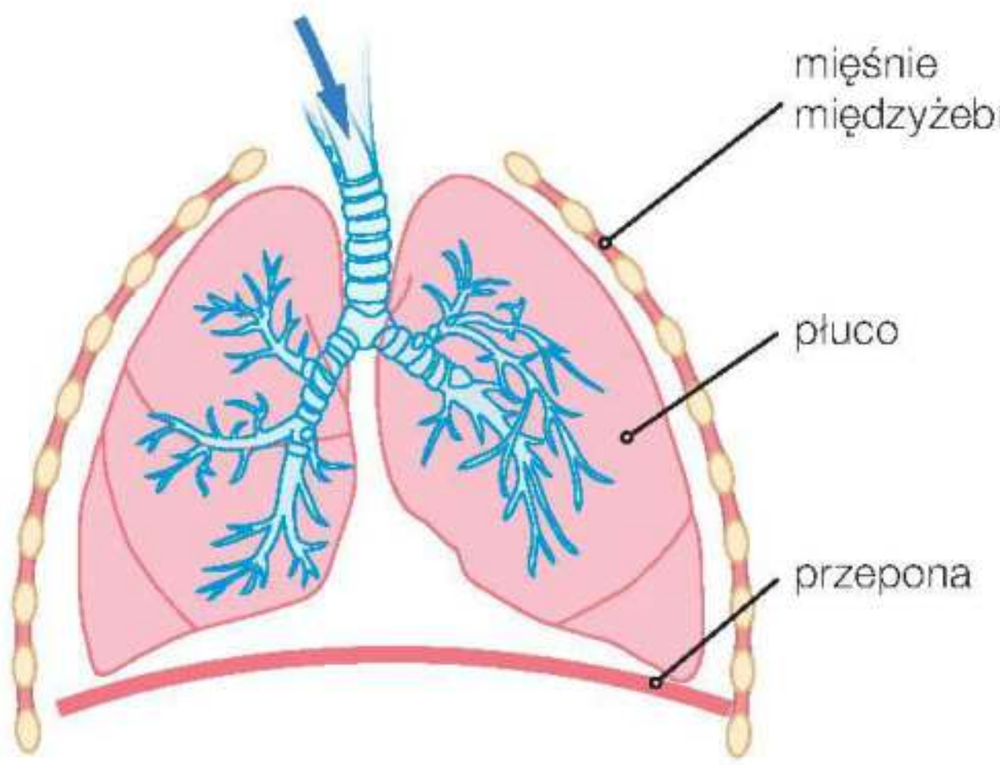
4 **Skład powietrza wdychanego i wydychanego**

Powietrze	
wdychane	**wydychane**
• tlen – 21% • dwutlenek węgla – 0,03% • azot – 78% • inne – 0,97% (w tym para wodna 0,04%)	• tlen – 16% • dwutlenek węgla – 4,5% • azot – 78% • inne – 1,5% (w tym para wodna 0,57%)

4 Mechanizm wentylacji płuc

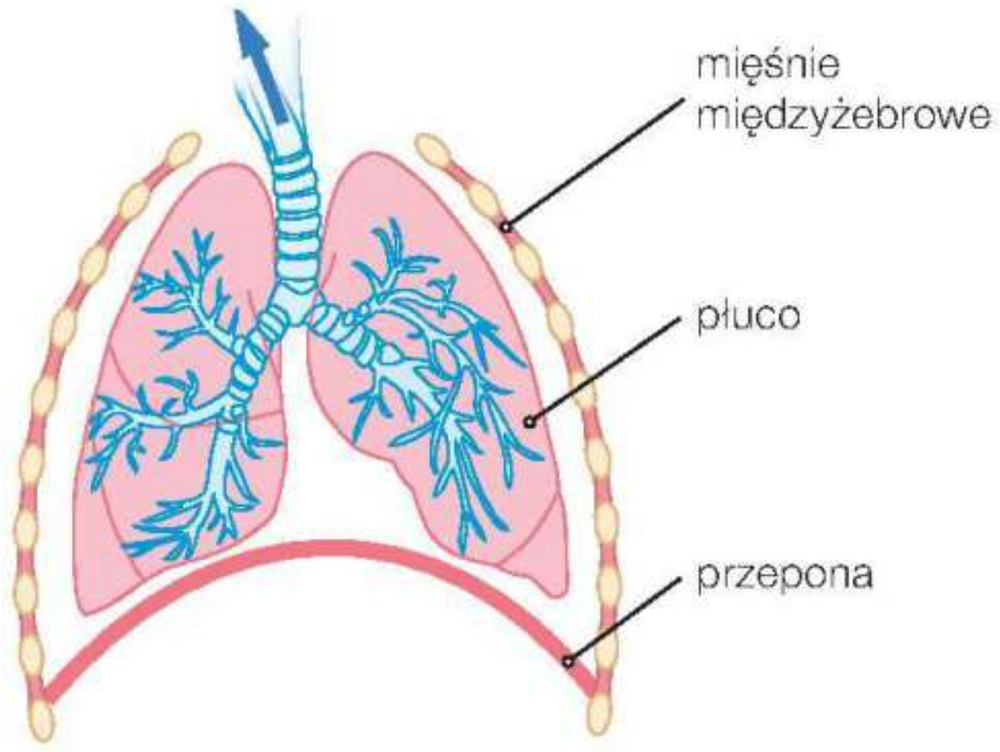
Wentylacja płuc – wymiana powietrza w płucach, zachodząca dzięki rytmicznym wdechom i wydechom.

Wdech



- Mięśnie międzyżebrowe kurczą się.
- Przepona kurczy się i obniża.
- Objętość klatki piersiowej zwiększa się, co zmniejsza ciśnienie w pęcherzykach płucnych.

Wydech



- Mięśnie międzyżebrowe rozkurczają się.
- Przepona rozkurcza się i podnosi.
- Objętość klatki piersiowej zmniejsza się, co zwiększa ciśnienie w pęcherzykach płucnych.

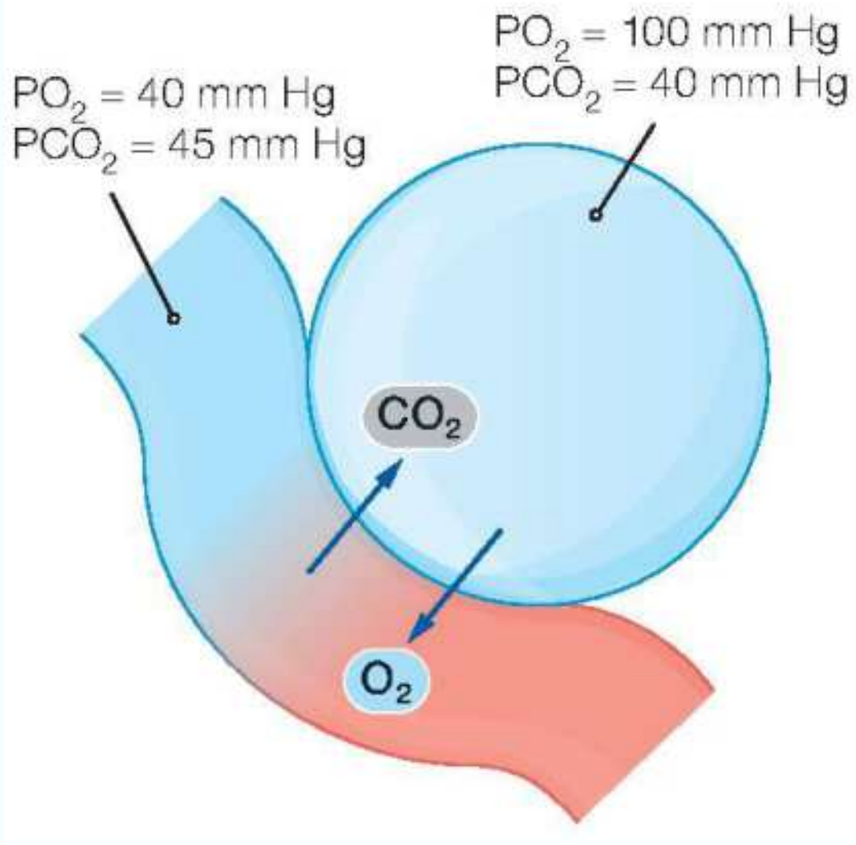
5 Wymiana gazowa

Wymiana gazowa

Dyfuzja tlenu i dwutlenku węgla między wnętrzem organizmu a środowiskiem zewnętrznym.

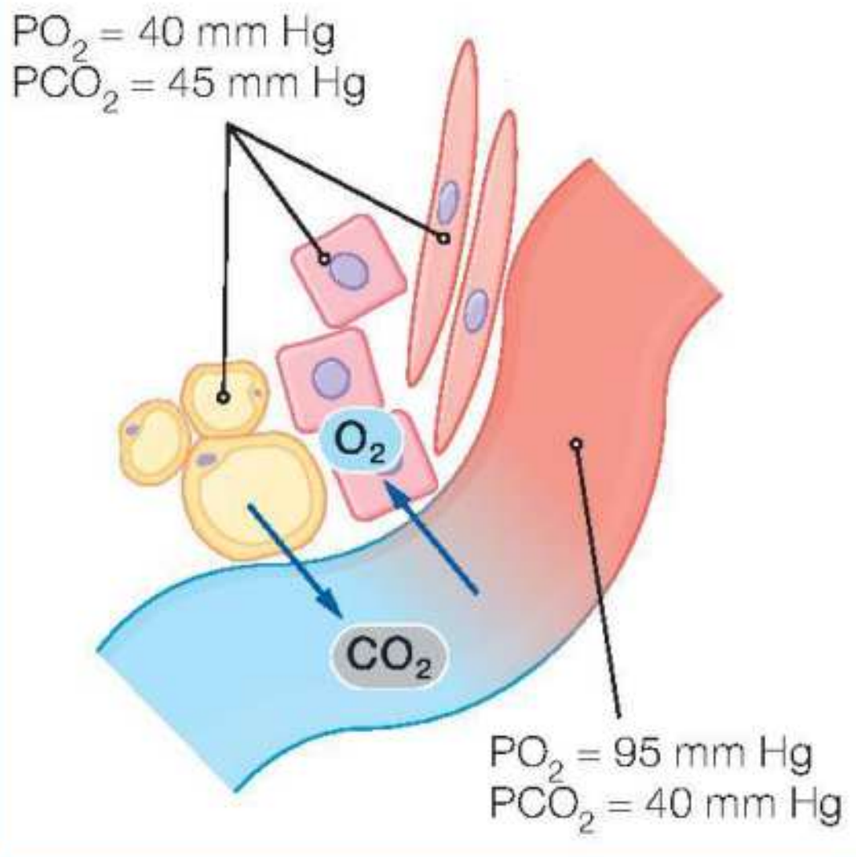
zewnętrzna

Zachodzi **w płucach** między krwią a pęcherzykami płucnymi.

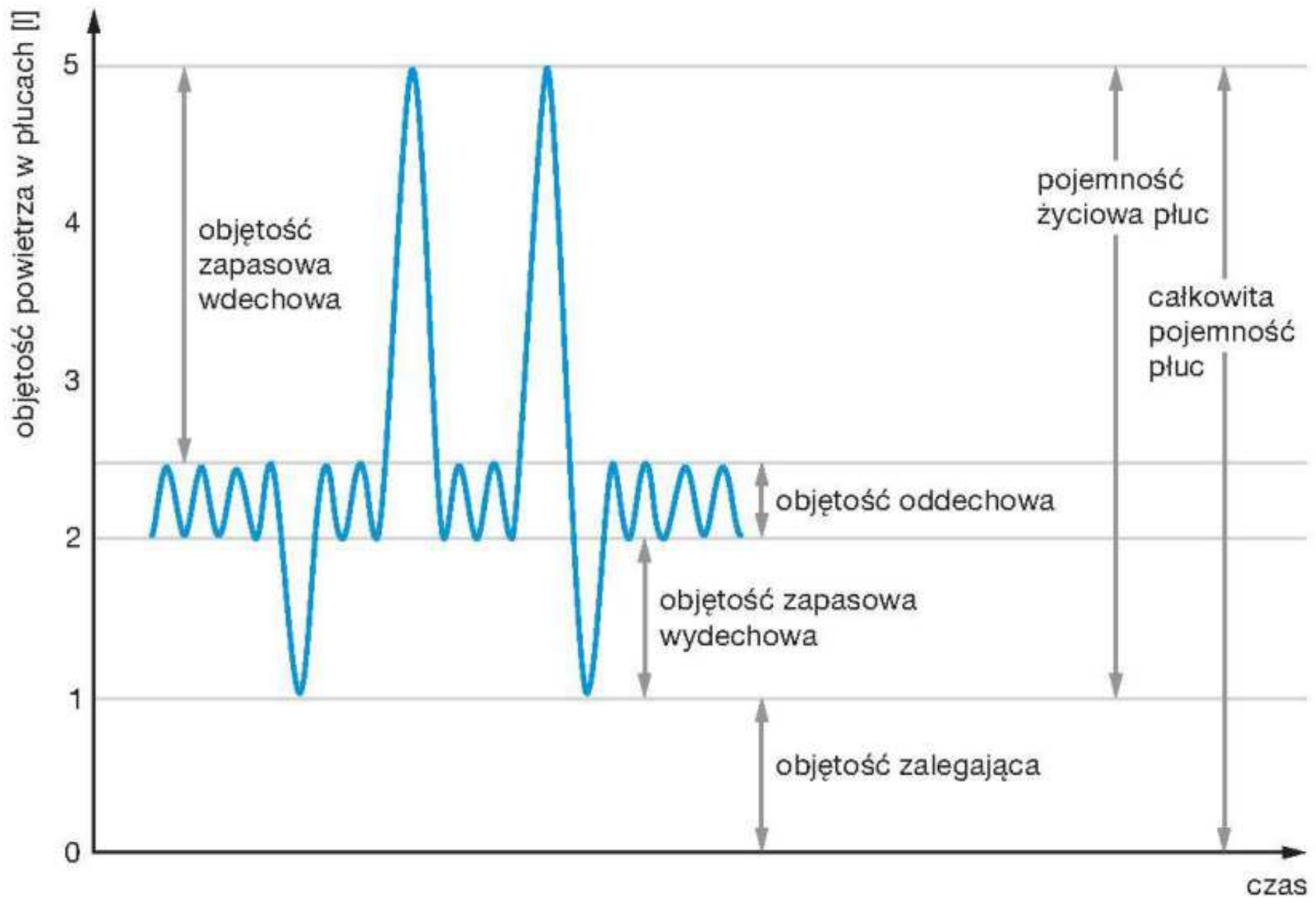


wewnętrzna

Zachodzi **w tkankach** między komórkami tworzącymi tkanki a krwią.



6 Całkowita pojemność płuc – maksymalna objętość gazów, która może się zmieścić w płucach. Zależy ona od wieku, płci, rozmiarów ciała, trybu życia i stanu zdrowia. U dorosłego człowieka wynosi ok. 5 dm^3 powietrza (5 l). Na całkowitą pojemność płuc składają się: pojemność życiowa płuc oraz objętość zalegająca (powietrze zalegające).



7 Transport gazów oddechowych we krwi

Tlen i dwutlenek węgla są transportowane przez krwinki czerwone i osocze.

Transport tlenu	Transport dwutlenku węgla
Tlen rozpuszcza się w osoczu i dyfunduje do wnętrza krwinek czerwonych. Tam, łącząc się z hemoglobiną, tworzy **oksyhemoglobinę**.	Dwutlenek węgla rozpuszcza się w osoczu i wnika do krwinek czerwonych. Dzięki anhydrazie węglanowej dwutlenek węgla wiąże się z wodą i tworzy kwas węglowy, który dysocjuje na jony H^+ i **jony wodorowęglanowe (HCO_3^-)**. Jony wodorowęglanowe przenikają do osocza i stanowią główną postać transportową dwutlenku węgla (ok. 70%). Oprócz tego część dwutlenku węgla (ok. 10%) jest transportowana w formie fizycznie rozpuszczonej w osoczu, a część (ok. 20%) w formie związanej z hemoglobiną.

8 Czynniki wpływające na wiązanie i oddawanie tlenu przez hemoglobinę

Czynnik	Wysoka wartość	Niska wartość
Wartość pH	Ułatwia wiązanie hemoglobiny z tlenem.	Przyspiesza uwalnianie tlenu przez oksyhemoglobinę.
Temperatura	Ułatwia oddawanie związanego tlenu.	Sprzyja wiązaniu się tlenu z hemoglobiną.
Ciśnienie parcjalne CO_2	Przyspiesza uwalnianie tlenu.	Sprzyja wiązaniu się tlenu z hemoglobiną.
Ciśnienie parcjalne O_2	Przyspiesza łączenie tlenu z hemoglobiną.	Przyspiesza rozkład oksyhemoglobiny.

9 Czynniki wpływające na wiązanie i oddawanie tlenu przez hemoglobinę

Wpływ zmiany ciśnienia zewnętrznego na organizm człowieka		
spadek ciśnienia – warunki wysokogórskie	wzrost ciśnienia – nurkowanie	gwałtowny spadek ciśnienia – wynurzanie
• Powoduje niedobór tlenu, co może prowadzić do utraty przytomności. • W jego efekcie następuje reakcja adaptacyjna: zwiększenie głębokości i częstości oddechów, zwiększenie częstości skurczów serca. • Przy trwającym długo niedotlenieniu zwiększa się liczba erytrocytów i ilość hemoglobiny.	• Grozi uszkodzeniem narządów wewnętrznych wskutek ich ściśnięcia. Dotyczy to głównie narządów wypełnionych powietrzem, zwłaszcza płuc. • Powoduje zwiększenie rozpuszczalności gazów w tkankach. • Zwiększona ilość rozpuszczonego azotu powoduje tzw. narkozę azotową, której objawami są m.in.: złe samopoczucie, senność, osłabiona zdolność do wykonywania pracy fizycznej i utrata przytomności.	• Powoduje zmniejszenie rozpuszczalności gazów w tkankach. • Zmniejszenie rozpuszczalności azotu powoduje wydzielanie się pęcherzyków gazowego azotu do przestrzeni międzykomórkowych i do krwi. Zatory gazowe blokują przepływ krwi i uszkadzają naczynia krwionośne, co prowadzi do choroby dekompresyjnej. Jej objawami są m.in.: bóle stawów i mięśni kończyn, osłabienie, uczucie duszenia się i utrata przytomności.

10 Wpływ czynników zewnętrznych na zdrowie człowieka

Czynniki zewnętrzne	Wpływ na zdrowie człowieka
Dym tytoniowy	Powodują: • zmiany nowotworowe, • zmiany w układzie oddechowym i układzie krążenia, • uszkodzenia narządów (np. wątroby), • niedotlenienie mózgu i obniżenie sprawności intelektualnej, • obniżenie odporności organizmu.
Smog	
Pyłowe zanieczyszczenia powietrza	
Czad	Powoduje zatrucie. Objawy to: mdłości, ból i zawroty głowy. Poważniejsze zatrucia prowadzą do utraty przytomności, a nawet do śmierci.

11 Badania diagnostyczne w profilaktyce chorób układu oddechowego to: RTG klatki piersiowej, spirometria, bronchoskopia.

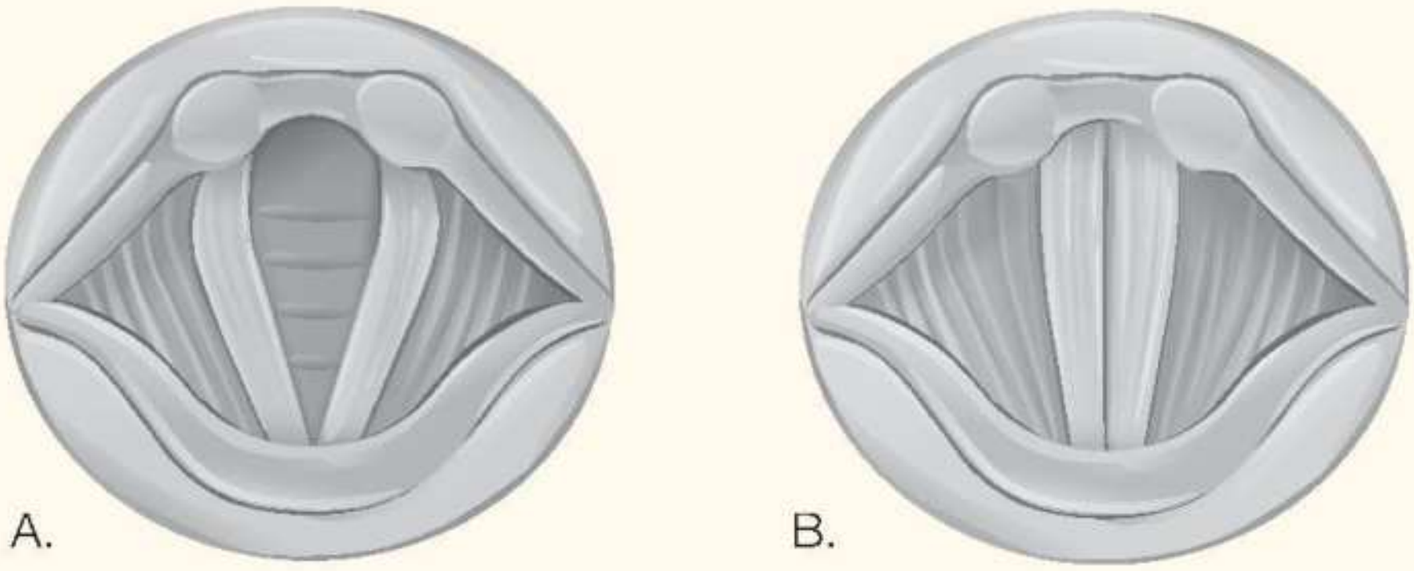
12 Przykłady chorób układu oddechowego

Choroba	Przyczyny	Objawy
Astma oskrzelowa	Czynniki genetyczne i środowiskowe, np. alergeny.	Świszczący oddech, obniżona wydolność wysiłkowa, kaszel, duszność.
POChP (przewlekła obturacyjna choroba płuc)	Najczęściej palenie papierosów, czynniki zewnętrzne (pyły, zanieczyszczenia).	Przewlekła produkcja plwociny, obniżona wydolność wysiłkowa, świszczący oddech, kaszel, duszność.

Sposób na zadania

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Na bocznych ścianach krtani znajdują się fałdy głosowe, które biorą udział w wydawaniu dźwięków. Poniższe ilustracje przedstawiają fałdy głosowe rozluźnione (A) oraz napięte (B).



A. B.

a) Podaj nazwę części krtani, w której znajdują się fałdy głosowe.

b) Określ, w jakim stanie – rozluźnienia czy napięcia – znajdują się fałdy głosowe podczas wydawania dźwięków. Odpowiedź uzasadnij.

c) Wyjaśnij, w jaki sposób zatoki przynosowe wpływają na barwę głosu.

Wskazówki

Podpunkt a)

1. Przypomnij sobie wiadomości dotyczące budowy i funkcji krtani. Informacje na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 182–183.
2. Zwróć szczególną uwagę na tę część krtani, w skład której wchodzą fałdy głosowe i która jest odpowiedzialna za wydawanie głosu.
3. Sformułuj odpowiedź.

Podpunkt b)

1. Przypomnij sobie wiadomości dotyczące wydawania dźwięków. Informacje na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 183.
2. Przeanalizuj dołączone do zadania ilustracje i zastanów się, w jaki sposób ułożenie rozluźnionych i napiętych fałdów głosowych wpływa na przepływ powietrza przez krtań.
3. Sformułuj odpowiedź.

Podpunkt c)

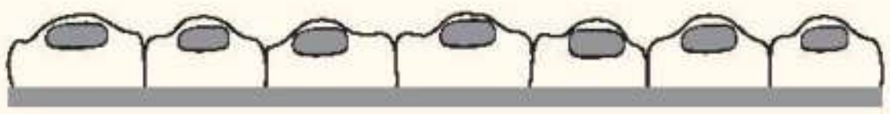
1. Przypomnij sobie wiadomości dotyczące cech wydawanego głosu. Zwróć szczególną uwagę na opis elementów wpływających na barwę głosu, który znajduje się w podręczniku na s. 183.
2. Zastanów się, w jaki sposób zatoki wpływają na barwę głosu – przypomnij sobie informacje dotyczące ich budowy i funkcji. Znajdują się one w podręczniku na s. 77.
3. Sformułuj odpowiedź.

Zadania powtórzeniowe

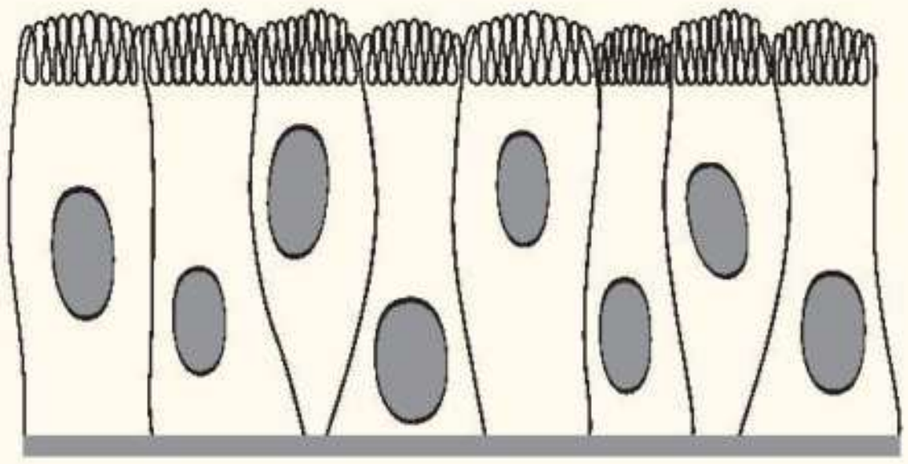
WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Ilustracje A i B przedstawiają dwa typy nabłonków jednowarstwowych, które występują w układzie oddechowym człowieka.

A.



B.

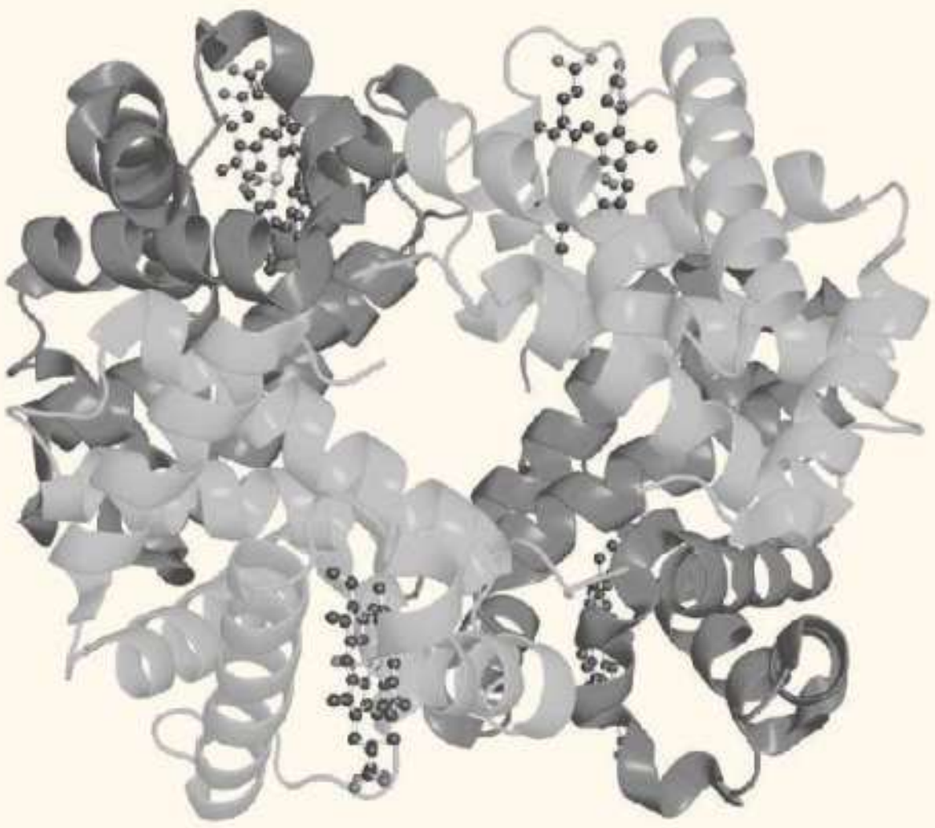


a) Określ, który z nabłonków – A czy B – wyścieła tchawicę człowieka. Odpowiedź uzasadnij, uwzględniając nazwę wybranego nabłonka oraz jedną widoczną na ilustracji cechę budowy, która umożliwia mu prawidłowe pełnienie swojej funkcji.

b) Podaj dwie widoczne na ilustracjach cechy budowy tkanek A i B, które pozwalają zaklasyfikować te tkanki do nabłonków.

c) Podaj nazwy dwóch rodzajów tkanek – innych niż tkanki A i B – które budują ścianę tchawicy człowieka.

2 W organizmie człowieka występuje kilka rodzajów hemoglobiny, m.in. hemoglobina A (HbA), która występuje u osoby dorosłej, oraz hemoglobina F (HbF), która występuje u płodu. Hemoglobina F charakteryzuje się większym powinowactwem do tlenu niż hemoglobina A. Poniżej przedstawiono budowę cząsteczki hemoglobiny A.



a) Dokończ zdanie. Wybierz odpowiedź A–C oraz jej uzupełnienie 1–3.

Hemoglobina A jest białkiem, którego maksymalnym stopniem organizacji jest struktura

A.	drugorzędowa,	ponieważ	1.	jest zbudowana z czterech podjednostek białkowych.
B.	trzeciorzędowa,		2.	zawiera w cząsteczce łańcuchy polipeptydowe sfałdowane przestrzennie w α-helisę stabilizowaną wiązaniami wodorowymi.
C.	czwartorzędowa,		3.	zawiera w cząsteczce fragmenty α-helikalne, o których wzajemnym ułożeniu względem siebie decydują oddziaływania między podstawnikami aminokwasów.

b) Uzupełnij poniższe zdania tak, aby zawierały prawdziwe informacje dotyczące budowy i funkcji hemoglobiny. Wybierz właściwe określenia spośród podanych.

Każda cząsteczka hemoglobiny zawiera cztery cząsteczki hemu, w którego centrum znajduje się kation (*żelaza / magnezu*) umożliwiający wiązanie tlenu. Metal ten należy do (*makroelementów / mikroelementów*). Jego bogatym źródłem są (*orzechy / zielone warzywa*).

c) Wyjaśnij, jakie znaczenie dla dostarczania tlenu do organizmu płodu w czasie ciąży ma różnica w powinowactwie do tlenu między hemoglobiną A a hemoglobiną F.

3 W tabeli porównano parametry dotyczące układu oddechowego człowieka przebywającego na Mount Everest (8848 m n.p.m.) i człowieka przebywającego na nizinach.

Parametry układu oddechowego	Mount Everest	Niziny
Wentylacja podczas oddychania powietrzem	107 l/min	ok. 5–6 l/min
Częstość oddechów	86/min	12–16/min
Częstość skurczów serca	134/min	ok. 70/min
Ciśnienie parcjalne O_2 we krwi tętniczej	28 mm Hg	70–100 mm Hg
Ciśnienie parcjalne CO_2 we krwi tętniczej	7,5 mm Hg	35–45 mm Hg
pH krwi tętniczej	powyżej 7,7	7,35–7,45

Na podstawie: J. Krzeszowiak, *Ostra choroba wysokogórska*, „Medycyna Środowiskowa – Environmental Medicine" 2012, 15 (1), s. 61–68.

a) Wyjaśnij, dlaczego na dużych wysokościach zwiększa się częstość oddechów i częstość skurczów serca. W odpowiedzi uwzględnij przyczynę tych zmian oraz ich znaczenie adaptacyjne.

b) Na podstawie tabeli i własnej wiedzy oceń, czy poniższe stwierdzenia dotyczące parametrów układu oddechowego na różnych wysokościach n.p.m. są prawdziwe. Zaznacz P, jeśli stwierdzenie jest prawdziwe, albo F – jeśli jest fałszywe.

1.	Na dużych wysokościach wzrasta częstość oddechów, natomiast ich głębokość pozostaje bez zmian.	P	F
2.	W krwi tętniczej osoby przebywającej na dużych wysokościach jest więcej jonów wodorowych niż w krwi tętniczej osoby przebywającej na nizinach.	P	F
3.	Niskie temperatury panujące na dużych wysokościach sprzyjają wiązaniu tlenu przez hemoglobinę.	P	F

c) Wyjaśnij, dlaczego rdzenni mieszkańcy wysokich gór nie zapadają na chorobę wysokościową. W odpowiedzi uwzględnij dwa przystosowania ich układu krwionośnego do warunków panujących na dużych wysokościach.

d) Podaj nazwę oraz dokładną lokalizację ośrodka obecnego w mózgowiu człowieka, który decyduje o częstości wykonywanych oddechów.

6. Układ krążenia. Odporność

6.1. Układ krążenia u zwierząt
6.2. Skład i funkcje krwi
6.3. Budowa i funkcje układu krwionośnego
6.4. Funkcjonowanie układu krwionośnego
6.5. Układ limfatyczny
6.6. Choroby układu krążenia
6.7. Budowa i funkcje układu odpornościowego
6.8. Rodzaje i mechanizmy odporności
6.9. Zaburzenia funkcjonowania układu odpornościowego

Fot. Elementy morfotyczne krwi (mikrofotografia elektronowa).

6.1. Układ krążenia u zwierząt

Zwróć uwagę na:
- rodzaje układów krążenia,
- związek między budową układu krążenia a jego funkcją u różnych grup zwierząt,
- tendencje ewolucyjne w budowie serca kręgowców.

Wszystkie zwierzęta potrzebują do funkcjonowania wydajnego systemu transportu, który odpowiada za nieustanne zaopatrywanie komórek ciała w pokarm i tlen oraz za odprowadzanie zbędnych i szkodliwych produktów przemiany materii do miejsca ich przetwarzania lub wydalania. U większości zwierząt funkcję tę pełni układ krążenia. Jedynie zwierzęta o małych rozmiarach ciała lub wolnym tempie metabolizmu nie wykształciły układu krążenia – transport substancji pomiędzy komórkami odbywa się u nich dzięki procesowi dyfuzji.

Na układ krążenia składają się **układ krwionośny** oraz **układ limfatyczny**. Układ krwionośny występuje u większości bezkręgowców i wszystkich kręgowców. Składa się zwykle z serca oraz systemu naczyń krwionośnych. Z kolei typowy układ limfatyczny występuje tylko u kręgowców. Składa się z narządów limfatycznych oraz naczyń limfatycznych.

Płyny ustrojowe

Nośnikami substancji transportowanych przez układ krążenia są płyny ustrojowe: krew, limfa oraz hemolimfa (pełni funkcje zarówno krwi, jak i limfy).

- **Krew** to płyn ustrojowy krążący w zamkniętym układzie krwionośnym występującym u części bezkręgowców i wszystkich kręgowców.
- **Limfa** to płyn ustrojowy krążący w układzie limfatycznym występującym u kręgowców.
- **Hemolimfa** to płyn ustrojowy krążący w otwartym układzie krwionośnym występującym u części bezkręgowców.

Oprócz płynów ustrojowych charakterystycznych dla układu krążenia w organizmach zwierząt znajduje się **płyn tkankowy**, który wypełnia przestrzenie między komórkami poszczególnych narządów. Pośredniczy on w przekazywaniu substancji między komórkami a płynem wypełniającym układ krążenia.

Barwniki oddechowe

Krew i hemolimfa zawierają **białka złożone**, zwane barwnikami oddechowymi. Mają one zdolność nietrwałego wiązania gazów oddechowych: tlenu i dwutlenku węgla, dlatego mogą uczestniczyć w przenoszeniu tych substancji. U poszczególnych grup zwierząt występują różne barwniki oddechowe: szaroniebieska **hemocyjanina**, purpurowoczerwona **hemoerytryna**, czerwona **hemoglobina**, a także zielona **chlorokruoryna**. U zwierząt bezkręgowych barwniki są zwykle rozpuszczone w osoczu krwi, natomiast hemoglobina kręgowców znajduje się w erytrocytach.

Hemolimfa niektórych bezkręgowców, np. owadów, nie zawiera barwników oddechowych, ponieważ gazy oddechowe są przenoszone za pomocą systemu tchawek.

Rodzaje barwników oddechowych

Nazwa barwnika	Cecha budowy	Występowanie
Hemocyjanina	zawiera miedź	głównie mięczaki i stawonogi
Hemoerytryna	zawiera żelazo	niektóre pierścienice morskie (wieloszczety)
Chlorokruoryna	zawiera żelazo	niektóre pierścienice morskie (wieloszczety)
Hemoglobina	zawiera żelazo	kręgowce, niektóre bezkręgowce (np. pierścienice)

Funkcje układu krwionośnego

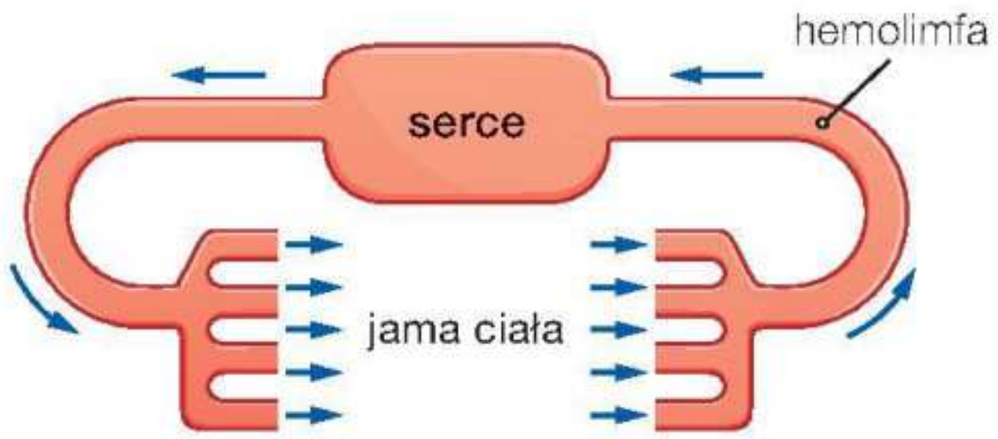
Układ krwionośny pełni w organizmie zwierząt następujące funkcje:

- transportuje różne substancje, m.in. tlen i dwutlenek węgla, składniki pokarmowe, zbędne produkty przemiany materii, hormony oraz elementy układu odpornościowego,
- u zwierząt zmiennocieplnych transportuje ciepło pochłaniane przez powłoki ciała ze środowiska zewnętrznego do narządów wewnętrznych, co umożliwia zachodzenie różnych procesów fizjologicznych,
- u zwierząt stałocieplnych (ptaków i ssaków) transportuje nadmiar ciepła z narządów wewnętrznych do powierzchni ciała, gdzie ciepło ulega rozproszeniu,
- utrzymuje odpowiedni poziom uwodnienia organizmu, optymalne pH i optymalne stężenie jonów we wszystkich tkankach.

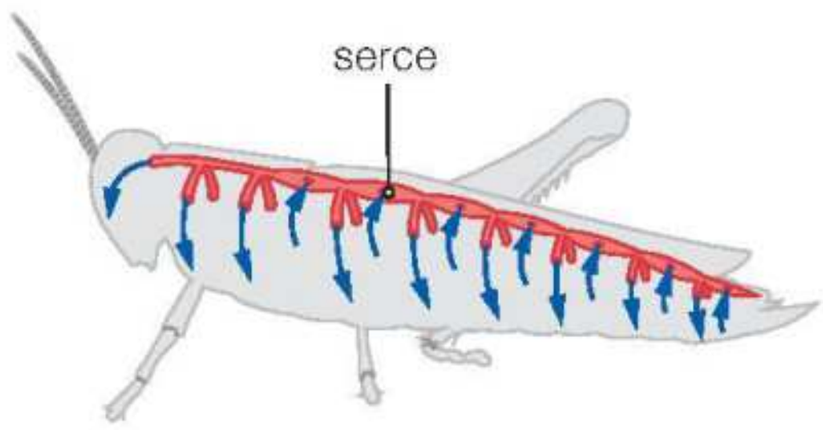
Otwarty i zamknięty układ krwionośny

Wyróżnia się dwa podstawowe typy układu krwionośnego: otwarty i zamknięty.

- **W otwartym układzie krwionośnym** hemolimfa płynie tylko częściowo w obrębie naczyń krwionośnych. W wielu obszarach ciała wylewa się ona do jamy ciała, obmywa znajdujące się w niej narządy, a następnie powraca do naczyń. Ciśnienie hemolimfy jest zwykle niskie, a jej przepływ – powolny.

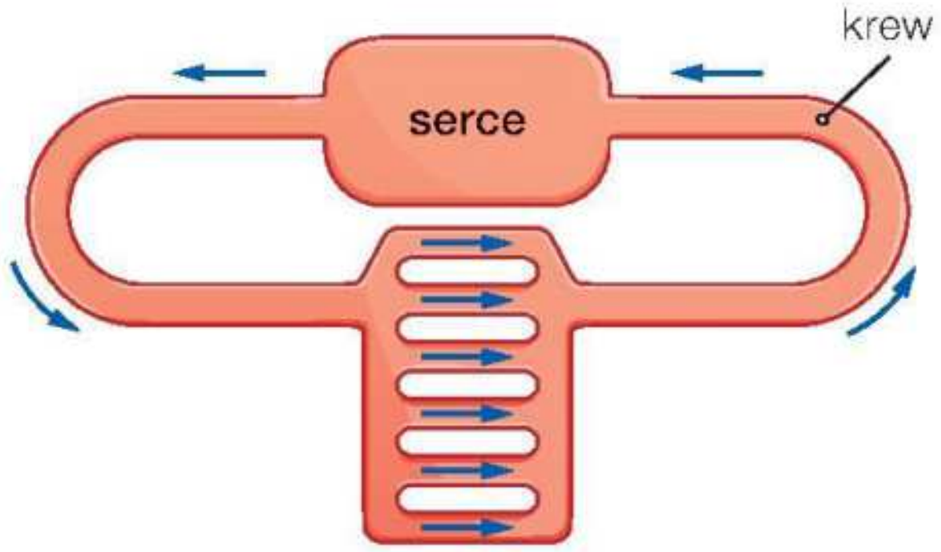


Hemolimfa, która jest tłoczona przez serce (lub tętniące naczynia krwionośne), przepływa częściowo systemem naczyń krwionośnych, a częściowo w obrębie jamy ciała.

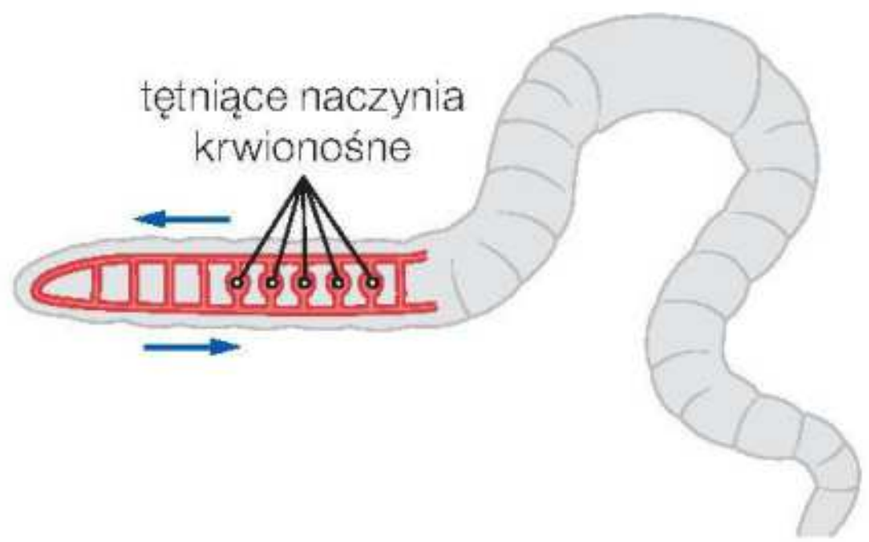


Otwarty układ krwionośny jest charakterystyczny dla bezkręgowców. Występuje m.in. u stawonogów, mięczaków i szkarłupni.

- **W zamkniętym układzie krwionośnym** krew płynie wyłącznie systemem naczyń krwionośnych i nie wylewa się do jamy ciała. Ciśnienie krwi jest zazwyczaj wysokie, a jej przepływ – szybki.



Krew, która jest tłoczona przez serce (lub tętniące naczynia krwionośne), przepływa wyłącznie zamkniętym systemem naczyń krwionośnych.



Zamknięty układ krwionośny jest charakterystyczny dla kręgowców. Wśród bezkręgowców układ taki mają nieliczne zwierzęta, m.in. pierścienice.

Układ krwionośny u bezkręgowców

Drobne zwierzęta bezkręgowe, takie jak gąbki, parzydełkowce, płazińce, wrotki i nicienie, nie mają układu krwionośnego. Transport substancji z komórki do komórki odbywa się u nich dzięki procesowi dyfuzji. U parzydełkowców niezbędne substancje rozprowadza jama gastralna. U płazińców funkcję układu krwionośnego pełnią rozgałęzione jelito oraz płyn tkankowy, który obmywa komórki. U wrotków i nicieni substancje transportuje płyn wypełniający jamę ciała.

Wśród bezkręgowców układ krwionośny po raz pierwszy pojawił się u pierścienic. Jest on zamknięty. Natomiast stawonogi, mięczaki oraz szkarłupnie mają otwarty układ krwionośny. Płynąca w nim hemolimfa krąży tym szybciej, im większa jest aktywność metaboliczna zwierzęcia. U niektórych zwierząt, np. owadów, układ krwionośny nie uczestniczy w transporcie gazów oddechowych. Funkcję tę pełni rozgałęziony system tchawek układu oddechowego.

Układ krwionośny u kręgowców

U kręgowców transport substancji odbywa się za pośrednictwem zamkniętego układu krwionośnego. Układ ten składa się z serca, które pompuje krew, oraz z systemu naczyń krwionośnych, które rozprowadzają krew po organizmie. Do naczyń krwionośnych należą:

- **tętnice** – odprowadzają krew z serca do naczyń włosowatych,
- **żyły** – doprowadzają krew z naczyń włosowatych do serca,
- **naczynia włosowate** – najdrobniejsze rozgałęzienia tętnic i żył oplatające tkanki i narządy ciała.

Mimo wspólnego planu budowy układy krwionośne ryb, płazów, gadów, ptaków i ssaków wykazują istotne różnice. Kręgowce, u których narządem wymiany gazowej są **skrzela** (ryby), mają **jeden obieg krwi**. Natomiast kręgowce, u których narządem wymiany gazowej są **płuca** (płazy, gady, ptaki, ssaki), mają **dwa obiegi krwi**: płucny (mały) i ustrojowy (duży). Krwiobieg płucny odpowiada za zaopatrywanie krwi w tlen, z kolei krwiobieg ustrojowy dostarcza krew z tlenem do tkanek i narządów ciała.

Budowa serca u kręgowców

Serce ryb składa się z czterech szeregowo połączonych pęcherzyków: zatoki żylnej, przedsionka, komory i stożka tętniczego. U ryb chrzęstnoszkieletowych stożek tętniczy jest dobrze widoczny, natomiast u promieniopłetwych i mięśniopłetwych jest ukryty wewnątrz opuszki tętniczej. Między poszczególnymi częściami serca znajdują się zastawki uniemożliwiające cofanie się krwi. Dzięki temu krew płynie w jednym kierunku. Serce ryb (z wyjątkiem dwudysznych) jest wyłącznie żylne, co oznacza, że płynie przez nie krew odtlenowana, która z tkanek ciała wpływa do zatoki żylnej. Stąd jest dalej przepompowywana przez przedsionek, komorę oraz stożek tętniczy, a następnie płynie systemem tętnic do skrzeli. Utlenowana w skrzelach krew jest rozprowadzana po całym organizmie.

Układy krwionośne bezkręgowców

Grupa zwierząt	Typ układu	Ogólna charakterystyka
Pierścienice	zamknięty	brak serca, jego funkcję pełnią kurczliwe odcinki niektórych naczyń krwionośnych
Stawonogi	otwarty	serce z ostiami, otoczone workiem osierdziowym
Mięczaki	otwarty	serce zbudowane z komory i przedsionków, otoczone workiem osierdziowym; u głowonogów występują dodatkowe serca skrzelowe i zachodzi silna redukcja zatok jamy ciała
Szkarłupnie	otwarty	brak serca, w transporcie substancji uczestniczy również układ wodny

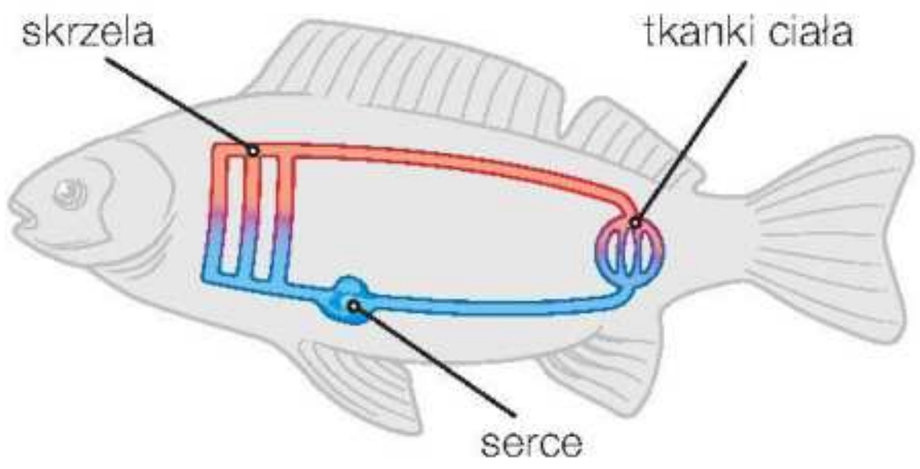
Serce płazów jest zbudowane z dwóch przedsionków oraz komory. W jego skład wchodzą również stożek tętniczy oraz zatoka żylna. Do prawego przedsionka napływają krew odtlenowana powracająca z tkanek ciała i krew utlenowana docierająca z naczyń skórnych. Z kolei do lewego przedsionka napływa krew utlenowana wracająca z płuc. Nierównomierny przepływ krwi z przedsionków do komory oraz szczególna budowa ścian komory częściowo ograniczają mieszanie się krwi żylnej z krwią tętniczą. Krew z komory przepływa następnie do stożka tętniczego, podzielonego podłużną zastawką spiralną na dwa kanały. Dzięki temu z serca wypływają dwa strumienie krwi – krew bogata w tlen wpływa do aorty, stanowiącej początek obiegu ustrojowego, natomiast krew uboga w tlen wpływa do tętnicy płucnej, która prowadzi do płuc oraz skóry.

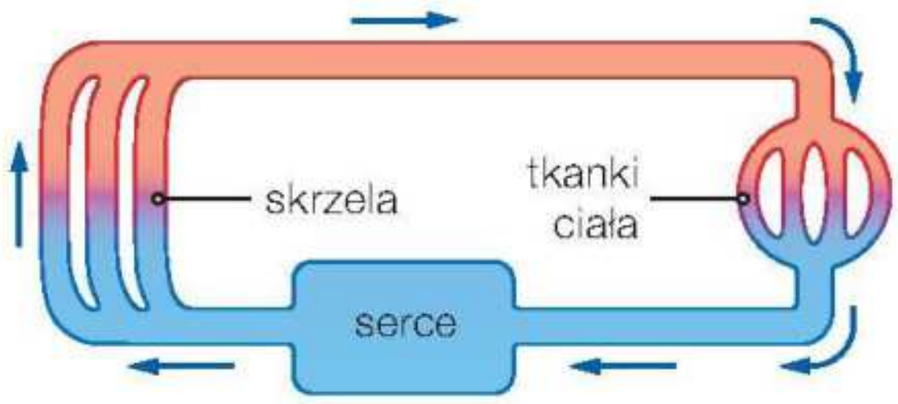
Serce gadów jest zbudowane z dwóch przedsionków oraz komory z częściową przegrodą. Dzieli ona komorę na części prawą i lewą, co w znacznym stopniu zapobiega mieszaniu się krwi żylnej z krwią tętniczą, a tym samym zwiększa wydajność wymiany gazowej. W czasie skurczu komory przegroda dotyka jej górnej części, rozdzielając oba rodzaje krwi. Spośród wszystkich gadów jedynie krokodyle mają w komorze serca całkowitą przegrodę.

Serca ptaków i ssaków mają najbardziej skomplikowaną budowę wśród wszystkich kręgowców. Dzięki dwóm przedsionkom i dwóm całkowicie rozdzielonym komorom krew tętnicza i krew żylna nie mieszają się ze sobą. Dlatego ptaki i ssaki wykazują bardzo wysokie tempo metabolizmu, które pozwala m.in. na utrzymanie stałej temperatury ciała.

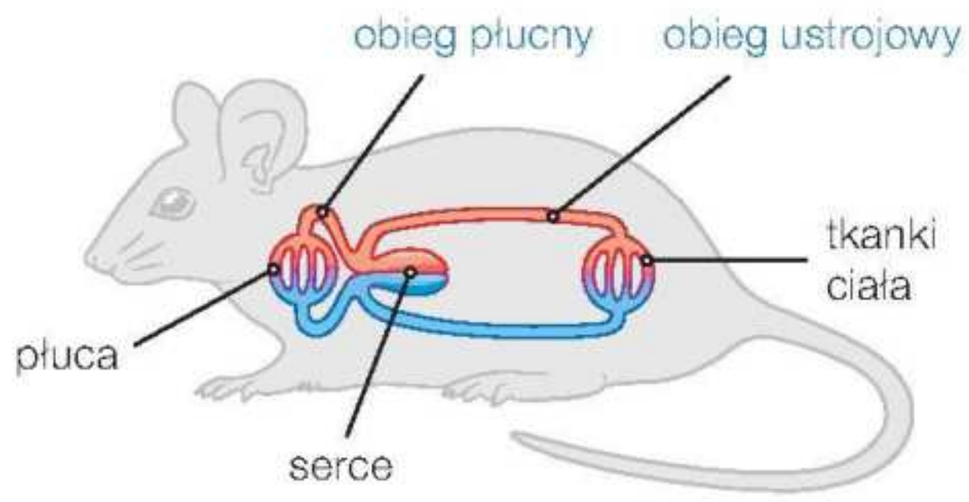
Układy krwionośne: jednoobiegowy i dwuobiegowy

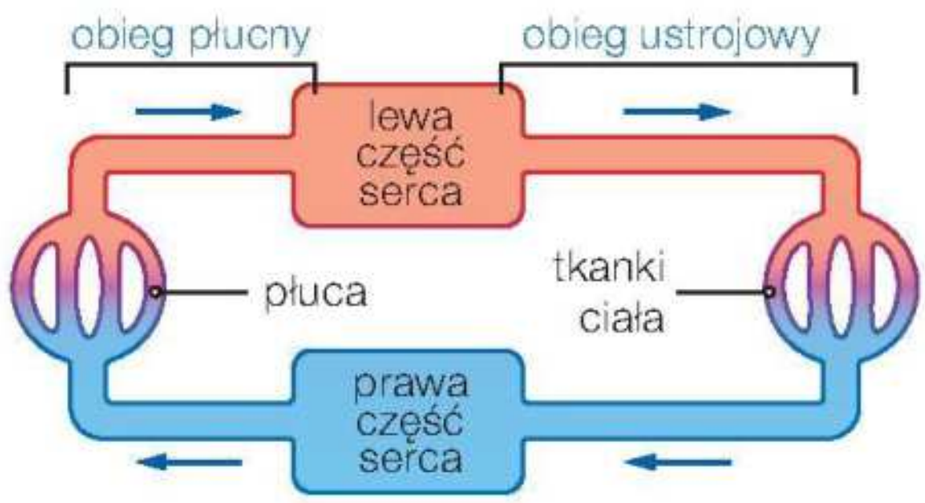
Różnice w budowie układu krwionośnego kręgowców są związane ze środowiskiem życia i rodzajem narządów wymiany gazowej.





U ryb – kręgowców oddychających skrzelami – występuje jeden obieg krwi. Krew żylna wypływa z serca i naczyniami tętniczymi dostaje się do skrzeli, gdzie ulega utlenowaniu. Utlenowana krew płynie następnie do pozostałych narządów ciała, oddaje tlen i jako krew odtlenowana wraca żyłami do serca.





U kręgowców lądowych – oddychających płucami – występują dwa obiegi krwi: płucny i ustrojowy. W obiegu płucnym krew odtlenowana z prawej części serca płynie tętnicami do płuc. Tam ulega utlenowaniu, a następnie wraca żyłami do lewej części serca. W obiegu ustrojowym krew utlenowana z lewej części serca płynie tętnicami do pozostałych narządów ciała. Tam oddaje tlen, a następnie wraca żyłami do prawej części serca.

Porównanie budowy układów krwionośnych strunowców

Ryby

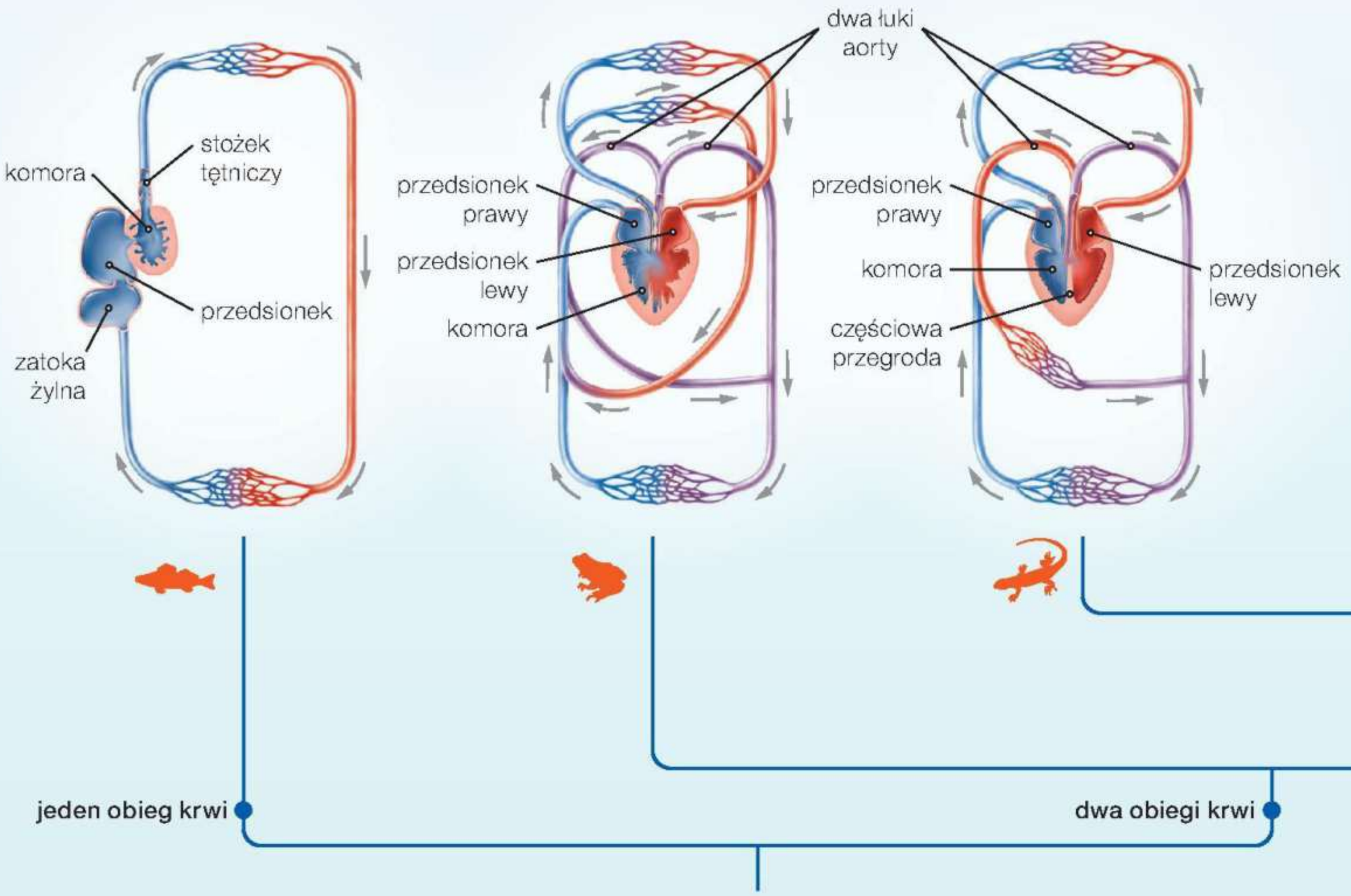
Serce ryb składa się z czterech części: zatoki żylnej, przedsionka, komory i stożka tętniczego. Krew odtlenowana płynie z serca do skrzeli, a następnie – jako krew utlenowana – kieruje się do poszczególnych narządów ciała.

Płazy

Serce płazów jest zbudowane z dwóch przedsionków oraz komory. W komorze krew utlenowana (w płucach oraz skórze) miesza się częściowo z krwią odtenowaną, co ogranicza wydajność wymiany gazowej.

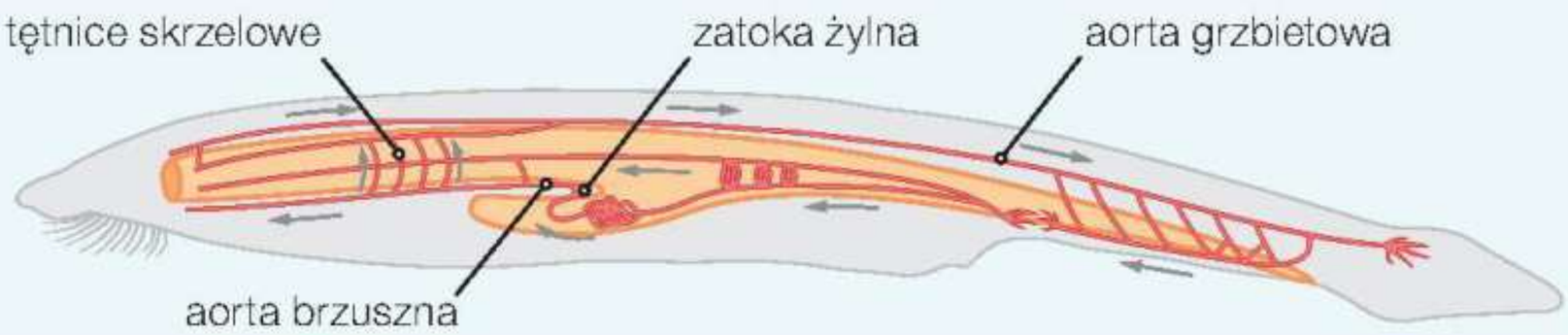
Gady

Serce gadów składa się z dwóch przedsionków oraz komory z częściową przegrodą. Przegroda ogranicza mieszanie się krwi utlenowanej z krwią odtlenowaną, a tym samym – zwiększa wydajność wymiany gazowej.



Układ krwionośny lancetników

Lancetniki mają zamknięty układ krwionośny, który składa się z naczyń tętniczych i żylnych oraz z zatoki żylnej. Charakterystyczną cechą tych strunowców jest brak serca. Przepływ krwi zapewniają słabe i nieregularne skurcze naczyń krwionośnych, przede wszystkim aorty brzusznej oraz tętnic skrzelowych. W rezultacie krążenie krwi jest powolne.

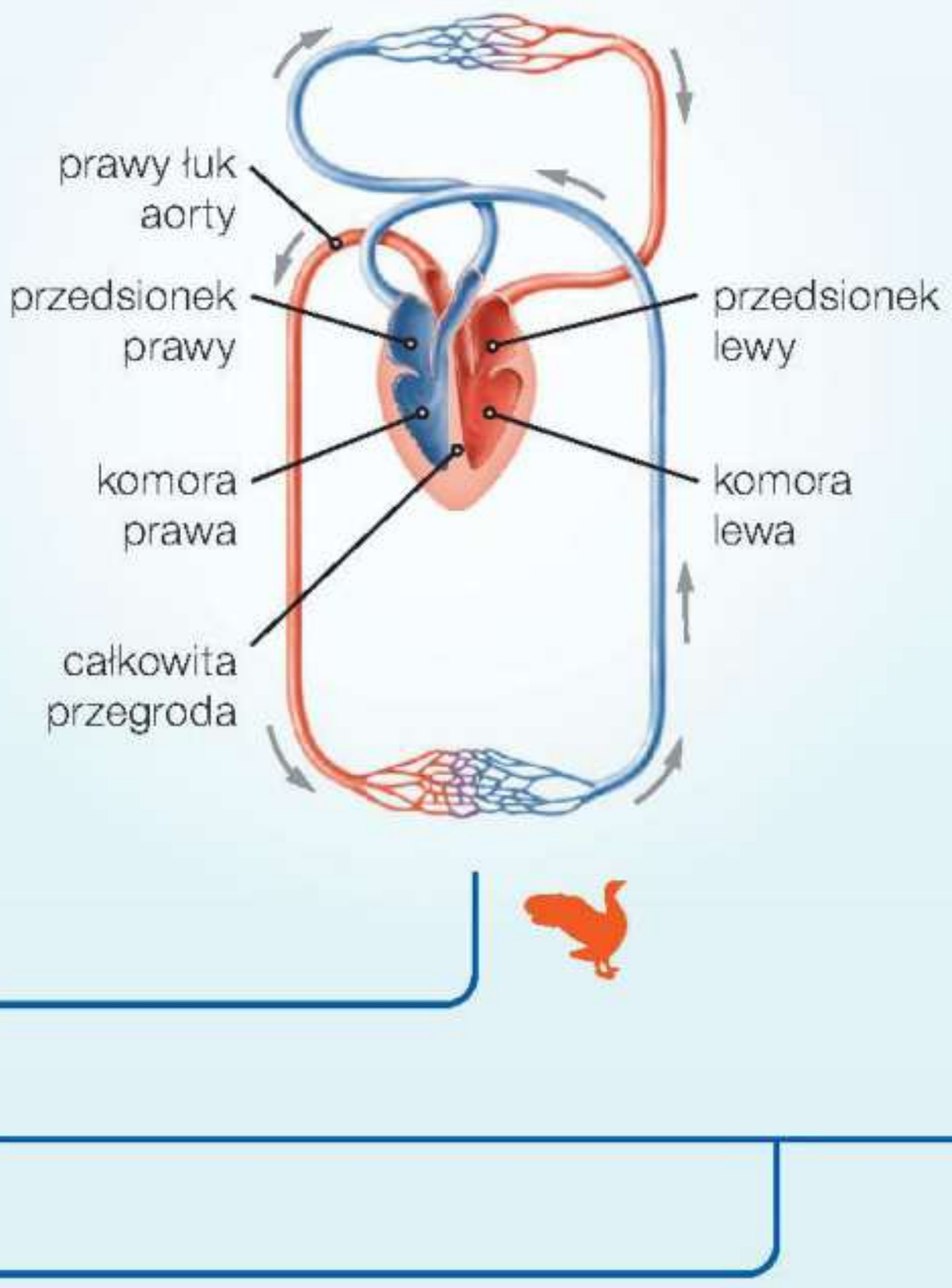


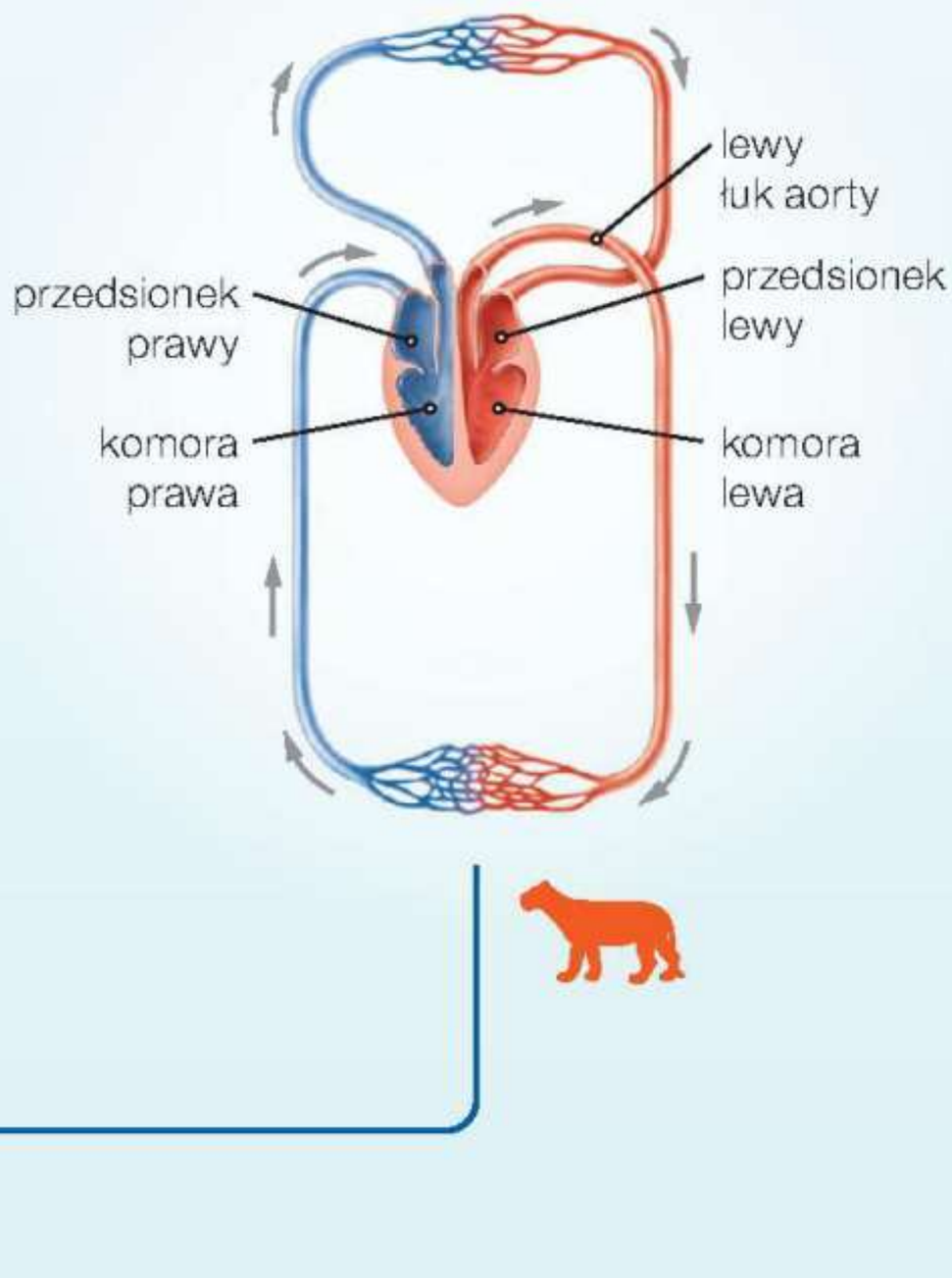
Ptaki

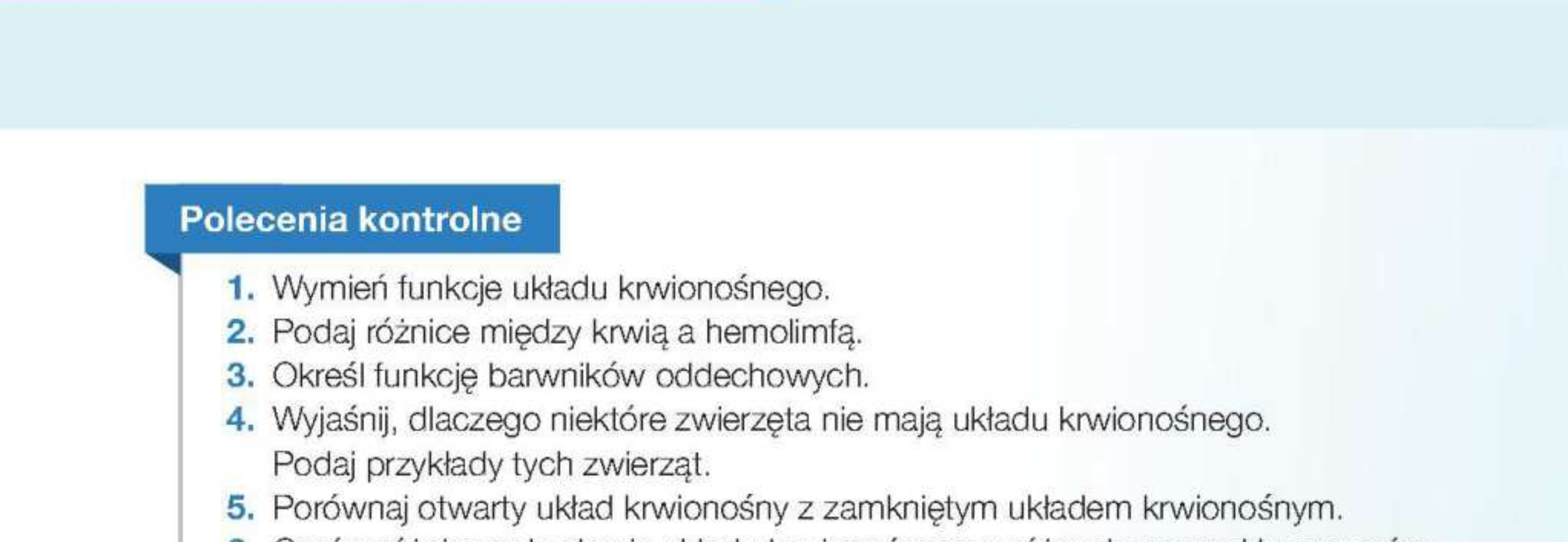
Serce ptaków składa się z dwóch przedsionków oraz dwóch komór. Dzięki takiej budowie krew odtlenowana nie miesza się w ogóle z krwią utlenowaną, co pozwala na bardzo dużą wydajność wymiany gazowej, a w rezultacie – na wysokie tempo metabolizmu i stałocieplność. U ptaków funkcjonuje tylko prawy łuk aorty.

Ssaki

Serce ssaków, podobnie jak serce ptaków, składa się z dwóch przedsionków oraz dwóch komór, co zapobiega mieszaniu się krwi odtlenowanej z krwią utlenowaną. W związku z tym wydajność wymiany gazowej jest bardzo duża, co skutkuje szybkim metabolizmem i stałą temperaturą ciała. U ssaków funkcjonuje tylko lewy łuk aorty.







Polecenia kontrolne

1. Wymień funkcje układu krwionośnego.
2. Podaj różnice między krwią a hemolimfą.
3. Określ funkcję barwników oddechowych.
4. Wyjaśnij, dlaczego niektóre zwierzęta nie mają układu krwionośnego. Podaj przykłady tych zwierząt.
5. Porównaj otwarty układ krwionośny z zamkniętym układem krwionośnym.
6. Omów różnice w budowie układu krwionośnego u różnych gromad kręgowców.
7. Opisz korzyści wynikające z obecności całkowitej przegrody międzykomorowej w sercu ptaków i ssaków.
8. Porównaj budowę serca u poszczególnych gromad kręgowców.
9. Wyjaśnij, jaką funkcję w sercu płazów pełni zastawka spiralna.

6.2. Skład i funkcje krwi

Zwróć uwagę na:
- skład krwi,
- funkcje krwi,
- proces krzepnięcia krwi,
- konflikt serologiczny.

Krew jest tkanką łączną płynną, która u człowieka krąży w zamkniętym systemie naczyń krwionośnych. Jej całkowita objętość w organizmie osoby dorosłej wynosi ok. 5,5 dm^3, co stanowi ok. 7% masy ciała.

Krew pełni funkcje:
- transportową – transportuje m.in. tlen, dwutlenek węgla, substancje pokarmowe, produkty przemiany materii i hormony,
- regulacyjną – utrzymuje odpowiedni poziom uwodnienia organizmu, optymalne pH i stałą temperaturę ciała,
- obronną – bierze udział w reakcjach odpornościowych organizmu.

Skład krwi

Krew składa się ze składników komórkowych, zwanych **elementami morfotycznymi**, oraz z substancji międzykomórkowej, którą stanowi **osocze**. Do elementów morfotycznych należą **erytrocyty** (krwinki czerwone), **leukocyty** (krwinki białe) oraz **płytki krwi** (trombocyty). Wszystkie elementy morfotyczne powstają w czerwonym szpiku kostnym. Osocze krwi jest wodnym roztworem różnych substancji organicznych i nieorganicznych. Część z nich jest wchłaniana z przewodu pokarmowego, a część – wytwarzana przez różne narządy ciała, np. wątrobę i gruczoły dokrewne.

Stosunek objętości krwinek czerwonych do całkowitej objętości krwi określa się mianem **wskaźnika hematokrytowego** (hematokrytu). Jego wartość ustala się przez odwirowanie krwi w kalibrowanej probówce z dodatkiem środków przeciwkrzepliwych. Krwinki opadają wówczas na dno probówki, a osocze zbiera się nad nimi.

Proporcje poszczególnych składników krwi

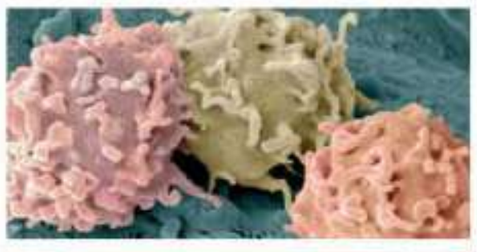
Krew poddana wirowaniu dzieli się na kilka warstw. Najwyżej znajduje się osocze, które stanowi ok. 55% objętości krwi. Środkową, cienką warstwę tworzą leukocyty i płytki krwi. Najniżej znajdują się erytrocyty, które stanowią ok. 45% objętości krwi.

Osocze – transportuje większość substancji przenoszonych przez krew, a także uczestniczy w reakcjach odpornościowych oraz w krzepnięciu krwi.

Elementy morfotyczne:



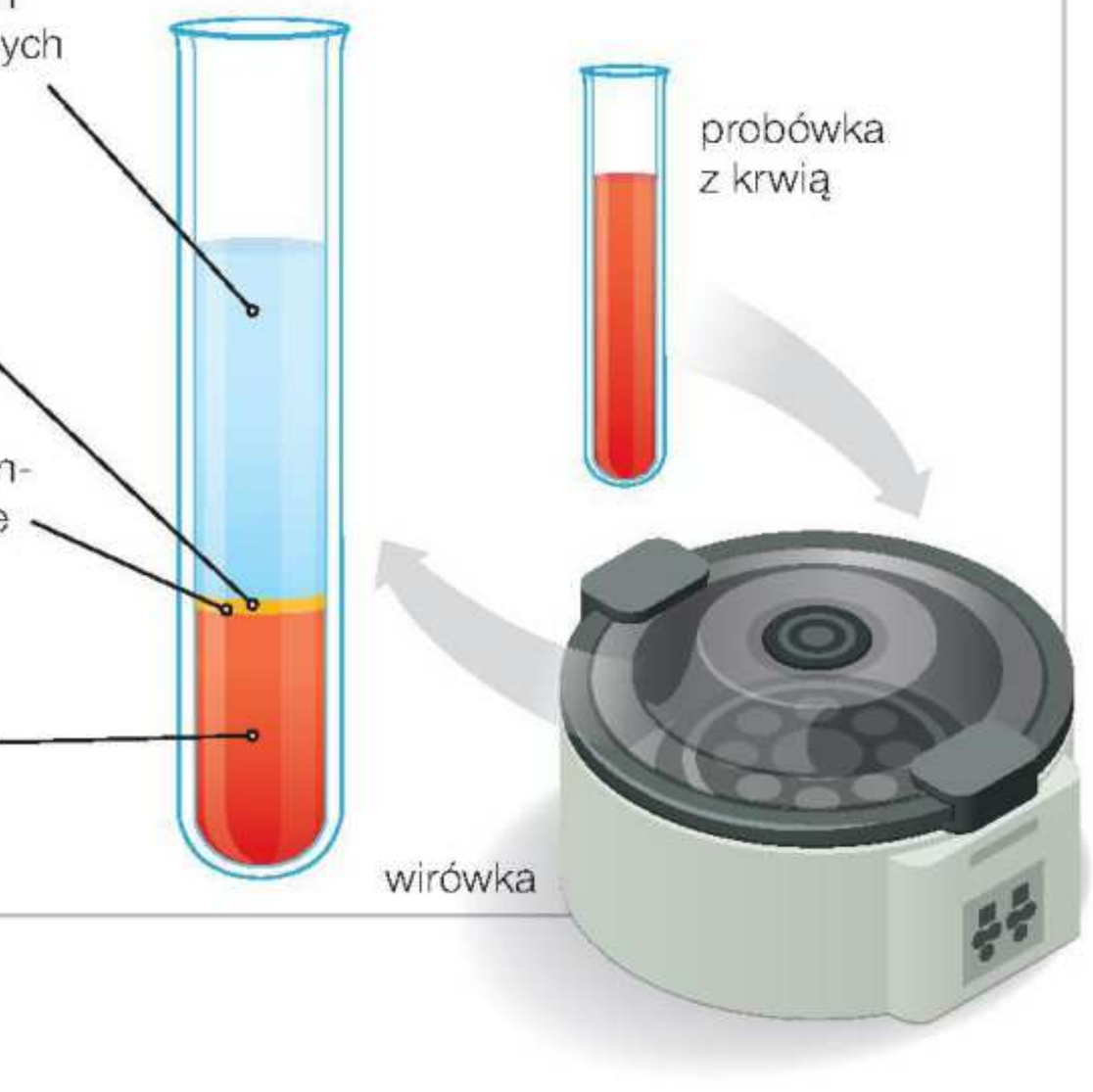
Płytki krwi – biorą udział w procesie krzepnięcia krwi.



Leukocyty – pełnią funkcje obronne, m.in. zwalczają drobnoustroje chorobotwórcze.

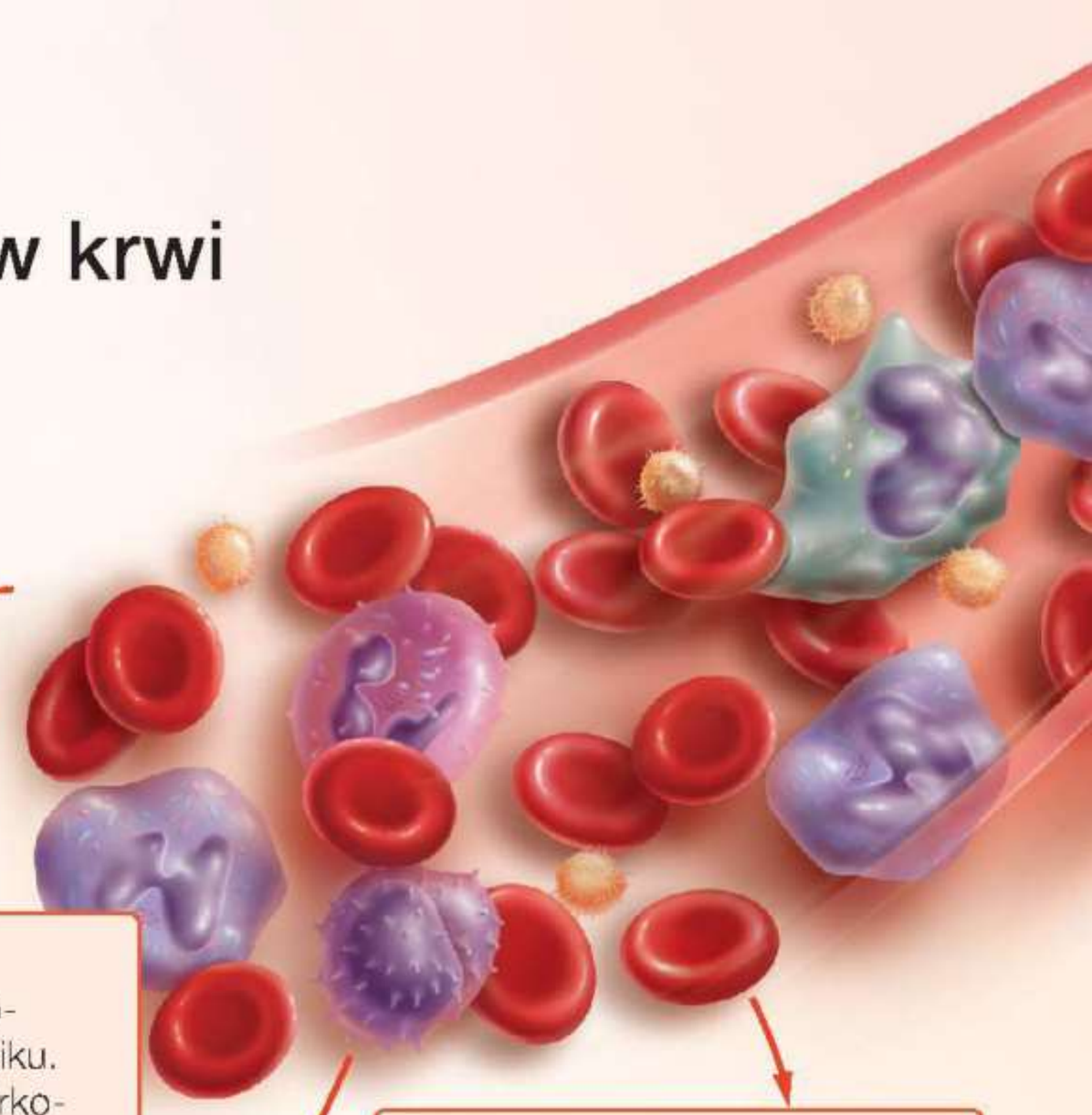


Erytrocyty – transportują gazy oddechowe, głównie tlen.



Charakterystyka składników krwi

Krew składa się z płynnego osocza oraz elementów morfotycznych, do których należą: erytrocyty, leukocyty i płytki krwi.



OSOCZE
Składa się głównie z wody (ok. 90%), białek (6–8%, m.in. albumin, przeciwciał, fibrynogenu), a także jonów soli mineralnych. Woda, jony soli mineralnych i albuminy zapewniają organizmowi odpowiednie uwodnienie i optymalne pH. Przeciwciała pełnią funkcję odpornościową, a fibrynogen bierze udział w krzepnięciu krwi.

PŁYTKI KRWI
Są to fragmenty cytoplazmy komórek szpiku. Nie mają jądra komórkowego. Są niezbędne do prawidłowego krzepnięcia krwi i utrzymania ciągłości naczyń krwionośnych.

ERYTROCYTY
Dojrzałe erytrocyty nie mają jądra komórkowego i mitochondriów, są wypełnione hemoglobiną. Mają kształt dwuwklęsłych dysków, co zwiększa ich powierzchnię i ułatwia łączenie się hemoglobiny z tlenem.

LEUKOCYTY
Mają jądro komórkowe.

Agranulocyty
(leukocyty bez ziarnistości)



Limfocyty – nie mają właściwości żernych, uczestniczą w procesach odpornościowych organizmu, m.in. niszczą komórki nowotworowe. Wyróżnia się limfocyty T i limfocyty B.



Monocyty – mogą się przemieszczać pomiędzy tkankami. Przekształcają się w makrofagi, które mają właściwości żerne – niszczą w wyniku fagocytozy bakterie, wirusy, a także uszkodzone komórki.

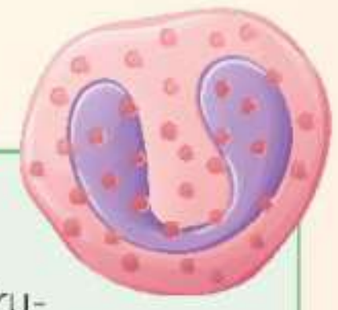
Granulocyty
(leukocyty z ziarnistościami)



Neutrofile – mają właściwości żerne: niszczą drobnoustroje przez fagocytozę i wytwarzają substancje bakteriobójcze. Biorą udział w reakcjach zapalnych.



Bazofile – mają właściwości żerne. Uczestniczą w reakcjach alergicznych i zapalnych.



Eozynofile – mają właściwości żerne, niszczą bakterie, wirusy i niektóre pasożyty. Regulują też przebieg reakcji alergicznych.

Elementy morfotyczne krwi

Erytrocyty są najliczniejszymi spośród wszystkich elementów morfotycznych krwi. Ich podstawową funkcją jest **transport tlenu i dwutlenku węgla**. Umożliwia go zawarty w erytrocytach barwnik – **hemoglobina** – stanowiący prawie 30% masy komórki. Dojrzałe erytrocyty nie zawierają jądra komórkowego, wskutek czego mają kształt dwuwklęsłych dysków. Dzięki takiej budowie zwiększa się stosunek ich powierzchni do objętości, a tym samym wzrasta wydajność przenikania gazów oddechowych przez błonę komórkową. Specyficzny kształt powoduje także, że erytrocyty łatwo ulegają odkształceniom, co umożliwia im przemieszczanie się przez naczynia włosowate o bardzo małej średnicy. Dojrzałe erytrocyty nie mają również mitochondriów, nie zużywają więc tlenu na własne potrzeby metaboliczne, a energię uzyskują z fermentacji mleczanowej. Krwinki te żyją średnio 120 dni, po czym ulegają rozkładowi w śledzionie i, w mniejszym stopniu, w wątrobie.

Leukocyty stanowią najbardziej różnorodną pod względem budowy i funkcji grupę elementów morfotycznych. Są większe od erytrocytów i zawierają jądra komórkowe. Ważną cechą większości leukocytów jest zdolność aktywnego ruchu pełzakowatego (niezależnie od kierunku i tempa przepływu krwi) oraz fagocytozy, czyli pochłaniania cząstek stałych, np. bakterii czy martwych komórek. Wszystkie krwinki białe biorą udział w **reakcjach odpornościowych** organizmu. Ich zapasy znajdują się w szpiku kostnym, węzłach chłonnych i śledzionie. W razie potrzeby są przekazywane do krwi, dlatego podczas infekcji liczba leukocytów we krwi może wzrosnąć ponad dziesięciokrotnie.

Ze względu na zróżnicowanie budowy i czynności leukocyty dzieli się na **granulocyty** (krwinki zawierające ziarnistości w cytoplazmie) i **agranulocyty** (krwinki bez ziarnistości). Ziarnistości cytoplazmy granulocytów wykazują różną zdolność do wchodzenia w reakcje z barwnikami. Z tego powodu granulocyty dzieli się na: neutrofile (obojętnochłonne), eozynofile (kwasochłonne) i bazofile (zasadochłonne). Do agranulocytów należą monocyty oraz limfocyty. W zależności od rodzaju leukocyty żyją od kilkudziesięciu godzin do ponad 10 lat.

Płytki krwi nie są komórkami, lecz otoczonymi błoną fragmentami cytoplazmy megakariocytów – dużych komórek występujących w szpiku kostnym. Żyją znacznie krócej niż erytrocyty (ok. 8–10 dni), po czym są rozkładane w śledzionie. Biorą udział w procesie **krzepnięcia krwi**.

Osocze krwi

Osocze ma postać płynu o słomkowym zabarwieniu. Składa się głównie z wody (ok. 90%), innych związków nieorganicznych (ok. 1%) oraz związków organicznych (ok. 9%). Wśród nieorganicznych składników osocza dominują kationy sodu (Na^+) oraz aniony chlorkowe (Cl^-) i wodorowęglanowe (HCO_3^-). Mają one istotne znaczenie w utrzymywaniu na stałym poziomie ciśnienia osmotycznego i pH krwi. Wśród związków organicznych przeważają białka, m.in. **immunoglobuliny** (przeciwciała) uczestniczące w unieszkodliwianiu antygenów i **fibrynogen** biorący udział w krzepnięciu krwi. Osocze pozbawione fibrynogenu nazywa się **surowicą krwi**. Oprócz białek osocze zawiera inne związki organiczne, m.in. substancje odżywcze dostarczane do komórek (np. glukozę, aminokwasy, witaminy), zbędne produkty przemiany materii (np. mocznik, kwas moczowy) oraz hormony.

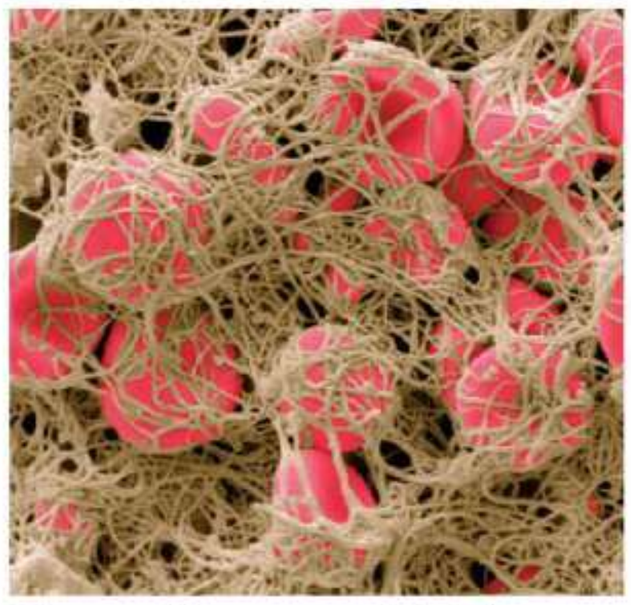
Krzepnięcie krwi

Krzepnięcie krwi jest mechanizmem ochronnym, który zabezpiecza organizm przed utratą krwi w przypadku uszkodzenia naczynia krwionośnego. W procesie krzepnięcia krwi zasadniczą rolę odgrywają płytki krwi. Po przerwaniu ciągłości naczynia gromadzą się one w miejscu uszkodzenia i uwalniają **serotoninę** – hormon tkankowy powodujący skurcz naczyń i zahamowanie krwawienia. Oprócz tego inicjują powstawanie **skrzepu**, który zamyka uszkodzone naczynie.

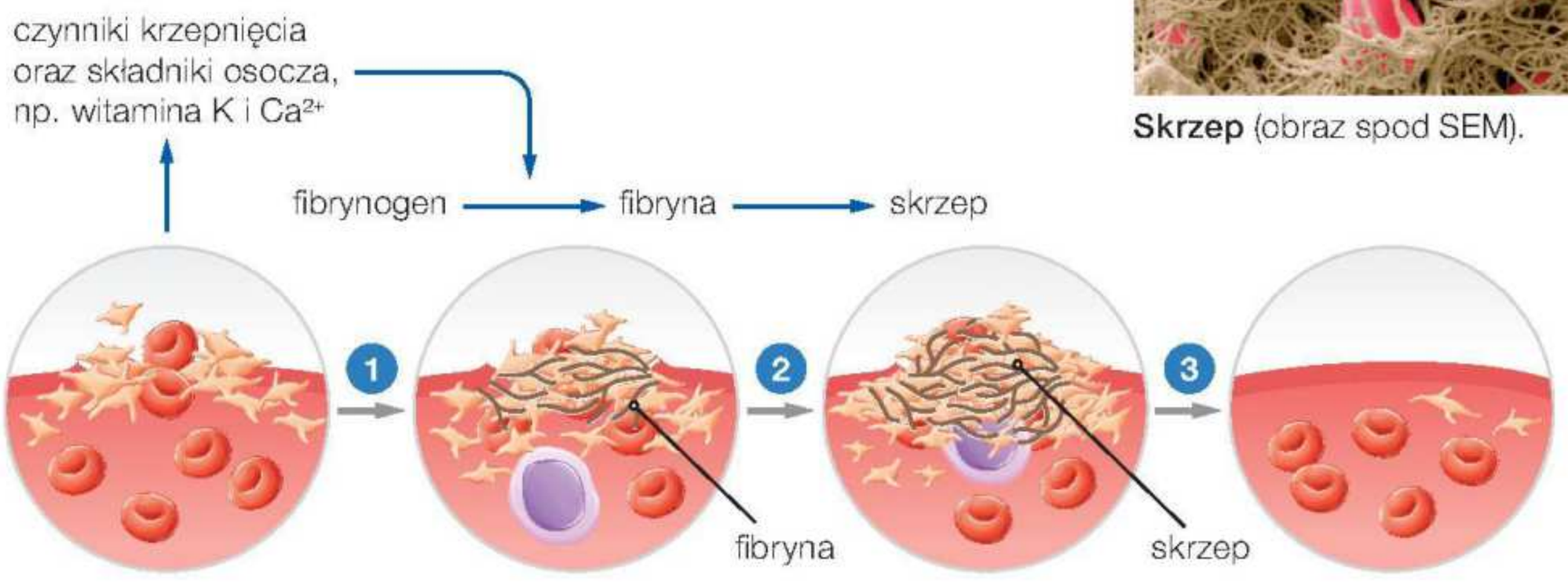
Zaburzenia procesu krzepnięcia krwi są przyczyną chorób określanych mianem skaz krwotocznych. Do najbardziej znanych należy **hemofilia**, która jest chorobą dziedziczną. Innym zjawiskiem patologicznym, niezwykle niebezpiecznym dla życia, jest krzepnięcie krwi wewnątrz naczyń krwionośnych. Zaczopowanie naczynia przez tzw. **zakrzep** prowadzi do martwicy tkanek pozbawionych stałego dopływu krwi. Zakrzepy mogą być także przyczyną wzrostu ciśnienia krwi w naczyniu, co w konsekwencji powoduje pęknięcie jego ściany i wynaczynienie krwi. W takiej sytuacji dochodzi do krwotoku wewnętrznego, zwanego potocznie wylewem. Powstawaniu zakrzepów zapobiegają naturalne substancje przeciwkrzepliwe organizmu, m.in. wytwarzana w wątrobie **heparyna**. Ogólna ilość krwi w organizmie człowieka jest wielkością stałą i może ulegać jedynie nieznacznym wahaniom. Są one uzależnione od stanu zdrowia i warunków życia. Ilość krwi zmniejsza się w przypadku krwotoków oraz przyjmowania zbyt małej ilości płynów. Przy krwotokach, które są następstwem przerwania ciągłości naczyń krwionośnych, krew opuszczając naczynia, wlewa się do jamy ciała (krwotok wewnętrzny) lub na zewnątrz (krwotok zewnętrzny). Utrata 30% lub więcej krążącej krwi wywołuje groźne dla życia następstwa. Znaczne obniżenie ciśnienia krwi powoduje zmniejszenie wydolności serca, a w konsekwencji spowolnienie przepływu krwi. Skutkiem utraty krwi jest również zmniejszenie ogólnej liczby erytrocytów w organizmie. Opisane zjawiska prowadzą do niedotlenienia wielu narządów, z których najbardziej wrażliwy jest mózg. Długotrwałe niedotlenienie mózgu może być przyczyną śmierci. W sytuacji znacznej utraty krwi zabiegiem ratującym życie jest transfuzja.

Naprawa uszkodzonego naczynia krwionośnego

Krzepnięcie krwi to zespół reakcji, który wymaga udziału ok. 30 różnych substancji. Niektóre z nich są wytwarzane przez komórki organizmu (np. fibrynogen), inne muszą być dostarczone z pokarmem (np. jony wapnia i witamina K). Powstały skrzep ulega rozpuszczeniu podczas fibrynolizy.



Skrzep (obraz spod SEM).

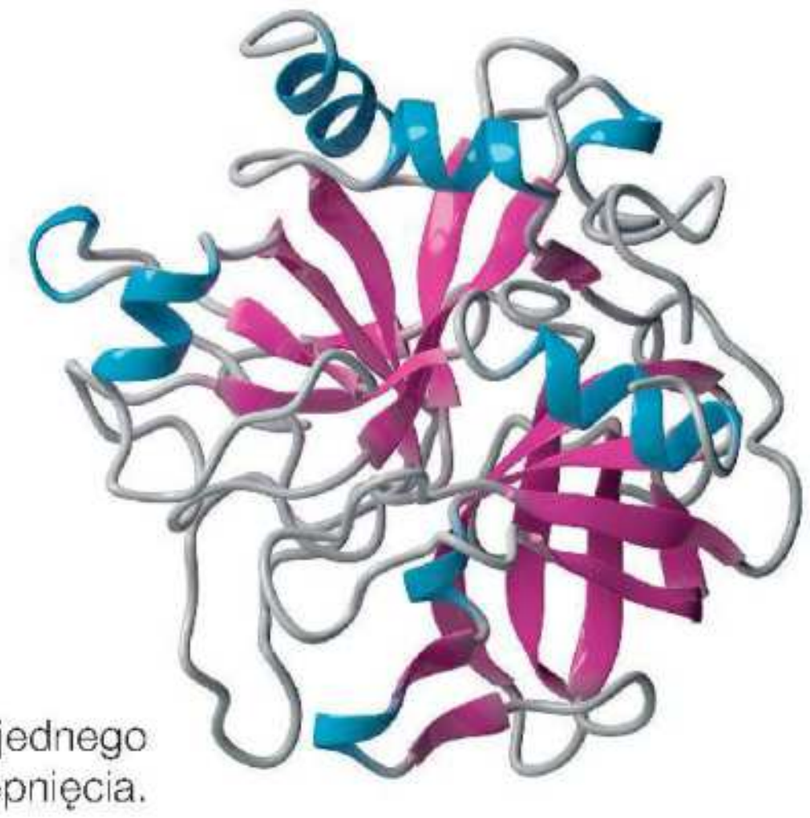


1. Uszkodzone naczynie krwionośne obkurcza się, a w miejscu uszkodzenia gromadzą się i zlepiają płytki krwi. Zarówno naczynie, jak i płytki krwi wydzielają czynniki krzepnięcia. Pod wpływem czynników krzepnięcia fibrynogen przekształca się w fibrynę.
2. Fibryna wiąże płytki i komórki krwi – powstaje skrzep.
3. Naczynie zasklepia się, a skrzep jest rozpuszczany.

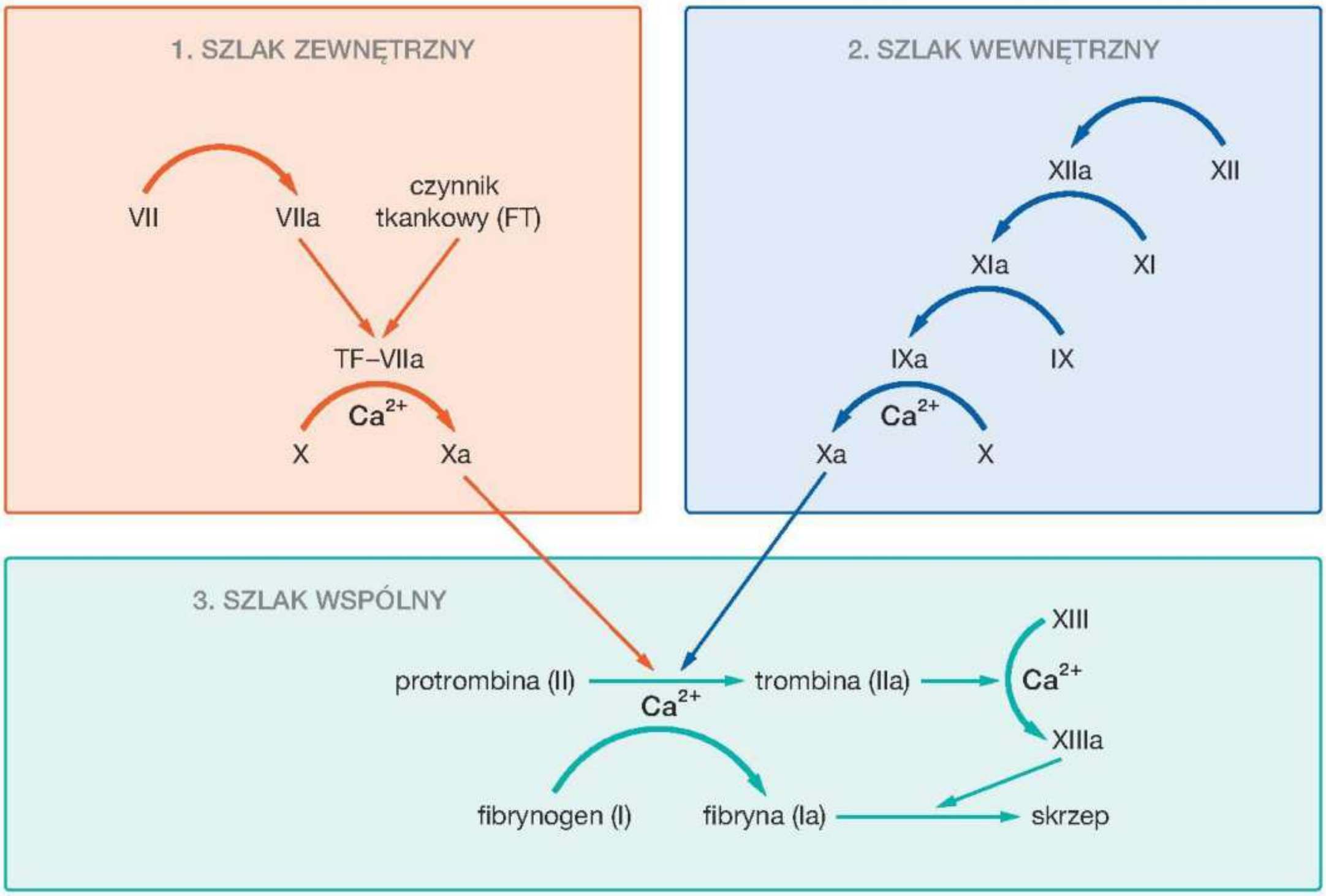
Dowiedz się więcej

Mechanizm krzepnięcia krwi

W krzepnięciu krwi współdziała 12 osoczowych czynników krzepnięcia (oznaczanych cyframi I–V i VII–XIII), spośród których większość stanowią białka. Czynniki krzepnięcia znajdują się w osoczu w formie nieaktywnej, a ich aktywacja zachodzi kaskadowo – aktywowane czynniki krzepnięcia (oznaczane przez dodanie do odpowiedniej cyfry litery a) aktywują kolejne czynniki krzepnięcia. Do wytworzenia skrzepu prowadzą dwa szlaki: zewnętrzny i wewnętrzny.



Model białka trombiny – jednego z osoczowych czynników krzepnięcia.



1. Szlak zewnętrzny jest uruchamiany uszkodzeniem naczynia i krwinek przez czynniki pochodzące z zewnątrz organizmu (np. przez przecięcie naczynia). Uraz powoduje uwolnienie z uszkodzonych tkanek czynnika tkankowego (FT) oraz aktywację czynnika VII. W rezultacie powstaje aktywny czynnik X.
2. Szlak wewnętrzny jest uruchamiany uszkodzeniem naczynia i krwinek przez czynniki pochodzące z wewnątrz organizmu (np. przez zmiany miażdżycowe). Uraz powoduje aktywację szeregu osoczowych czynników krzepnięcia krwi i wytworzenie aktywnego czynnika X.
3. Aktywny czynnik X wytworzony w szlaku zewnętrznym lub szlaku wewnętrznym aktywuje protrombinę. Powstaje wówczas trombina, która aktywuje fibrynogen. Wytworzona fibryna tworzy sieć, która zatrzymuje elementy komórkowe krwi – powstaje skrzep.

Grupy krwi

Na powierzchni komórek człowieka znajdują się **antygeny powierzchniowe**, czyli substancje o różnej budowie, uczestniczące w procesach odpornościowych. Ich funkcją jest „znakowanie" komórek w taki sposób, by nie zostały one uznane przez własny układ odpornościowy za komórki obce, przeznaczone do likwidacji. Antygeny powierzchniowe krwinek czerwonych warunkują **układy grupowe krwi**. Obecnie znanych jest ok. 30 takich układów, m.in. układy Rh oraz AB0.

W skład **układu grupowego Rh** wchodzi kilkadziesiąt antygenów o budowie białkowej. Najważniejszy z nich to antygen D, którego obecność w błonach erytrocytów warunkuje grupę krwi Rh+. Brak tego antygenu determinuje z kolei grupę krwi Rh–, którą ma zaledwie 15% ludzi.

W skład **układu grupowego AB0** (ABH) wchodzą glikoproteiny i glikolipidy błonowe. Ich funkcjonalną częścią są łańcuchy cukrowe o różnej budowie. W zależności od struktury łańcucha cukrowego wyróżnia się trzy antygeny – A, B oraz H. Grupa krwi zależy od obecności na powierzchni erytrocytów odpowiedniego układu tych antygenów:

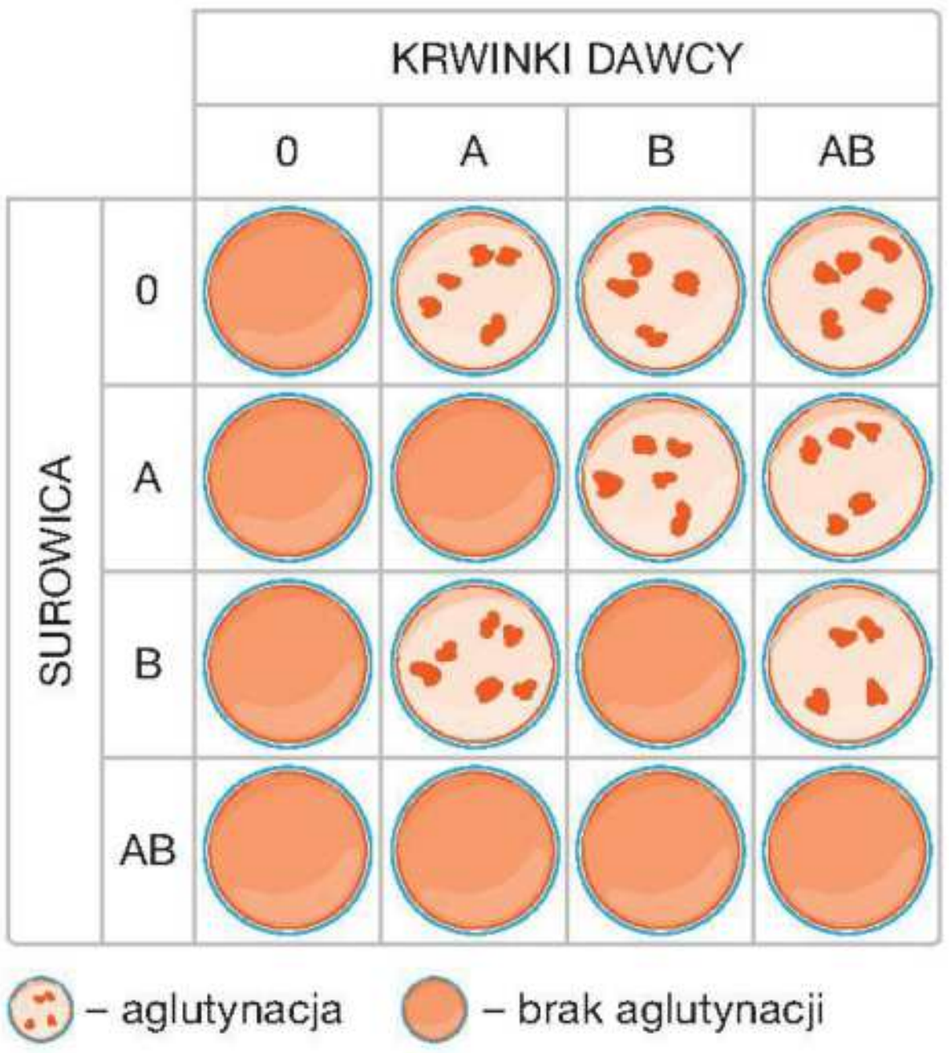
- grupa A – na powierzchni erytrocytów znajdują się tylko antygeny A lub antygeny A i H,
- grupa B – na powierzchni erytrocytów znajdują się tylko antygeny B lub antygeny B i H,
- grupa AB – na powierzchni erytrocytów znajdują się antygeny A i B,
- grupa 0 – na powierzchni erytrocytów znajdują się tylko antygeny H.

W osoczu krwi występują przeciwciała (izoaglutyniny) skierowane przeciw określonym antygenom:

- osoby z grupą krwi A mają w osoczu przeciwciała skierowane przeciw antygenom B (anty-B),
- osoby z grupą krwi B mają w osoczu przeciwciała skierowane przeciw antygenom A (anty-A),
- osoby z grupą krwi 0 mają w osoczu oba typy przeciwciał – anty-B i anty-A,
- osoby z grupą krwi AB nie mają w osoczu przeciwciał anty-B i anty-A.

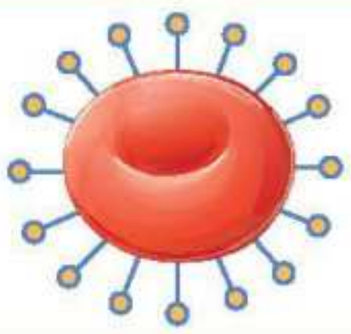
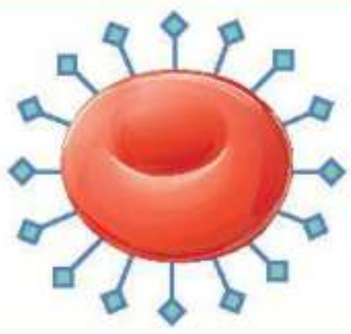
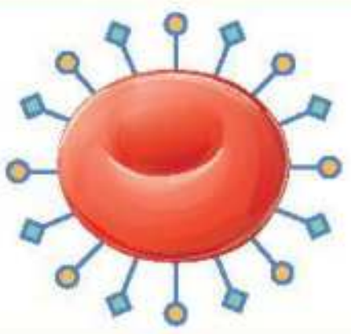
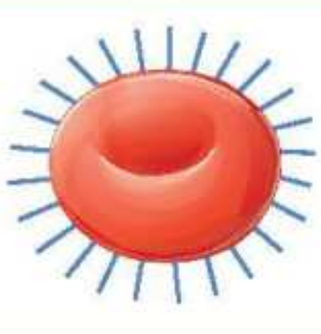
Kontakt krwinek zawierających określony antygen (np. A) i odpowiednich przeciwciał (w tym przypadku anty-A) powoduje **aglutynację** (zlepianie się) erytrocytów, a w konsekwencji prowadzi do ciężkich zaburzeń i zagrożenia życia. Oznacza to, że we krwi jednego człowieka nie mogą znajdować się jednocześnie antygen i skierowane przeciwko niemu przeciwciało. Gdy do tego dojdzie, powstaje **konflikt serologiczny**. Dlatego przed każdą transfuzją krwi ustala się – przez badanie odpowiednich antygenów i przeciwciał – grupy krwi dawcy i biorcy w układzie AB0 i Rh oraz wykonuje się próbę krzyżową.

Próba krzyżowa, czyli próba zgodności serologicznej biorcy i dawcy krwi, jest badaniem, które pomaga ustalić, czy nie ma przeciwwskazań do przetaczania krwi między dawcą a biorcą. Polega ona na zmieszaniu krwinek dawcy z surowicą biorcy. Zlepianie się czerwonych krwinek w duże kompleksy (aglutynacja) oznacza, że krew nie może zostać przetoczona. Najbezpieczniejsze jest przetaczanie tej samej grupy krwi i dlatego w praktyce klinicznej tę metodę stosuje się najczęściej.



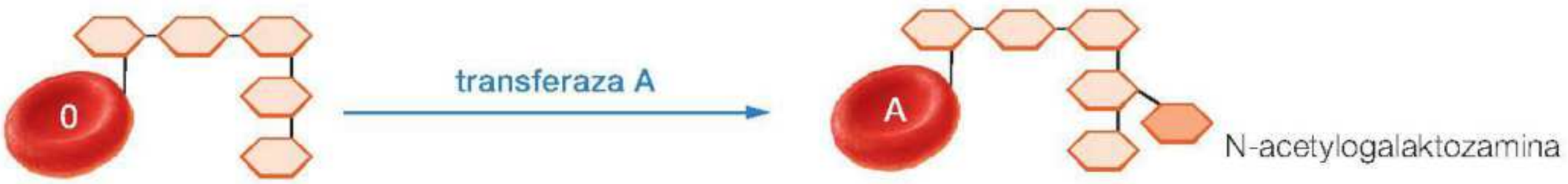
Test aglutynacji jest stosowany w oznaczaniu grup krwi.

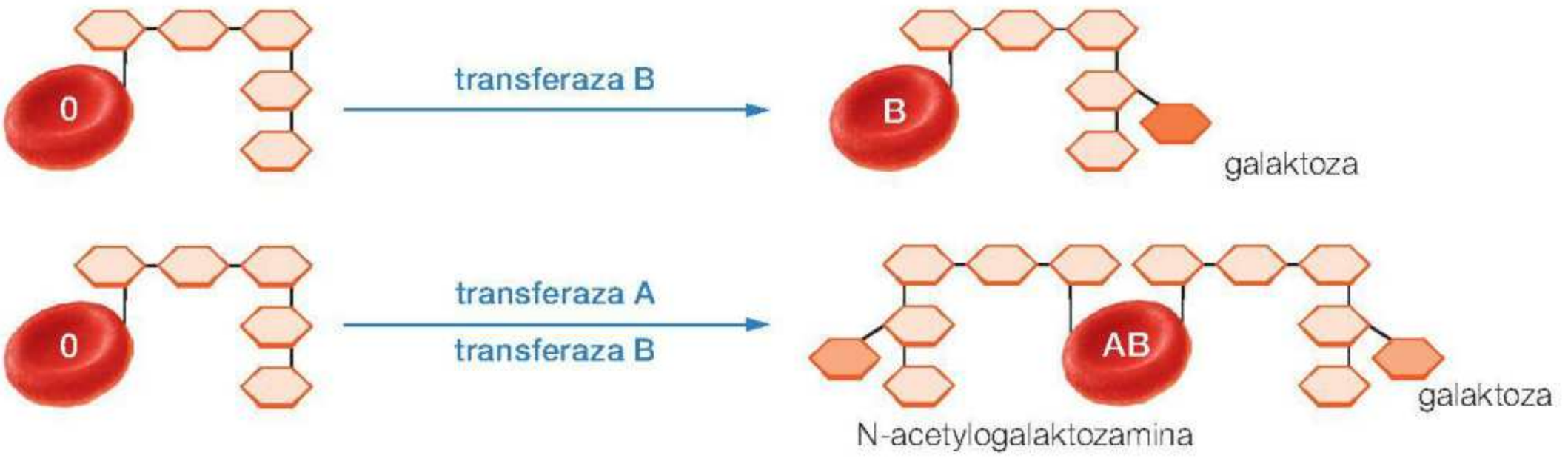
Przeciwciała i antygeny w grupach krwi A, B, AB, 0

	Grupa krwi			
	A	B	AB	0
Erytrocyt				
Antygen na powierzchni erytrocytu	 antygen A	 antygen B	 antygen A antygen B	antygen H
Przeciwciała w osoczu	 anty-B	 anty-A	brak	 anty-B anty-A
Grupy krwi możliwych dawców	A, 0	B, 0	A, B, AB, 0	0
Grupy krwi możliwych biorców	A, AB	B, AB	AB	A, B, AB, 0

Antygen H

Antygen H jest cząsteczką prekursorową do syntezy antygenów A i B. W syntezie tej uczestniczą dwa enzymy zaliczane do klasy transferaz. Jeden z nich – transferaza A – przenosi na antygen H cząsteczkę N-acetylogalaktozaminy (aminowej pochodnej galaktozy). Z kolei drugi – transeraza B – przenosi na antygen H cząsteczkę galaktozy. Osoby z grupą krwi A wytwarzają tylko transferazę A, osoby z grupą B – tylko transferazę B, natomiast osoby z grupą krwi AB – oba rodzaje transferaz.



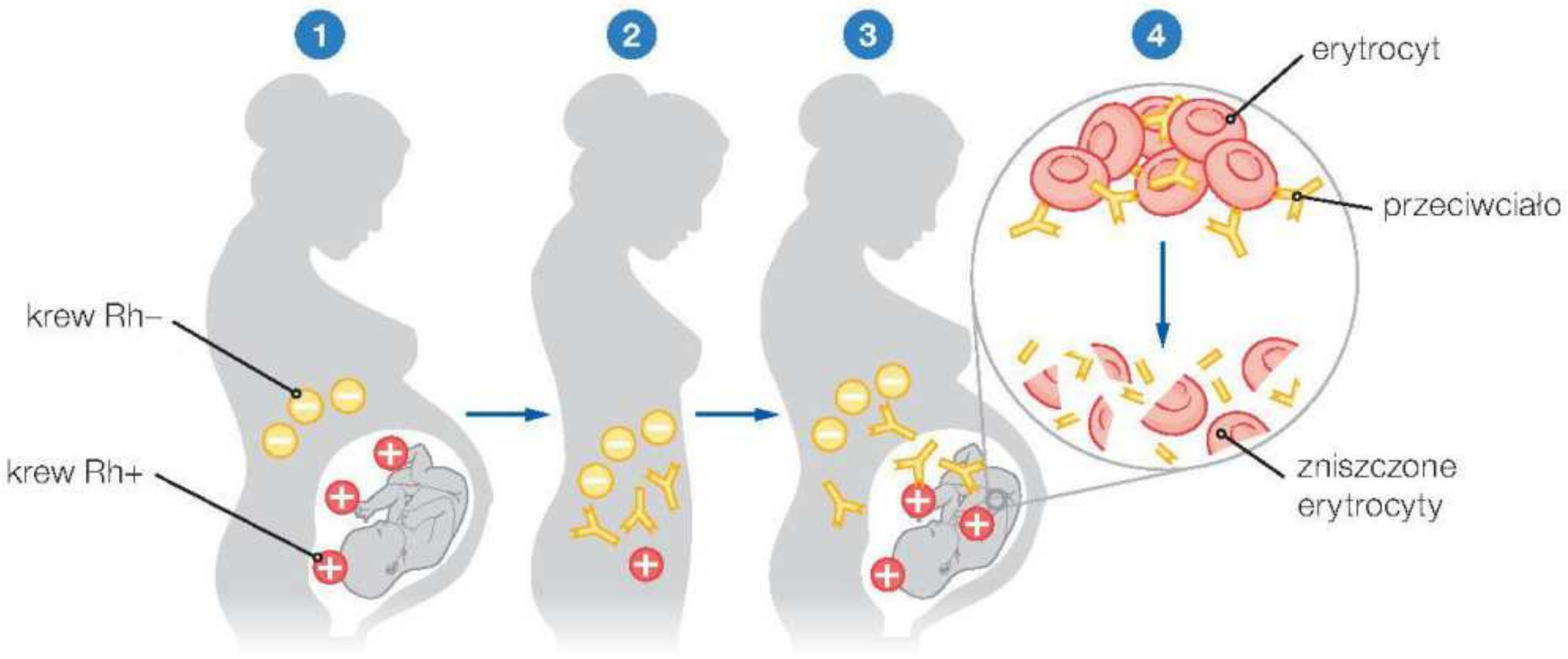


Konflikt serologiczny w zakresie Rh

Konfliktem serologicznym nazywa się m.in. sytuację, w której przeciwciała matki atakują krwinki płodu. Konflikt serologiczny w zakresie Rh może wystąpić w przypadku, gdy matka ma grupę krwi Rh–, a dziecko odziedziczyło po ojcu grupę krwi Rh+. Jeżeli podczas nieprawidłowo przebiegającej ciąży lub w trakcie porodu dojdzie do kontaktu krwi matki z krwią dziecka, to organizm matki wytwarza przeciwciała anty-RhD. Odpowiedź immunologiczna na antygen D rozwija się bardzo powoli, dlatego podczas pierwszej ciąży zwykle nie występuje konflikt serologiczny. Natomiast podczas kolejnej ciąży wytworzone wcześniej przeciwciała mogą przechodzić przez łożysko do krwi płodu, co spowoduje aglutynację erytrocytów płodu. W ten sposób rozwija się choroba hemolityczna płodu i noworodka. W ramach profilaktyki kobiety w ciąży powinny przeprowadzić badanie grupy krwi oraz badanie na obecność przeciwciał anty-RhD. Aby zapobiec skutkom konfliktu serologicznego, kobietom o krwi Rh– między 28 a 30 tygodniem ciąży, a także 72 godz. przed porodem podaje się przeciwciała anty-RhD. Ma to zapobiec wytworzeniu przez kobietę własnych przeciwciał.

Konflikt serologiczny w zakresie Rh

Konflikt serologiczny w zakresie Rh występuje po niewłaściwie wykonanej transfuzji, np. gdy osoba z grupą krwi Rh– otrzyma krew z czynnikiem Rh+ lub gdy w organizmie kobiety ciężarnej z grupą krwi Rh– rozwija się dziecko, które ma grupę krwi Rh+.



1. Do wytworzenia przeciwciał anty-Rh dochodzi najczęściej w czasie porodu.
2. Między pierwszą a drugą ciążą liczba przeciwciał we krwi matki wzrasta.
3. W czasie kolejnej ciąży przeciwciała anty-RhD przedostają się do krwi dziecka.
4. Następuje aglutynacja i zniszczenie krwinek dziecka.

Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij fizjologiczną rolę krwi.
2. Omów skład krwi oraz rolę poszczególnych elementów morfotycznych krwi.
3. Określ związek budowy erytrocytów z ich funkcją.
4. Wyjaśnij, na jakiej podstawie określa się grupę krwi człowieka.
5. Wymień grupy krwi, które można przetoczyć biorcom o grupach krwi A oraz B.
6. Wyjaśnij, w jaki sposób dochodzi do konfliktu serologicznego w zakresie Rh.

6.3. Budowa i funkcje układu krwionośnego

Zwróć uwagę na:
- funkcje układu krwionośnego,
- budowę i funkcje elementów tworzących układ krwionośny.

Układ krążenia umożliwia transport substancji między różnymi tkankami, narządami i układami narządów. Zaopatruje je w tlen i składniki odżywcze oraz odprowadza zbędne lub szkodliwe produkty przemiany materii. U człowieka na układ krążenia składają się **układ krwionośny** oraz **układ limfatyczny**. Do układu krwionośnego należą:

- czterojamowe serce, zbudowane z dwóch przedsionków i dwóch komór; jego rytmiczna praca warunkuje ciągły przepływ krwi,
- zamknięty system naczyń krwionośnych, w których krąży krew.

Naczynia krwionośne – w zależności od pełnionej funkcji – dzieli się na:

- **tętnice** – transportują krew z serca do tkanek; w obiegu ustrojowym płynie nimi krew utlenowana,
- **żyły** – transportują krew z tkanek do serca; w obiegu ustrojowym płynie nimi krew odtlenowana,
- **naczynia włosowate** – umożliwiają wymianę substancji między krwią a tkankami.

Funkcje układu krwionośnego

Do najważniejszych zadań układu krwionośnego należą:

- dostarczanie tlenu z płuc i substancji pokarmowych z układu pokarmowego do wszystkich komórek ciała,
- transportowanie produktów metabolizmu (np. dwutlenku węgla i mocznika) z komórek do odpowiednich narządów wydalniczych,
- rozprowadzanie hormonów z gruczołów dokrewnych do komórek docelowych,
- stabilizacja parametrów fizjologicznych, np. pH i temperatury,
- zwalczanie infekcji – obrona organizmu przed drobnoustrojami chorobotwórczymi.

Serce

Praca serca umożliwia nieustanne krążenie krwi po całym organizmie. Skurcze serca tłoczą krew z komór do dużych naczyń tętniczych, skąd systemem coraz drobniejszych tętnic dociera ona do naczyń włosowatych zlokalizowanych w tkankach i narządach całego ciała. Stamtąd jest zbierana przez drobne naczynia żylne, którymi dostaje się do coraz większych żył, by ostatecznie powrócić do przedsionków serca, a z nich do komór.

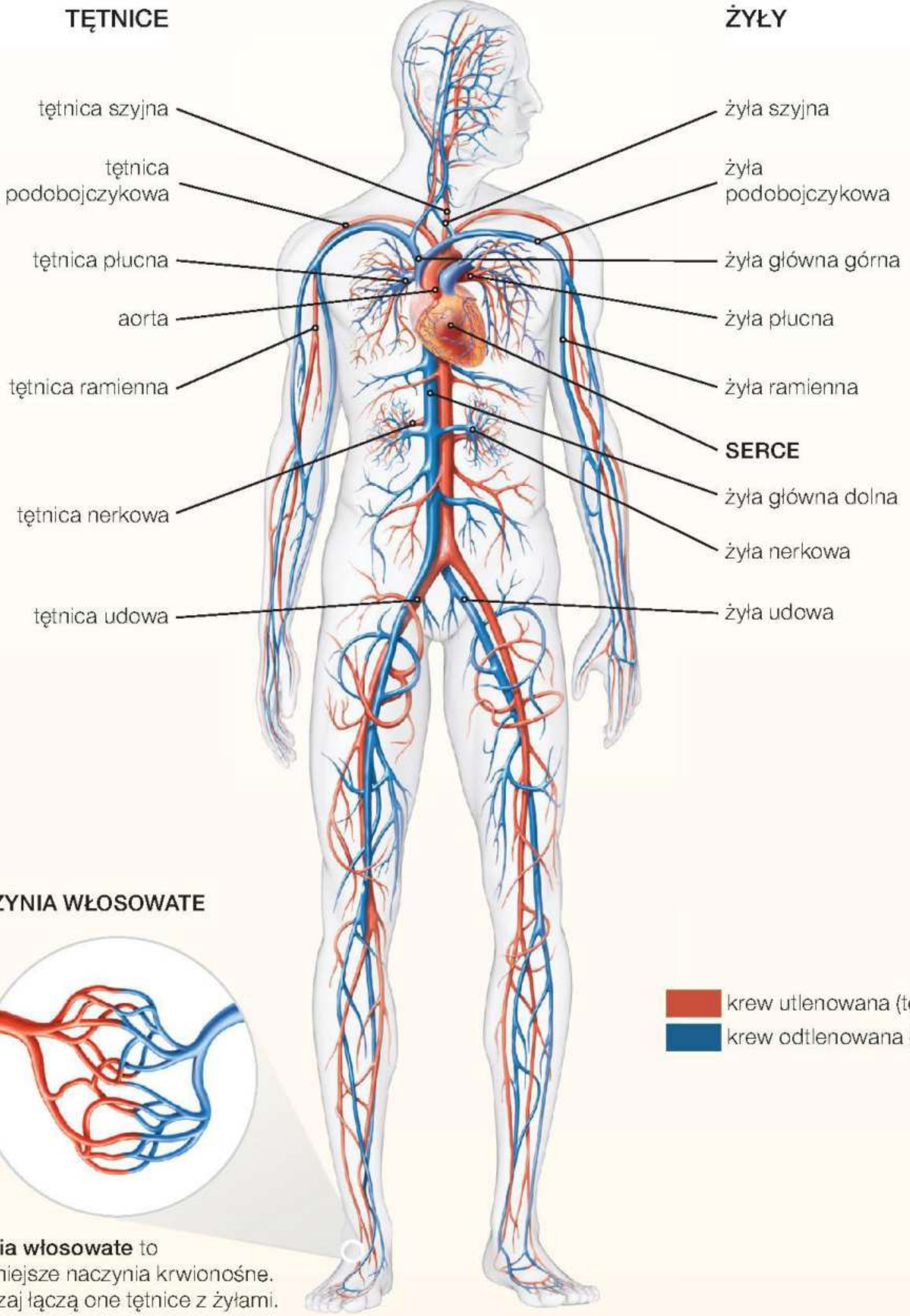
Serce dorosłego człowieka to stożkowaty narząd o wielkości zbliżonej do pięści i masie ok. 0,5 kg, położony w śródpiersiu za mostkiem. Właściwe rozmiary w stosunku do rozmiarów ciała osiąga ono między 18. a 20. rokiem życia.

Ściana serca jest zbudowana z trzech warstw. Zewnętrzną warstwę tworzy łącznotkankowa błona – **nasierdzie** – pod którą znajduje się warstwa mięśni poprzecznie prążkowanych serca. Przedsionki i komory serca wyścieła **wsierdzie**, czyli łącznotkankowa błona pokryta śródbłonkiem. Ściana komory lewej jest trzy razy grubsza (ma ok. 15 mm) od ściany komory prawej (ma ok. 5 mm). Między przedsionkami a komorami oraz na pograniczu komór i wychodzących z nich tętnic znajdują się **zastawki**, czyli błoniaste fałdy zbudowane z tkanki łącznej włóknistej. Mogą się one otwierać i zamykać, dzięki czemu warunkują jednokierunkowy przepływ krwi: z przedsionków przez komory do tętnic.

Serce jest zamknięte w **worku osierdziowym** (osierdziu), który składa się z dwóch warstw tkanki łącznej, tzw. blaszek: blaszki wewnętrznej (trzewnej) i blaszki zewnętrznej (ściennej). Między nimi znajduje się **jama osierdzia** wypełniona płynem surowiczym, który zmniejsza tarcie obu warstw podczas pracy serca.

Budowa układu krwionośnego

Układ krwionośny składa się z serca, zamkniętej sieci naczyń krwionośnych oraz krwi. Serce pompuje krew, która z jednej strony zaopatruje tkanki ciała w różne substancje, a z drugiej – odbiera z tkanek zbędne lub szkodliwe produkty przemiany materii.



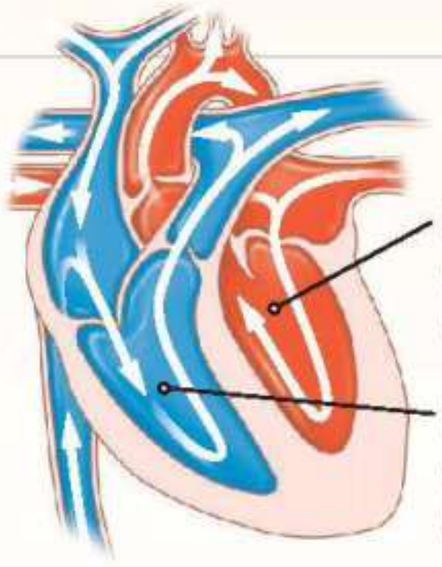
NACZYNIA WŁOSOWATE

Naczynia włosowate to najdrobniejsze naczynia krwionośne. Zazwyczaj łączą one tętnice z żyłami.

krew utlenowana (tętnicza)
krew odtlenowana (żylna)

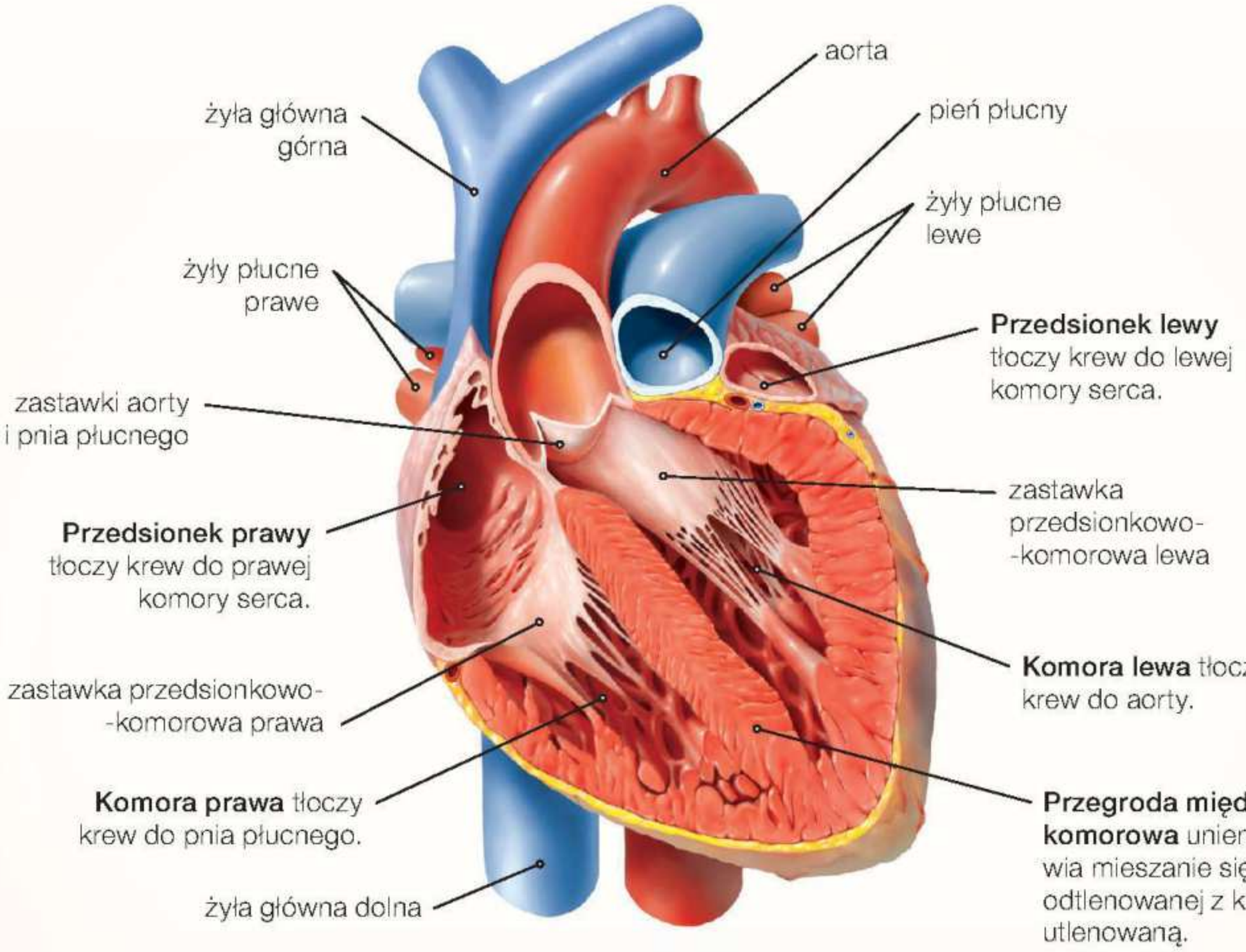
Budowa serca

Serce jest zlokalizowane w klatce piersiowej, pomiędzy płucami. Jest ono zbudowane z dwóch przedsionków i dwóch komór. Ściany serca tworzy głównie tkanka mięśniowa poprzecznie prążkowana serca, a jego wnętrze wyścieła łącznotkankowa błona zwana wsierdziem. Z zewnątrz serce jest pokryte łącznotkankowym workiem – osierdziem.



Lewa strona serca zawiera krew **utlenowaną**.

Prawa strona serca zawiera krew **odtlenowaną**.

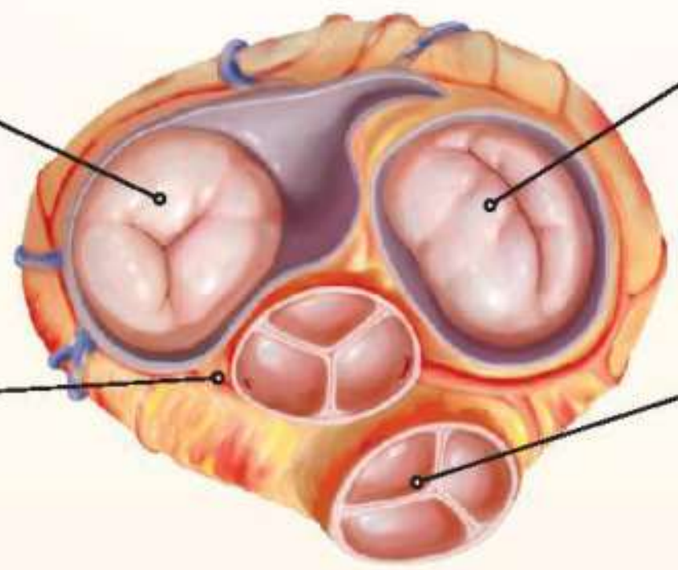


Zastawki

Między przedsionkami a komorami serca oraz na pograniczu komór i wychodzących z nich tętnic znajdują się zastawki. W rytmicznie kurczącym się sercu zastawki warunkują jednokierunkowy przepływ krwi: z przedsionków do komór, a następnie do tętnic.

Zastawka trójdzielna (przedsionkowo-komorowa prawa) składa się z trzech płatków. Blokuje powrót krwi z prawej komory do prawego przedsionka.

Zastawka aorty (półksiężycowata) składa się z trzech płatków. Uniemożliwia powrót krwi do lewej komory.



Zastawka dwudzielna (przedsionkowo-komorowa lewa, mitralna) składa się z dwóch płatków. Zapobiega cofaniu się krwi z lewej komory do lewego przedsionka.

Zastawka pnia płucnego (półksiężycowata) składa się z trzech płatków. Zapobiega cofaniu się krwi z pnia płucnego do prawej komory.

Rodzaje naczyń krwionośnych

Wyróżnia się trzy rodzaje naczyń krwionośnych: tętnice, żyły i naczynia włosowate. Tętnice i żyły mają ściany zbudowane z trzech warstw. Zewnętrzną warstwę tworzy **tkanka łączna**, pod którą znajduje się warstwa **mięśni gładkich** – ich skurcze powodują zmianę średnicy naczyń, co pozwala regulować przepływ krwi[1]. Z kolei wewnętrzną warstwę tworzy nabłonek jednowarstwowy płaski, zwany **śródbłonkiem**. Ściany nitkowatych, rozgałęzionych naczyń włosowatych są zbudowane tylko ze śródbłonka.

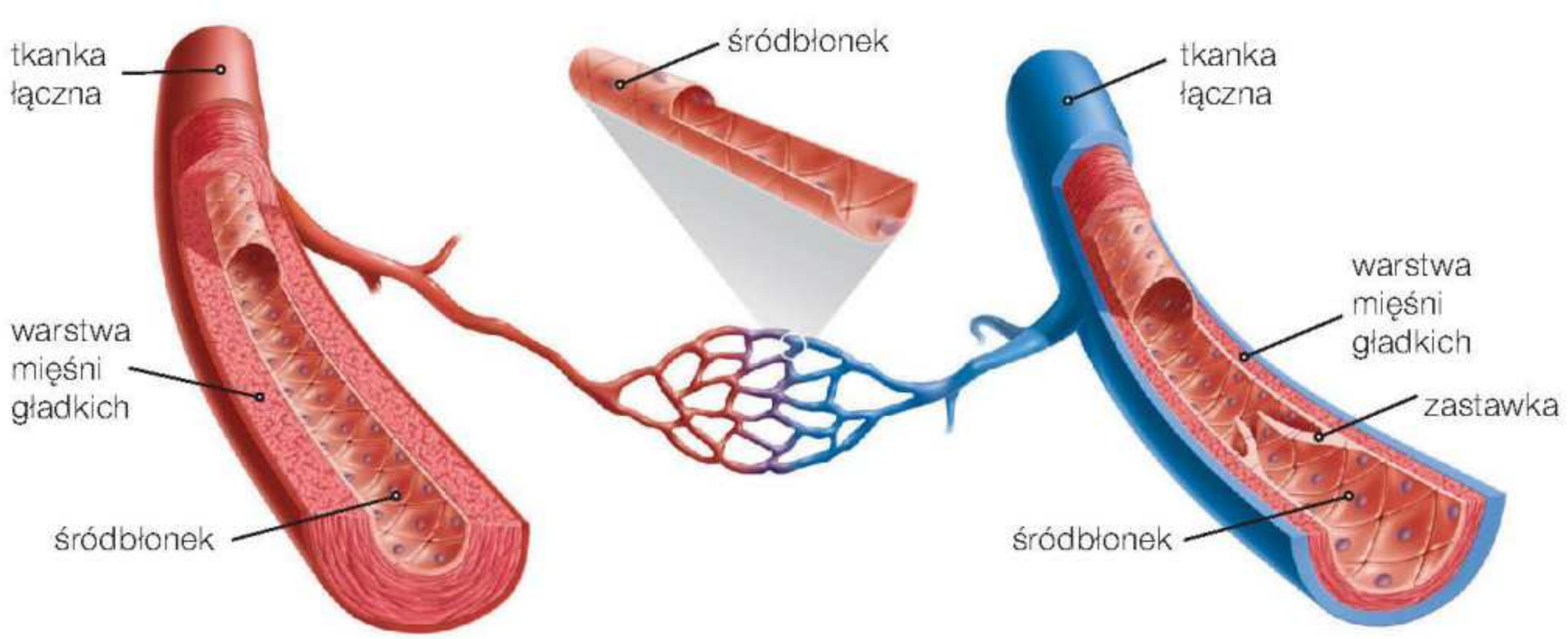
Tętnice rozprowadzają krew z serca do wszystkich tkanek ciała. Ściany tętnic są mocne i elastyczne, ponieważ płynie przez nie krew pod wysokim ciśnieniem[2].

Żyły transportują krew z tkanek ciała do serca. Ich ściany są cienkie i wiotkie, ponieważ płynie przez nie krew pod niskim ciśnieniem. W dużych i średnich żyłach występują łącznotkankowe zastawki, które uniemożliwiają cofanie się krwi.

Naczynia włosowate tworzą w organizmie gęste sieci. Ich łączną długość szacuje się na 100 tys. km. Jednowarstwowa budowa naczyń włosowatych stanowi przystosowanie do sprawnej wymiany składników między krwią a tkankami. W wymianie tej pośredniczy płyn tkankowy otaczający komórki. Naczynia włosowate docierają do większości komórek na odległość ok. 0,05 mm. Najsilniej rozwiniętą sieć naczyń włosowatych mają narządy o dużej aktywności metabolicznej, np. wątroba czy nerki.

Budowa naczyń krwionośnych

Poszczególne rodzaje naczyń krwionośnych różnią się budową oraz pełnionymi funkcjami.



Tętnice transportują krew z serca do tkanek. Ciśnienie krwi płynącej w tętnicach jest wysokie, dlatego mają one elastyczne ściany i grubą warstwę mięśni gładkich, dzięki którym mogą regulować swoją średnicę. Przekrój tych naczyń jest okrągły.

Naczynia włosowate (kapilarne) występują w tkankach i zapewniają wymianę substancji między krwią a tkankami. Są zbudowane wyłącznie z cienkiej warstwy nabłonka, co ułatwia wymianę substancji. Ich średnica jest bardzo mała.

Żyły transportują krew powracającą z tkanek do serca. Ma ona niskie ciśnienie, dlatego ściany żył są wiotkie i zawierają cienką warstwę mięśni. Wewnątrz żył znajdują się zastawki, które uniemożliwiają cofanie się krwi. Przekrój tych naczyń jest owalny.

[1] **Przepływ krwi** – objętość krwi przepływającej przez naczynie w danej jednostce czasu.

[2] **Ciśnienie krwi** – ciśnienie hydrostatyczne wywierane przez krew na ściany serca oraz naczyń krwionośnych. Wyraża się je zwykle w mm Hg (1 mm Hg = 133,322 Pa).

Sieci naczyń włosowatych

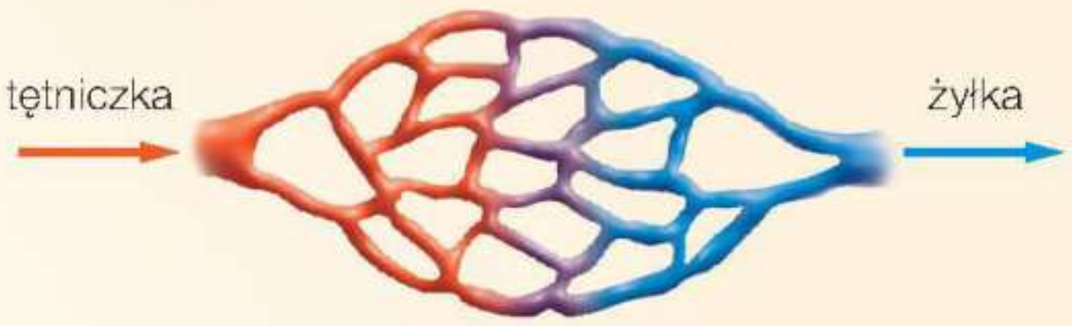
Naczynia włosowate – w zależności od sposobu połączenia z innymi rodzajami naczyń krwionośnych – mogą tworzyć kilka rodzajów sieci.



Naczynie włosowate
z erytrocytem wewnątrz (obraz spod SEM).

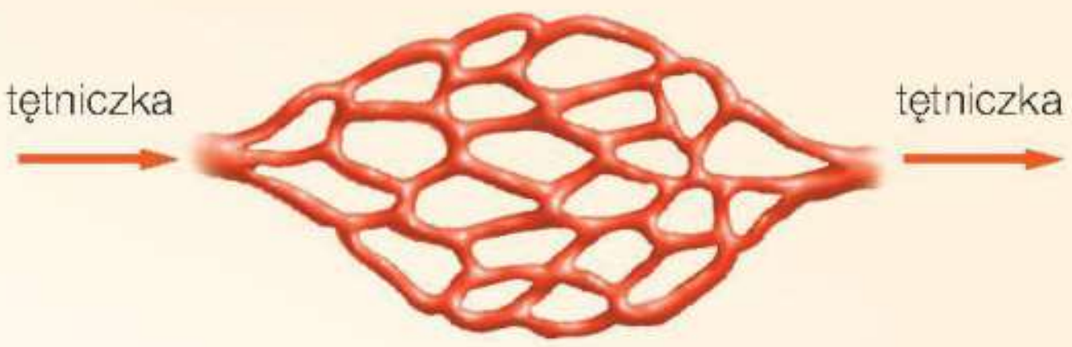
Typowa sieć naczyń włosowatych

Jest to najczęstszy rodzaj połączenia. Naczynia włosowate tej sieci występują między tętniczkami a żyłkami.



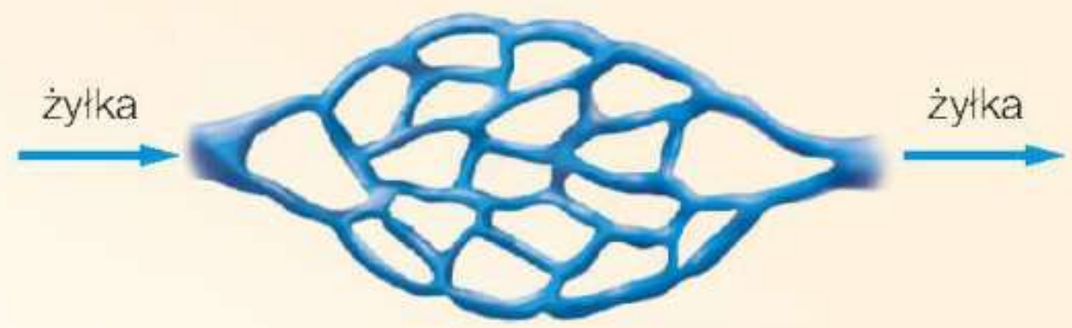
Sieć dziwna tętniczo-tętnicza

Występuje w niektórych narządach, np. w nerkach. Naczyniami doprowadzającymi i odprowadzającymi tej sieci są tętniczki.



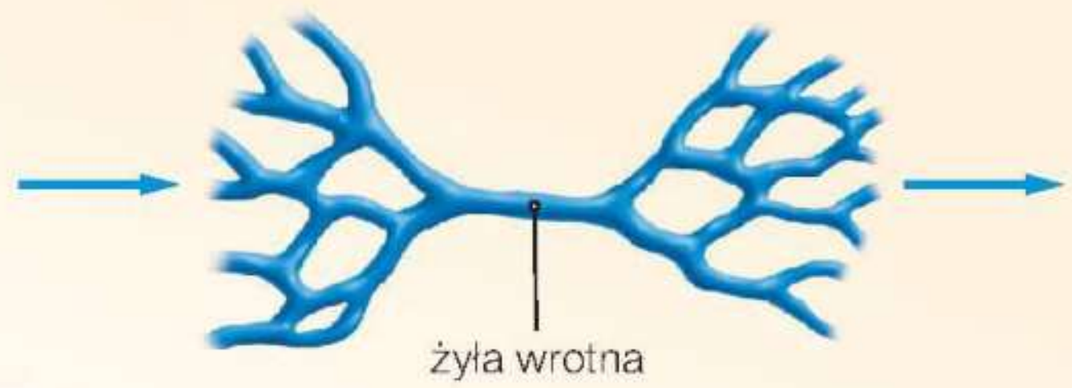
Sieć dziwna żylno-żylna

Występuje w niektórych narządach, np. w wątrobie. Naczyniami doprowadzającymi i odprowadzającymi tej sieci są żyłki.



Układ wrotny

Tworzą go sieci naczyń włosowatych połączonych większym naczyniem. Przykładem jest żyła wrotna, łącząca naczynia włosowate jelit i wątroby.

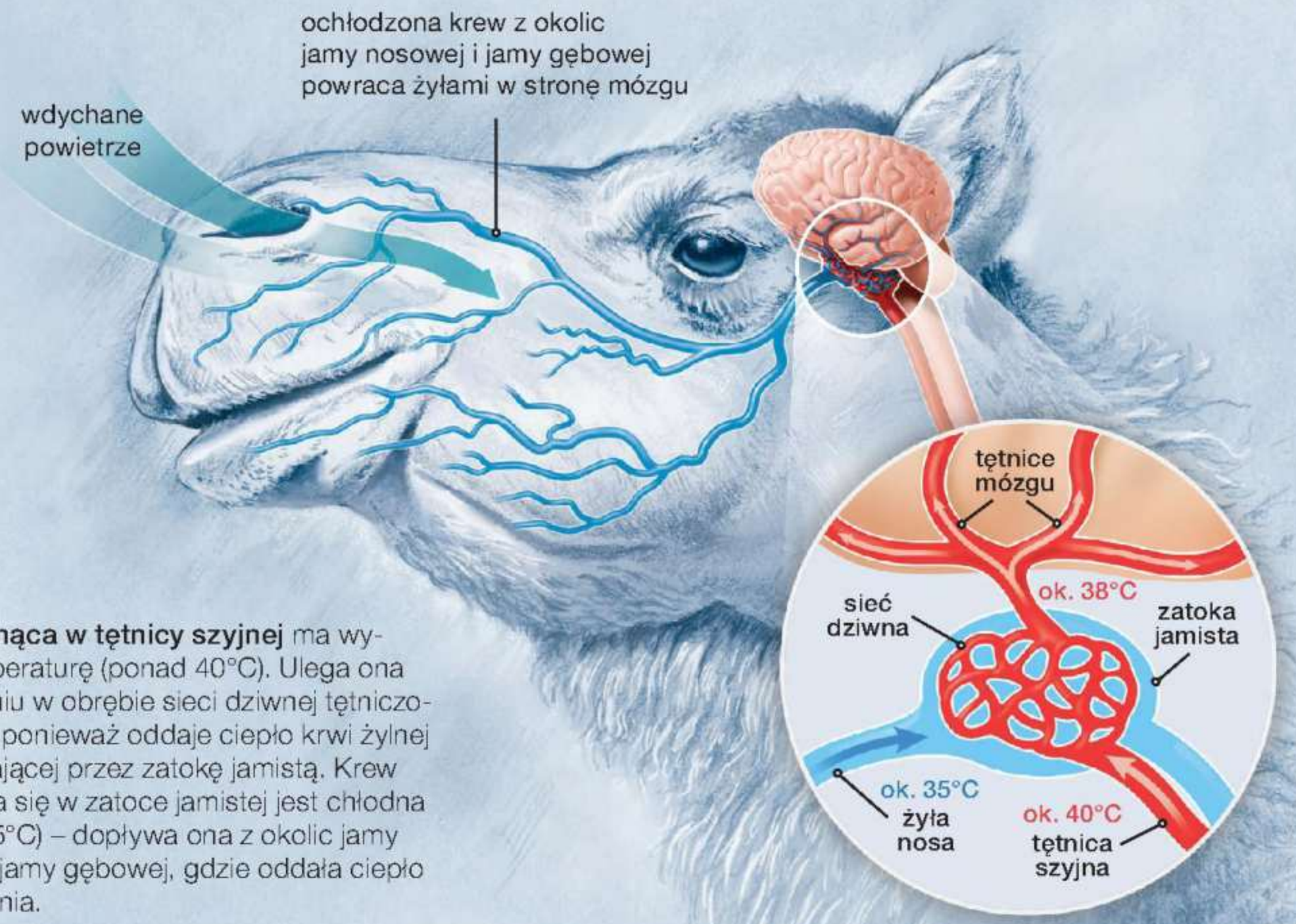


Sieć dziwna jako układ chłodniczy

U niektórych gatunków zwierząt sieć dziwna funkcjonuje jako element mechanizmu termoregulacyjnego. U wielu parzystokopytnych, np. wielbłądów czy antylop, sieć dziwna tętniczo-tętnicza znajduje się wewnątrz czaszki, u podstawy mózgu. Powstaje ona w wyniku rozgałęzienia tętnicy szyjnej doprowadzającej utlenowaną krew do mózgu. Naczynia sieci dziwnej są otoczone zatoką jamistą. Do zatoki spływa krew odtlenowana, powracająca żyłami z okolic jamy nosowej i jamy gębowej.



U antylop afrykańskich podczas intensywnego biegu znacznie podnosi się temperatura ciała. Mimo to krew dopływająca do mózgu ma stałą temperaturę – ok. 38°C.



Krew płynąca w tętnicy szyjnej ma wysoką temperaturę (ponad 40°C). Ulega ona ochłodzeniu w obrębie sieci dziwnej tętniczo-tętniczej, ponieważ oddaje ciepło krwi żylnej przepływającej przez zatokę jamistą. Krew znajdująca się w zatoce jamistej jest chłodna (ma ok. 35°C) – dopływa ona z okolic jamy nosowej i jamy gębowej, gdzie oddała ciepło do otoczenia.

Polecenia kontrolne

1. Określ rolę serca w funkcjonowaniu układu krwionośnego.
2. Porównaj tętnice z żyłami. Wyjaśnij, z czego wynikają różnice w ich budowie.
3. Omów funkcje żył, tętnic i naczyń włosowatych.
4. Określ związek budowy naczyń włosowatych z pełnioną przez nie funkcją.
5. Scharakteryzuj typy sieci naczyń włosowatych występujących w organizmie człowieka.

6.4. Funkcjonowanie układu krwionośnego

Zwróć uwagę na:
- automatyzm serca,
- cykl pracy serca,
- krążenie krwi w obiegu płucnym i obiegu ustrojowym.

Układ krwionośny składa się z serca, systemu tętnic i żył oraz naczyń włosowatych. Serce, tętnice i żyły pełnią wyłącznie funkcję transportową, natomiast w naczyniach włosowatych odbywa się właściwa wymiana substancji między krwią a pozostałymi tkankami.

Funkcjonowanie serca

Serce pełni funkcję pompy tłocząco-ssącej, która tłoczy krew z komór do tętnic oraz zasysa ją z żył do przedsionków. Dzięki temu umożliwia nieustanne krążenie krwi po całym organizmie. Rytmiczne skurcze serca wtłaczają krew do dużych naczyń tętniczych, skąd systemem coraz drobniejszych tętnic dociera ona do naczyń włosowatych, zlokalizowanych w tkankach i narządach ciała. Stamtąd jest zbierana przez drobne naczynia żylne, którymi dostaje się do coraz większych żył, by ostatecznie powrócić do przedsionków serca, a z nich – ponownie do komór.

Układ bodźcowo-przewodzący serca

Serce wyizolowane z organizmu i przechowywane w odpowiednich warunkach fizjologicznych może wykonywać rytmiczne skurcze jeszcze przez wiele godzin. Ta szczególna właściwość nosi nazwę **automatyzmu serca**. Wynika ona z obecności w mięśniu sercowym ośrodków stymulujących jego pracę, tworzących tzw. układ bodźcowo-przewodzący serca. Ośrodki automatyzmu serca są zbudowane ze specjalnie zmodyfikowanych **włókien mięśniowych, które mają zdolność generowania i przewodzenia impulsów elektrycznych** niezależnie od pobudzenia nerwowego. Nadrzędnym ośrodkiem automatyzmu, umożliwiającym skurcze serca, jest **węzeł zatokowo-przedsionkowy**, umiejscowiony w tylnej ścianie prawego przedsionka. Następnie pobudzenie jest przekazywane do **węzła przedsionkowo-komorowego** znajdującego się w ścianie między prawym przedsionkiem a prawą komorą. Stamtąd impulsy docierają do **pęczka przedsionkowo-komorowego**, który rozdziela się na dwie odnogi biegnące wzdłuż przegrody międzykomorowej do koniuszka serca. W ścianach komór odnogi rozdzielają się na wiele drobnych **włókien Purkiniego**, pobudzających komory do skurczu. W sytuacji nagłego zatrzymania akcji zdrowego serca często udaje się ją wznowić dzięki wykonaniu zewnętrznego masażu mięśnia sercowego. Warunkiem powodzenia jest udzielenie pomocy do pięciu minut od chwili ustania pracy serca, czyli zanim nastąpią nieodwracalne zmiany w mózgu. W przypadku zaburzeń pracy ośrodków automatyzmu lub w sytuacji ich uszkodzenia istnieje możliwość wszczepienia sztucznego rozrusznika serca – elektronicznego urządzenia, które umieszcza się pod skórą klatki piersiowej.

Regulacja pracy serca

Pracę serca regulują nie tylko ośrodki automatyzmu, lecz także **układy nerwowy i hormonalny**. Dzięki temu możliwa jest modyfikacja zarówno częstości uderzeń serca, jak i siły jego skurczu. Zmiany intensywności akcji serca (przyspieszanie lub hamowanie) odbywają się odruchowo, tzn. bez udziału świadomości. Na przyspieszenie pracy serca wpływają m.in. bodźce płynące z mózgowia (np. strach, gniew, radość), wysiłek fizyczny lub wzrost temperatury ciała.

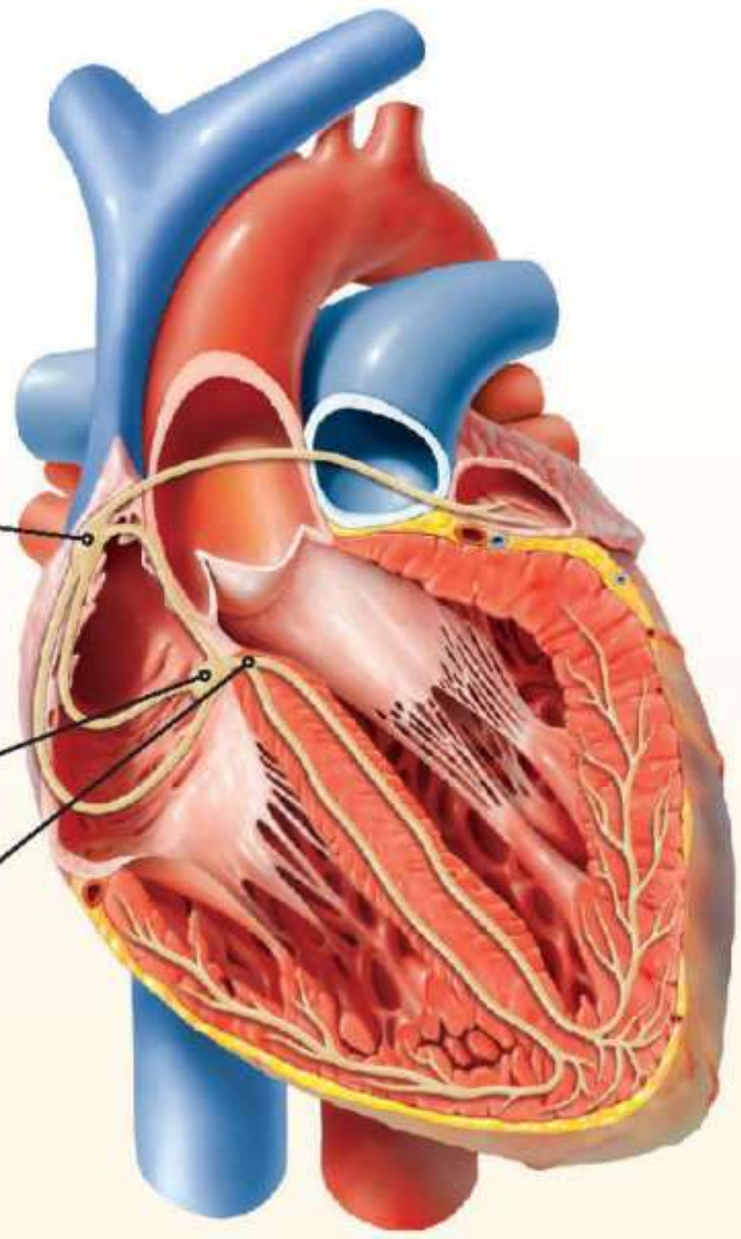
Automatyzm serca

Mechanizm powstawania i przekazywania pobudzenia w komórkach mięśnia sercowego jest podobny do mechanizmu występującego w mięśniach szkieletowych. Różnicę stanowi pochodzenie bodźca inicjującego skurcz. W przypadku serca pochodzi on ze zmodyfikowanych włókien mięśniowych, które są zdolne do generowania impulsów elektrycznych, umożliwiających rytmiczne i niezależne od woli skurcze serca.

1. **Węzeł zatokowo-przedsionkowy** jest nazywany naturalnym rozrusznikiem serca. Inicjuje on pracę serca przez pobudzanie do skurczu komórek mięśniowych przedsionków serca. Następnie pobudzenie jest przekazywane do węzła przedsionkowo-komorowego.

2. **Węzeł przedsionkowo-komorowy** przekazuje pobudzenie do pęczka przedsionkowo-komorowego.

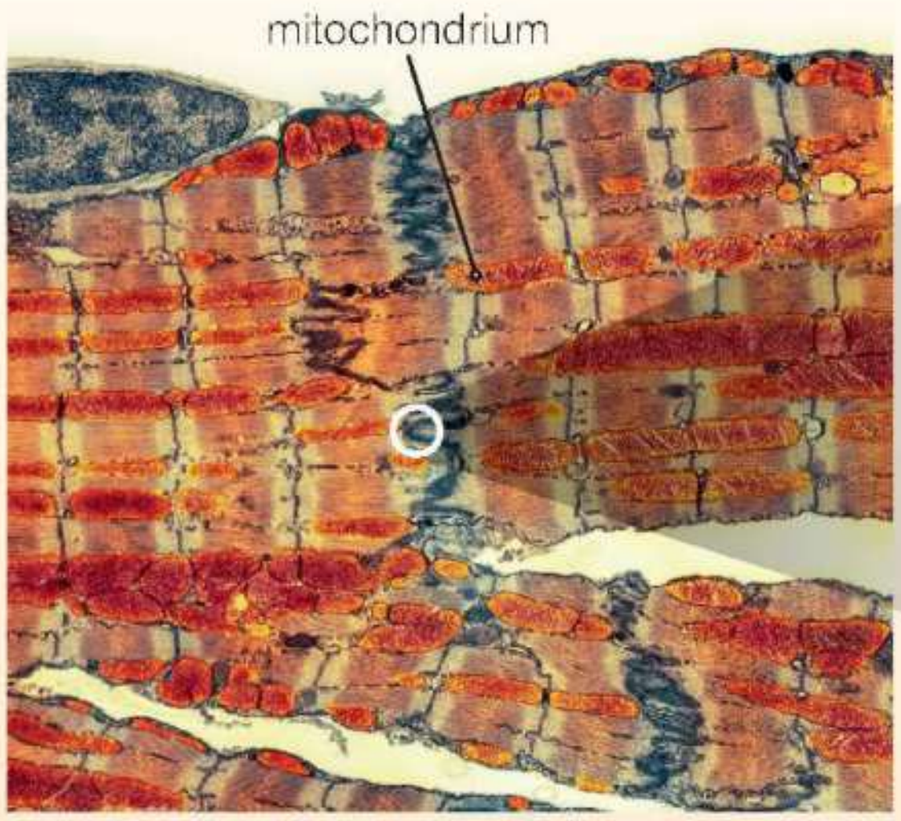
3. **Pęczek przedsionkowo-komorowy** rozdziela się na dwie odnogi, które przenoszą pobudzenie do komór serca i wyzwalają ich skurcz.



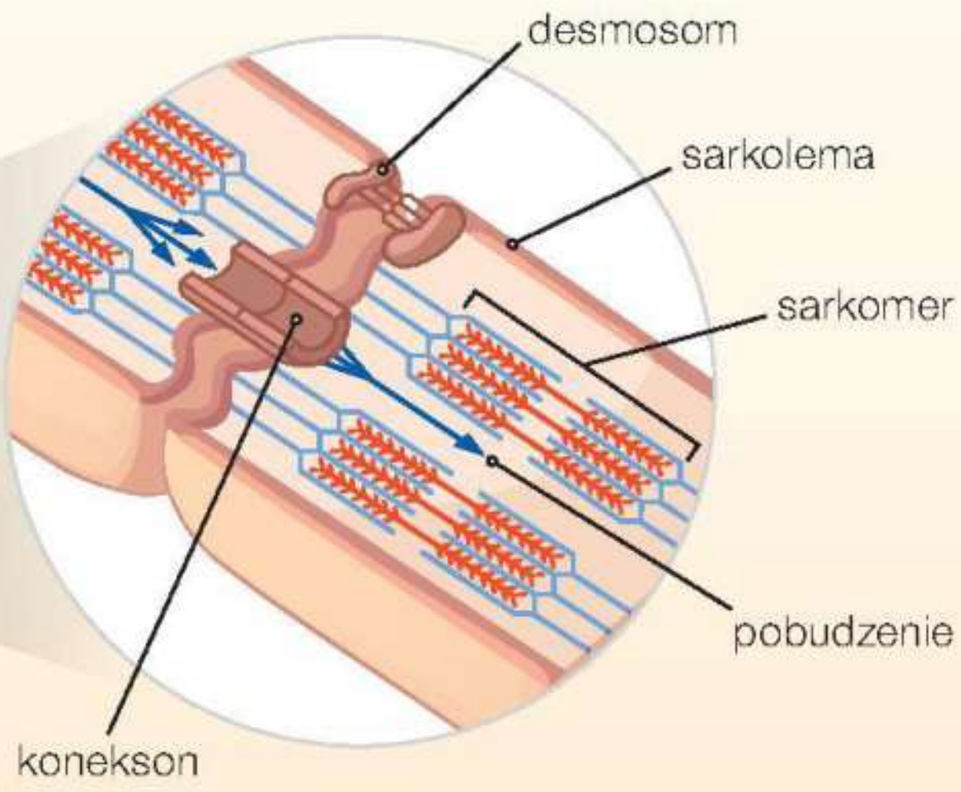
Budowa układu bodźcowo-przewodzącego serca.

Zsynchronizowane działanie mięśnia sercowego

Mięsień sercowy jest zbudowany z tkanki mięśniowej poprzecznie prążkowanej serca. Komórki tej tkanki – kardiomiocyty – mają widlasto rozgałęzione końce i ściśle do siebie przylegają, a miejsca ich styku widoczne są jako tzw. **wstawki**. W obrębie wstawek w błonach komórkowych kardiomiocytów znajdują się liczne **koneksony**, które łączą cytoplazmy sąsiadujących komórek. Koneksony umożliwiają szybki przepływ pobudzenia między kardiomiocytami – w rezultacie pojedynczy bodziec wywołuje skurcz całego mięśnia sercowego.



Tkanka mięśniowa poprzecznie prążkowana serca (obraz spod TEM) zawiera liczne mitochondria, w których zachodzi synteza ATP.

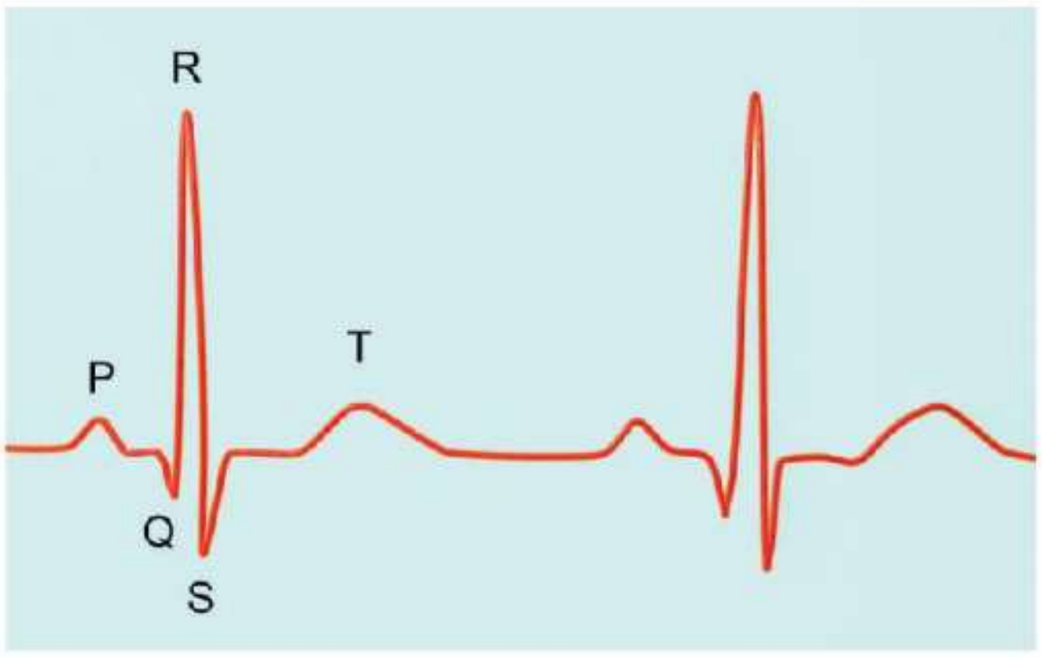


Między kardiomiocytami znajdują się liczne połączenia międzykomórkowe szczelinowe oraz desmosomy.

Zjawiska elektryczne w sercu

Komórki mięśniowe cechują się pobudliwością – pod wpływem bodźca przechodzą ze stanu spoczynku w stan pobudzenia. Oznacza to, że dochodzi w nich do powstawania i przewodzenia impulsu elektrycznego. Podstawą pobudliwości komórki mięśniowej są zjawiska elektrochemiczne zachodzące w błonie komórkowej, związane z transportem jonów.

Impulsy elektryczne powstające w sercu docierają także do powierzchni skóry. Dzięki temu można je rejestrować za pomocą odpowiednio umieszczonych elektrod elektrokardiografu i zapisać w formie wykresu zwanego elektrokardiogramem.



Krzywa elektrokardiograficzna przedstawia rytm zatokowy, czyli prawidłowy fizjologiczny rytm pracy serca.

W prawidłowo pracującym sercu na elektrokardiogramie widocznych jest pięć załamków określanych jako: P, Q, R, S i T.

- **Załamek P** jest wynikiem rozprzestrzeniania się stanu pobudzenia – wygenerowanego przez węzeł zatokowo-przedsionkowy – w komórkach mięśniowych przedsionka. W wyniku tego pobudzenia następuje skurcz przedsionków.
- **Załamki Q, R, S** są wynikiem przejścia stanu pobudzenia z węzła zatokowo-przedsionkowego przez węzeł przedsionkowo-komorowy i pęczek przedsionkowo-komorowy do mięśnia komór. W wyniku tego pobudzenia zachodzi skurcz komór.
- **Załamek T** jest wynikiem postępującego stanu spoczynku w komórkach mięśniowych komór. Dzięki temu następuje rozkurcz komór.

Ogólne zasady krążenia krwi

Ruch krwi w układzie krążenia jest uwarunkowany **gradientem ciśnień**, czyli różnicą między ciśnieniem panującym w tętnicach a ciśnieniem panującym w żyłach.

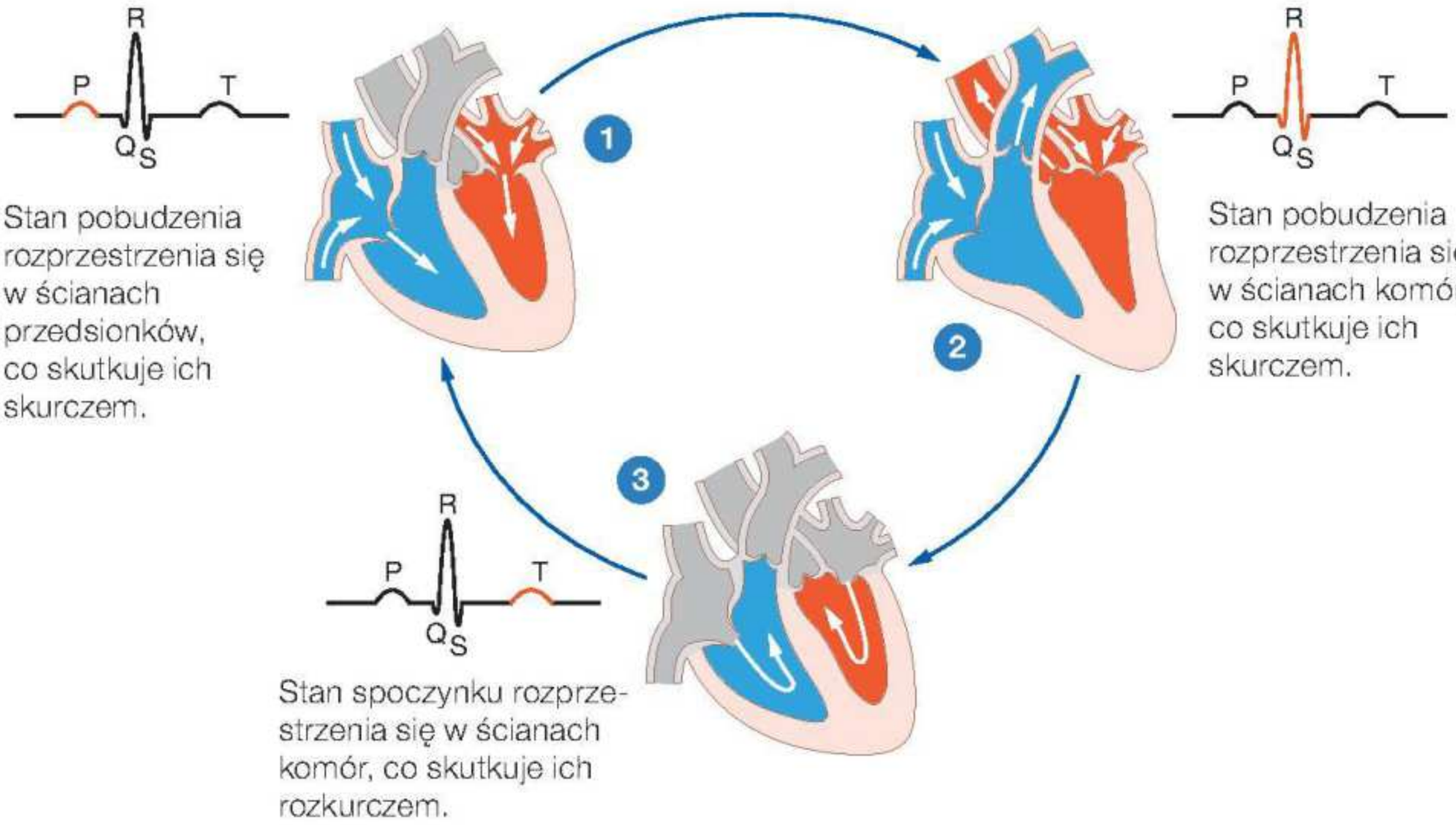
Gradient ciśnień między układem tętniczym a układem żylnym powstaje wtedy, gdy krew z komór serca jest wtłaczana do tętnic – aorty i pnia płucnego. Prędkość przepływu krwi jest wprost proporcjonalna do gradientu ciśnienia i odwrotnie proporcjonalna do oporu naczynia krwionośnego.

Opór naczynia krwionośnego zależy m.in. od:

- **średnicy naczynia**. Prędkość przepływu krwi jest większa w naczyniach o dużej średnicy, np. w aorcie, a mniejsza w naczyniach o małej średnicy, np. w naczyniach włosowatych. Zależność ta wynika przede wszystkim z tarcia krwi o ściany naczyń. W dużych naczyniach krwinki płyną w centralnej części strumienia krwi, natomiast osocze przemieszcza się w pobliżu ścian, co zmniejsza tarcie i ułatwia przepływ krwi. Z kolei w małych naczyniach krwinki płyną tuż przy ścianach, co zwiększa tarcie i utrudnia przepływ krwi. Organizm może regulować wielkość przepływu krwi przez poszczególne narządy, ponieważ ściany naczyń zawierają mięśnie gładkie, które zwężają lub rozszerzają światło naczyń w zależności od aktualnych potrzeb;
- **rozgałęzień naczynia**. Nieliczne rozgałęzienia o małym kącie zwiększają prędkość przepływu krwi, natomiast liczne rozgałęzienia o dużym kącie zmniejszają prędkość przepływu krwi. Duży kąt rozgałęzień występuje w **naczyniach oporowych**, czyli małych tętnicach i tętniczkach sąsiadujących z naczyniami włosowatymi. Dzięki temu krew w naczyniach włosowatych porusza się wolno, co umożliwia wydajną wymianę substancji w tkankach ciała;
- **lepkości krwi**. Lepkość krwi jest uzależniona głównie od hematokrytu. Im wyższa wartość tego wskaźnika, tym większa lepkość krwi. W warunkach prawidłowych hematokryt zmienia się w niewielkim zakresie, dlatego lepkość krwi pozostaje mniej więcej stała.

Cykl pracy serca

Cykl pracy serca to seria zmian zachodzących podczas jednego skurczu i rozkurczu komór oraz przedsionków serca. Pojedynczy cykl trwa ok. 0,8 s, a w jego przebiegu wyróżnia się trzy podstawowe etapy: skurcz przedsionków, skurcz komór oraz rozkurcz komór.



1. Podczas **skurczu przedsionków** wzrasta ciśnienie krwi w ich wnętrzu. Zamykają się zastawki pnia płucnego oraz aorty, natomiast otwierają się zastawki przedsionkowo-komorowe. Krew napływająca z żył wypełnia całkowicie przedsionki, a następnie zostaje wtłoczona do komór.
2. Podczas **skurczu komór** wzrasta ciśnienie krwi w ich wnętrzu. Zamykają się zastawki przedsionkowo-komorowe, natomiast otwierają się zastawki pnia płucnego i aorty. Dzięki temu krew przemieszcza się do tętnic. Jednocześnie zachodzi rozkurcz przedsionków, do których zaczyna napływać krew z żył.
3. Podczas **rozkurczu komór** spada ciśnienie krwi w ich wnętrzu. Zastawki pnia płucnego i aorty zamykają się, natomiast otwierają się zastawki przedsionkowo-komorowe. Krew zaczyna napływać z przedsionków do komór.

Objętość wyrzutowa i objętość minutowa serca

Objętość krwi wyrzucanej z każdej komory do odpowiedniego naczynia tętniczego podczas jednego skurczu serca nosi nazwę **objętości wyrzutowej** (pojemności wyrzutowej). U człowieka wynosi ona 70–80 cm^3. Z kolei objętość krwi tłoczona przez każdą komorę do odpowiedniego naczynia tętniczego w czasie jednej minuty nosi nazwę **objętości minutowej** (pojemności minutowej). U człowieka wynosi ona 5–6 dm^3.

Na objętość wyrzutową i objętość minutową serca wpływają:

- siła skurczu mięśnia sercowego, która zależy m.in. od ilości krwi żylnej wpływającej do przedsionków i komór oraz od wydajności procesów energetycznych zachodzących w mitochondriach kardiomiocytów,
- ciśnienie krwi w naczyniach tętniczych.

Na objętość minutową serca ma także wypływ częstość skurczów serca, która jest regulowana za pośrednictwem układów nerwowego i hormonalnego.

Obiegi krwi

W układzie krwionośnym wyróżnia się dwa obiegi krwi: ustrojowy oraz płucny. **Obieg ustrojowy** (duży, obwodowy) odpowiada m.in. za wymianę tlenu i dwutlenku węgla między krwią a tkankami ciała. Z kolei **obieg płucny** (mały) umożliwia wymianę tlenu i dwutlenku węgla między krwią a powietrzem znajdującym się w pęcherzykach płucnych.

Obieg ustrojowy

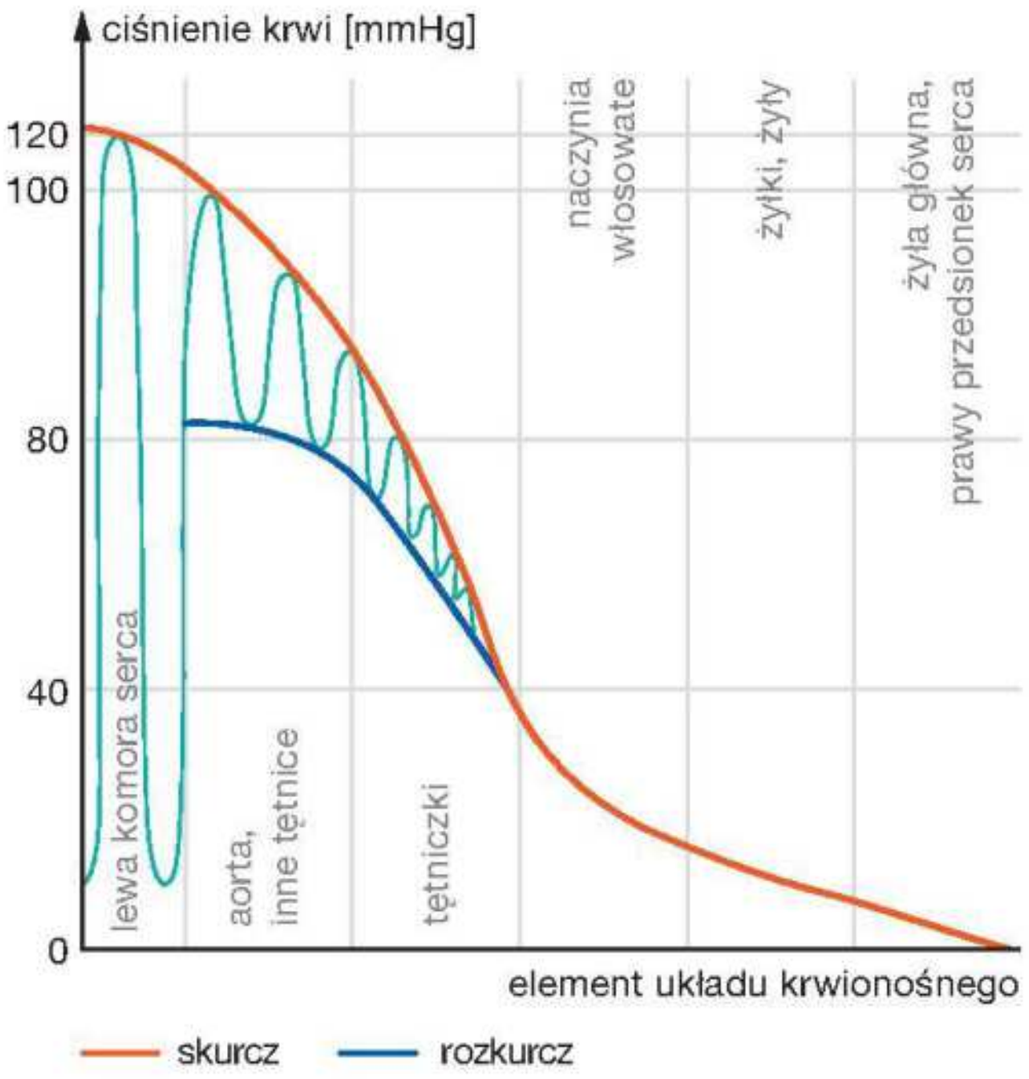
Siłą napędową ruchu krwi w obiegu ustrojowym jest różnica ciśnień krwi między aortą (średnio 100 mm Hg) a żyłą główną (średnio 10 mm Hg). Różnica ta wynosi ok. 90 mm Hg.

Obieg ustrojowy rozpoczyna się w lewej komorze serca, w której znajduje się krew utlenowana (zasobna w tlen). Skurcz tej komory tłoczy krew do aorty. Wówczas ciśnienie krwi w tym naczyniu wzrasta z ok. 70 mm Hg (ciśnienie rozkurczowe) do ok. 100 mm Hg (ciśnienie skurczowe), a prędkość przepływu krwi jest bardzo duża. W miarę oddalania się od serca krew natrafia na liczne opory – w rezultacie obniżają się jej ciśnienie oraz prędkość przepływu. Wolno płynąca krew trafia następnie do naczyń włosowatych tkanek ciała, gdzie przez cienki śródbłonek naczyniowy oddaje tlen i jednocześnie odbiera dwutlenek węgla. Z tkanek ciała krew odtlenowana (uboga w tlen) przepływa do naczyń żylnych. Ich ostatnim odcinkiem jest żyła główna, którą krew wraca do prawego przedsionka serca.

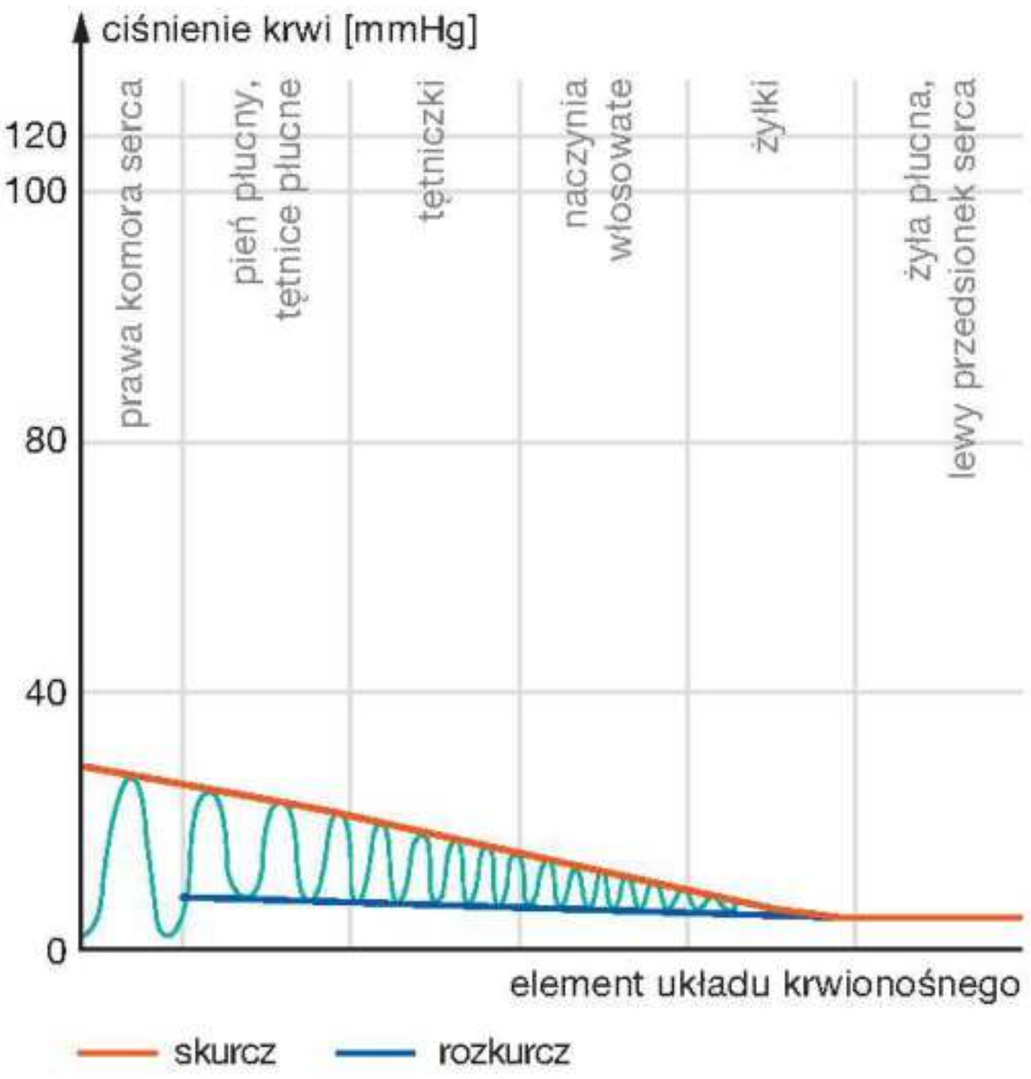
Obieg płucny

Siłą napędową ruchu krwi w obiegu płucnym jest różnica ciśnień krwi między pniem płucnym (średnio 15 mm Hg) a żyłą płucną (średnio 7 mm Hg). Różnica ta wynosi ok. 8 mm Hg.

Obieg płucny rozpoczyna się w prawej komorze serca, w której znajduje się krew odtlenowana. Skurcz tej komory tłoczy krew do pnia płucnego. Wówczas ciśnienie krwi w tym naczyniu wzrasta z ok. 8 mm Hg (ciśnienie rozkurczowe) do ok. 15 mm Hg (ciśnienie skurczowe). Pień płucny dzieli się następnie na dwie tętnice płucne – prawą i lewą – które rozgałęziają się na tętniczki o coraz niższym ciśnieniu i wolniejszym przepływie krwi. Wolno płynąca krew trafia następnie do naczyń włosowatych pęcherzyków płucnych, gdzie przez cienki śródbłonek naczyniowy oddaje dwutlenek węgla i jednocześnie pobiera tlen. Z płuc krew utlenowana przepływa do naczyń żylnych. Ich ostatnim odcinkiem jest żyła płucna, którą krew wraca do lewego przedsionka serca.



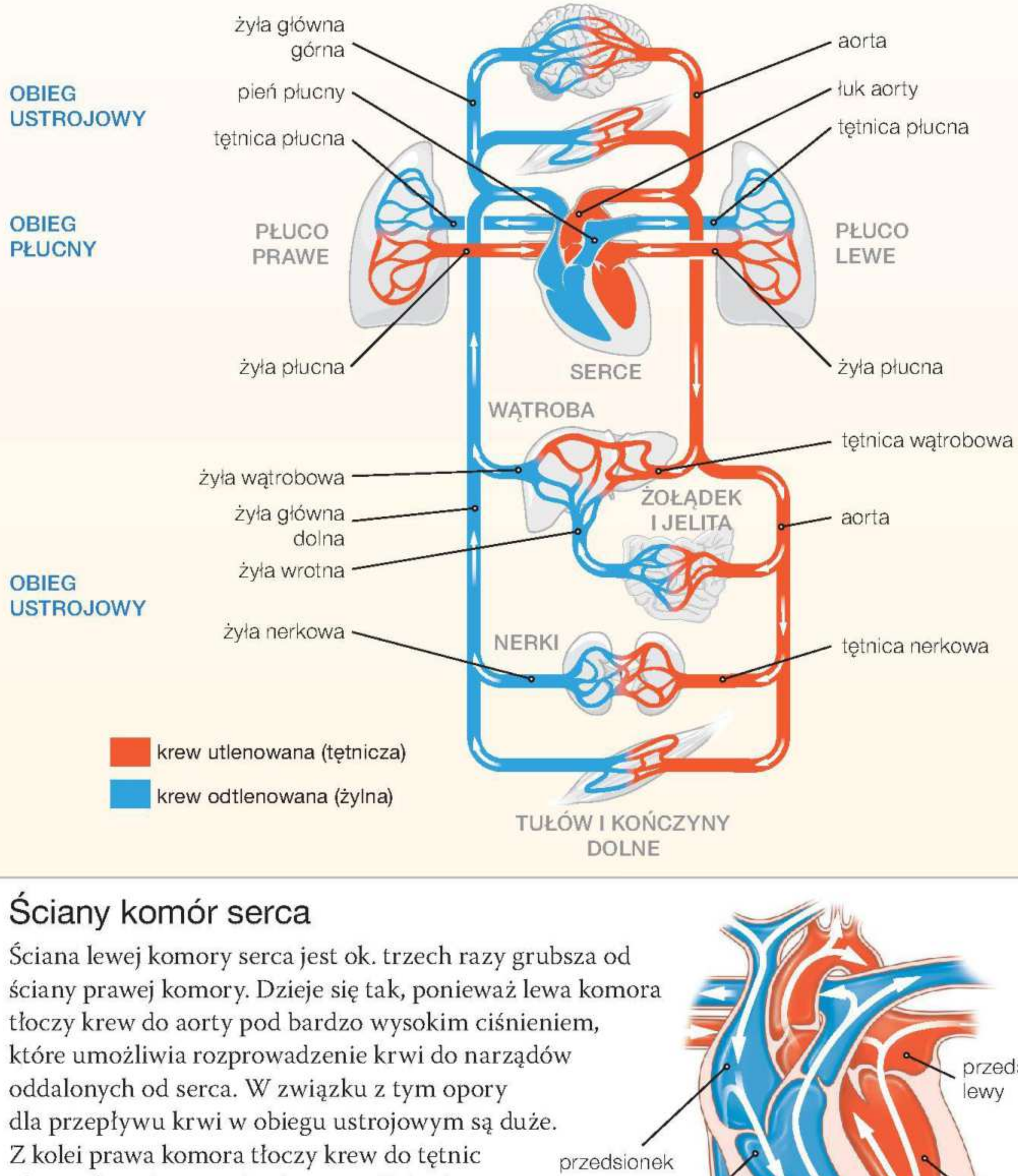
Gradient ciśnień w obiegu ustrojowym.



Gradient ciśnień w obiegu płucnym.

Obiegi krwi

W układzie krwionośnym wyróżnia się dwa krwiobiegi: ustrojowy oraz płucny. Obieg ustrojowy zapewnia komórkom organizmu stałą dostawę tlenu i składników odżywczych oraz usuwa z nich zbędne produkty przemiany materii. Obieg płucny umożliwia wymianę gazową między krwią a płucami, co zapewnia utlenowanie krwi.

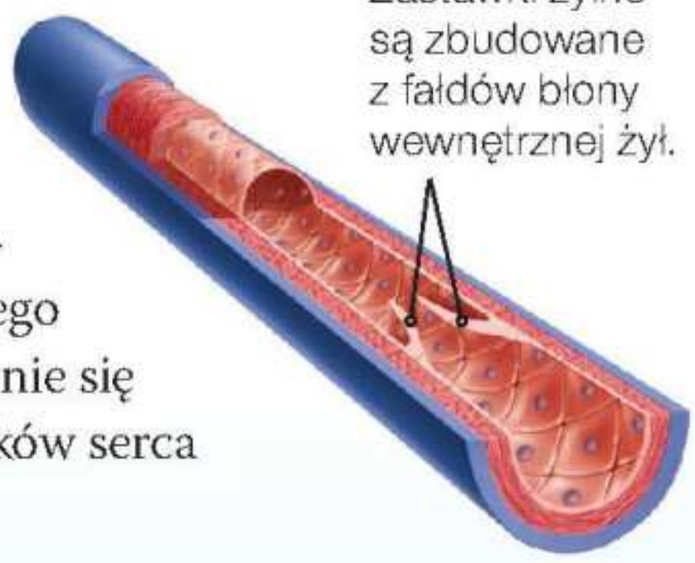


Ściany komór serca

Ściana lewej komory serca jest ok. trzech razy grubsza od ściany prawej komory. Dzieje się tak, ponieważ lewa komora tłoczy krew do aorty pod bardzo wysokim ciśnieniem, które umożliwia rozprowadzenie krwi do narządów oddalonych od serca. W związku z tym opory dla przepływu krwi w obiegu ustrojowym są duże. Z kolei prawa komora tłoczy krew do tętnic płucnych pod znacznie niższym ciśnieniem, gdyż płuca są położone w sąsiedztwie serca. Dlatego opory dla przepływu krwi w obiegu płucnym są małe.

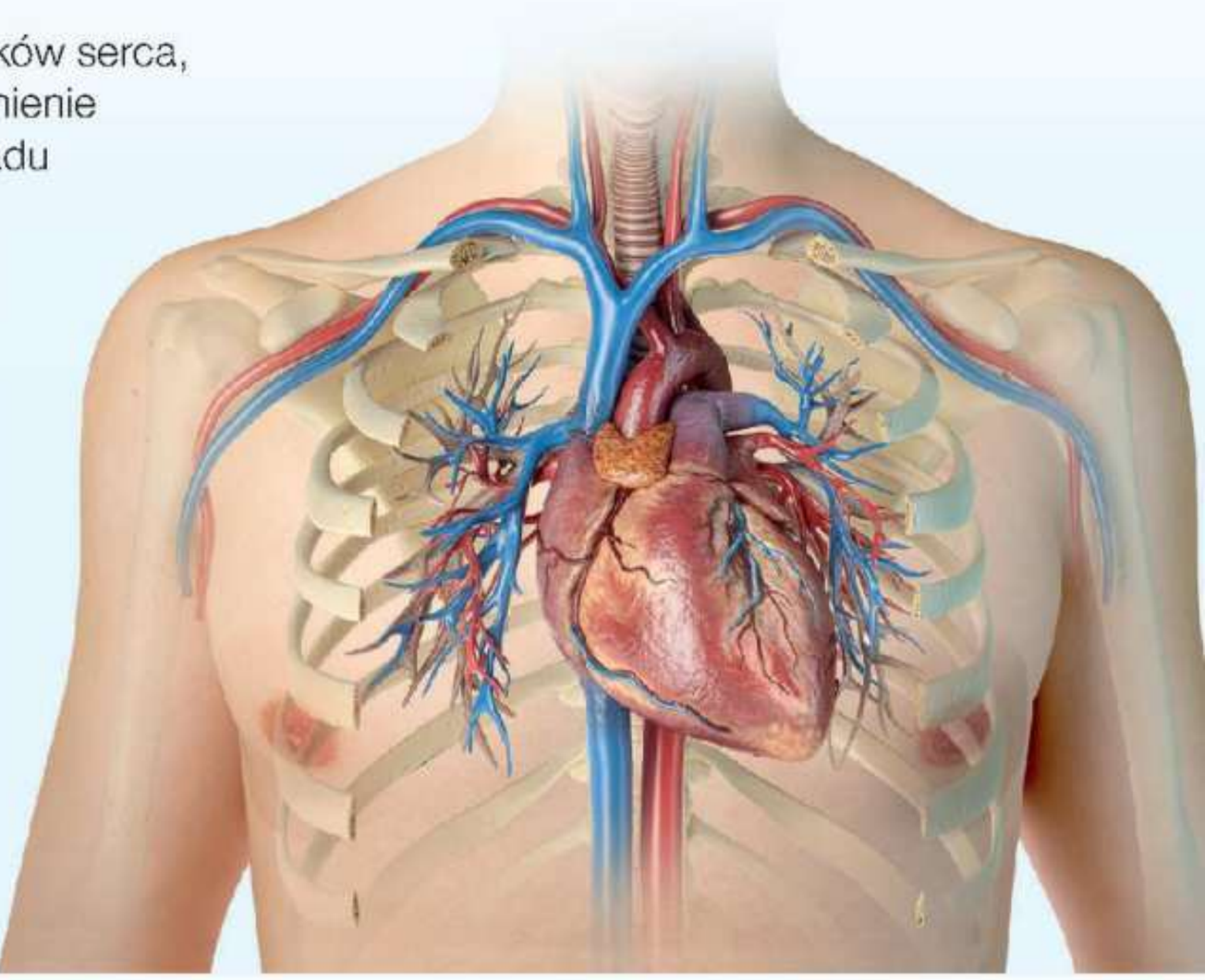
Przepływ krwi w żyłach

Przepływ krwi w żyłach jest trudniejszy niż przepływ krwi w tętnicach. Dzieje się tak ze względu na niskie ciśnienie krwi, a także – w przypadku niektórych żył – ruch krwi wbrew sile grawitacji. Z tego powodu żyły są zaopatrzone w zastawki, które uniemożliwiają cofanie się krwi, a jej przepływ jest ułatwiony przez ssące działanie przedsionków serca oraz mechanizmy pompy oddechowej i pompy mięśniowej.



Ssące działanie przedsionków serca

W dużych żyłach, z których krew spływa do przedsionków serca, oraz w rozkurczonych przedsionkach panuje niskie ciśnienie (ok. 0–5 mm Hg). Dzięki temu serce zasysa krew z układu żylnego.



Mechanizm pompy oddechowej

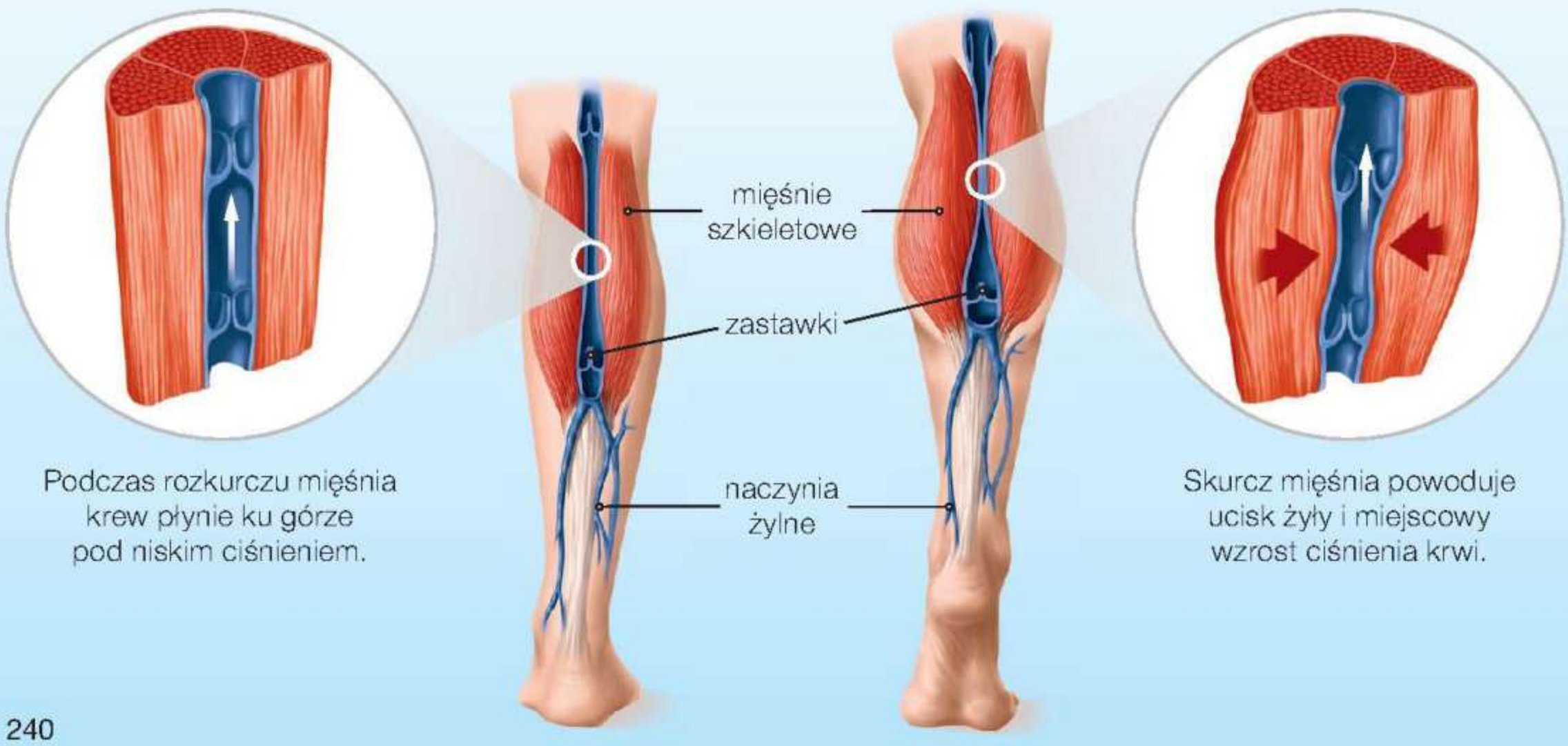
Przepływ krwi w układzie żylnym umożliwiają zmiany objętości jamy klatki piersiowej i jamy brzusznej, które zachodzą podczas wentylacji płuc.

Podczas wdechu zmniejsza się ciśnienie w klatce piersiowej, co powoduje rozszerzenie żył głównych w klatce piersiowej i ułatwia dopływ krwi do serca.

Podczas wdechu zwiększa się ciśnienie w jamie brzusznej, dzięki czemu krew jest wypychana z żył brzucha w kierunku serca.

Mechanizm pompy mięśniowej

Przepływ krwi w żyłach kończyn dolnych odbywa się wbrew sile grawitacji. Ułatwia go praca mięśni szkieletowych. Pracujące mięśnie kończyn dolnych naciskają na ściany żył i popychają krew w dwóch kierunkach: do serca i od serca. Jednak obecność zastawek wymusza przepływ tylko w jednym kierunku – do serca.



Podczas rozkurczu mięśnia krew płynie ku górze pod niskim ciśnieniem.

Skurcz mięśnia powoduje ucisk żyły i miejscowy wzrost ciśnienia krwi.

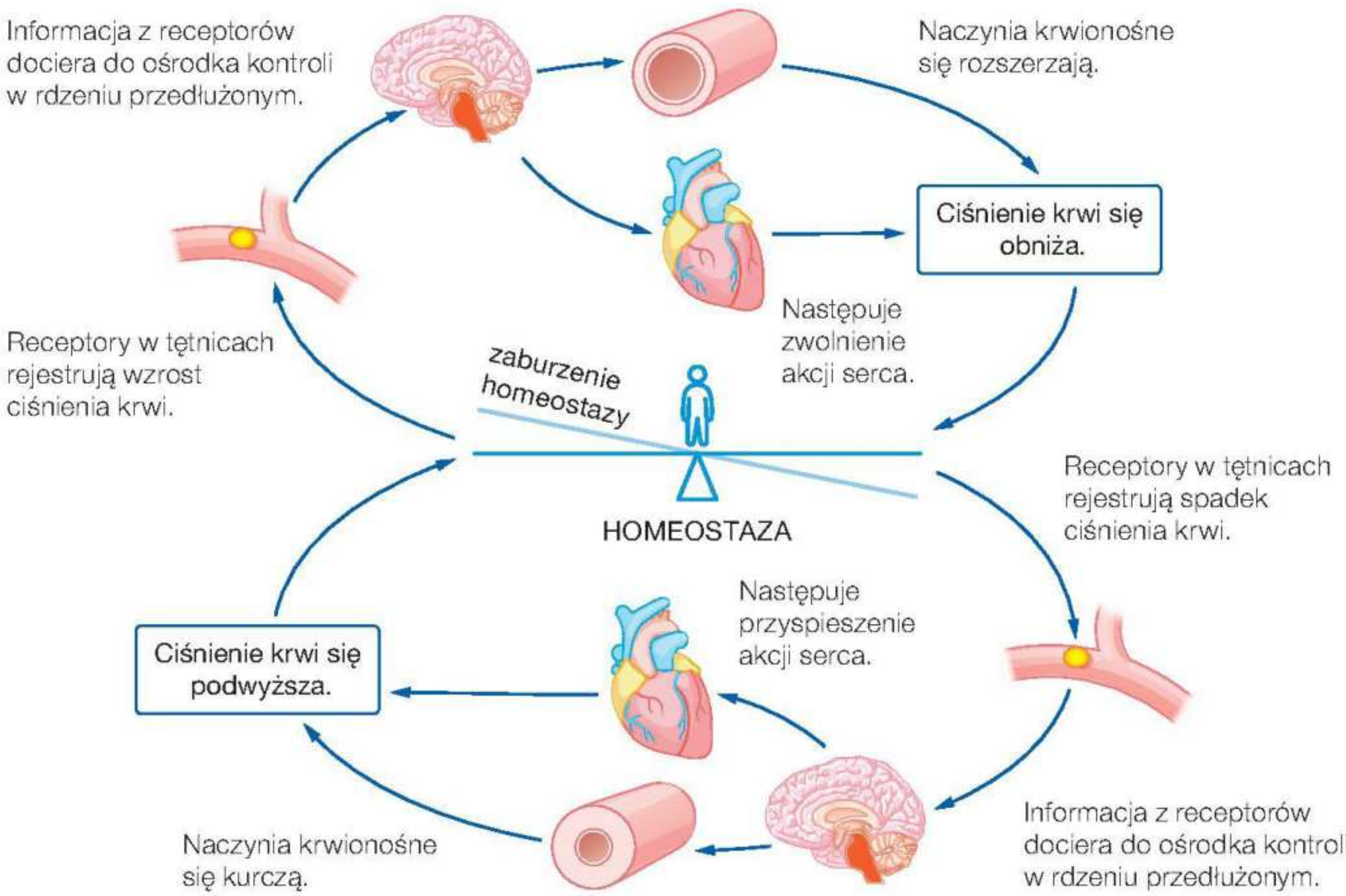
Ciśnienie krwi i tętno

Ciśnienie krwi w tętnicach zależy od fazy cyklu pracy serca. Najwyższe ciśnienie występuje podczas skurczu komór (ciśnienie skurczowe), a najniższe – w czasie ich rozkurczu (ciśnienie rozkurczowe). Prawidłowe wartości ciśnienia krwi w spoczynku, mierzonego w tętnicy ramiennej, wahają się w pewnych granicach: ciśnienie skurczowe mieści się zwykle w przedziale 90–135 mm Hg, a rozkurczowe – w przedziale 50–90 mm Hg. Optymalna wartość ciśnienia skurczowego wynosi ok. 120 mm Hg, a rozkurczowego – 80 mm Hg. W praktyce wartość ciśnienia przedstawia się jako ułamek, np. 120/80 mm Hg. Wiele chorób układu krwionośnego wymaga systematycznych pomiarów ciśnienia krwi.

Tętno (puls) to rytmiczne rozciąganie ścian naczyń tętniczych podczas wypełniania ich krwią wyrzucaną z serca w czasie skurczu komór (objętość wyrzutowa serca). Fala powstającego w ten sposób wzmożonego ciśnienia krwi w naczyniach tętniczych rozchodzi się ku obwodowi. Tętno jest łatwo wyczuwalne we wszystkich tętnicach biegnących powierzchniowo, pod skórą. Najczęściej bada się je na tętnicy promieniowej, czyli po wewnętrznej stronie nadgarstka. Określając właściwości tętna, uwzględnia się m.in. jego częstość i regularność. Na podstawie pomiaru tętna można wnioskować o prawidłowości funkcjonowania układu krwionośnego. Tętno w temperaturze pokojowej i w spoczynku wynosi ok. 70 uderzeń na minutę.

Regulacja poziomu ciśnienia krwi

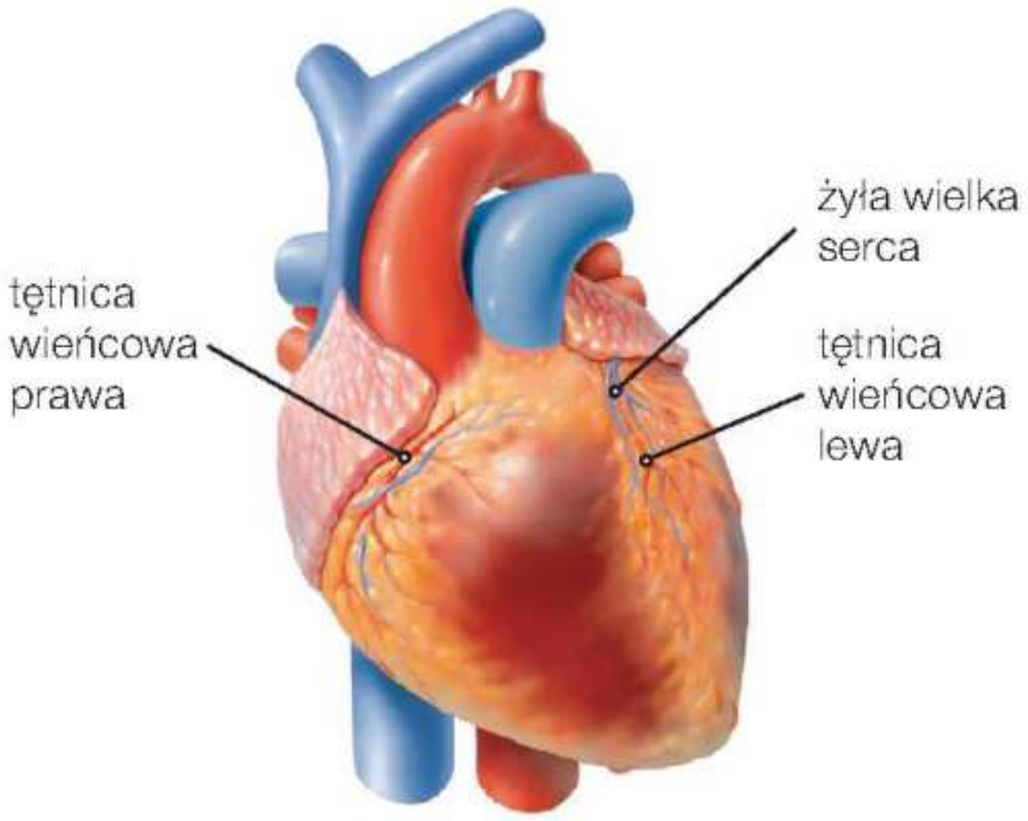
Zmiany poziomu ciśnienia krwi są rejestrowane przez baroreceptory umiejscowione w dużych tętnicach, które wysyłają informacje do ośrodka naczynioruchowego znajdującego się w rdzeniu przedłużonym. Gdy ciśnienie krwi jest zbyt wysokie, naczynia krwionośne rozszerzają się i serce zwalnia pracę. W sytuacji odwrotnej następuje kurczenie się naczyń krwionośnych i przyspieszenie pracy serca.



Krążenie wieńcowe

Mięsień sercowy potrzebuje do pracy nieustannego dostarczania tlenu oraz składników odżywczych. Substancje te nie mogą przenikać do mięśnia z przesionków i komór, ponieważ ścianę serca wyścieła od wewnątrz łącznotkankowa błona – wsierdzie. Ponadto wymiana substancji zachodzi wyłącznie w obszarze naczyń włosowatych, w których krew płynie wolno i pod niskim ciśnieniem. Z tego względu mięsień sercowy jest unaczyniony przez **naczynia wieńcowe**, które są elementem ustrojowego obiegu krwi.

Tlen i substancje odżywcze są doprowadzane do mięśnia sercowego przez **tętnice wieńcowe**, które odchodzą od aorty w jej początkowym odcinku. Tętnice oplatają serce na kształt wieńca, a ich liczne odgałęzienia wnikają w głąb mięśnia sercowego. Zbędne produkty przemiany materii są odprowadzane przez **żyły wieńcowe**, które uchodzą bezpośrednio do prawego przedsionka serca.

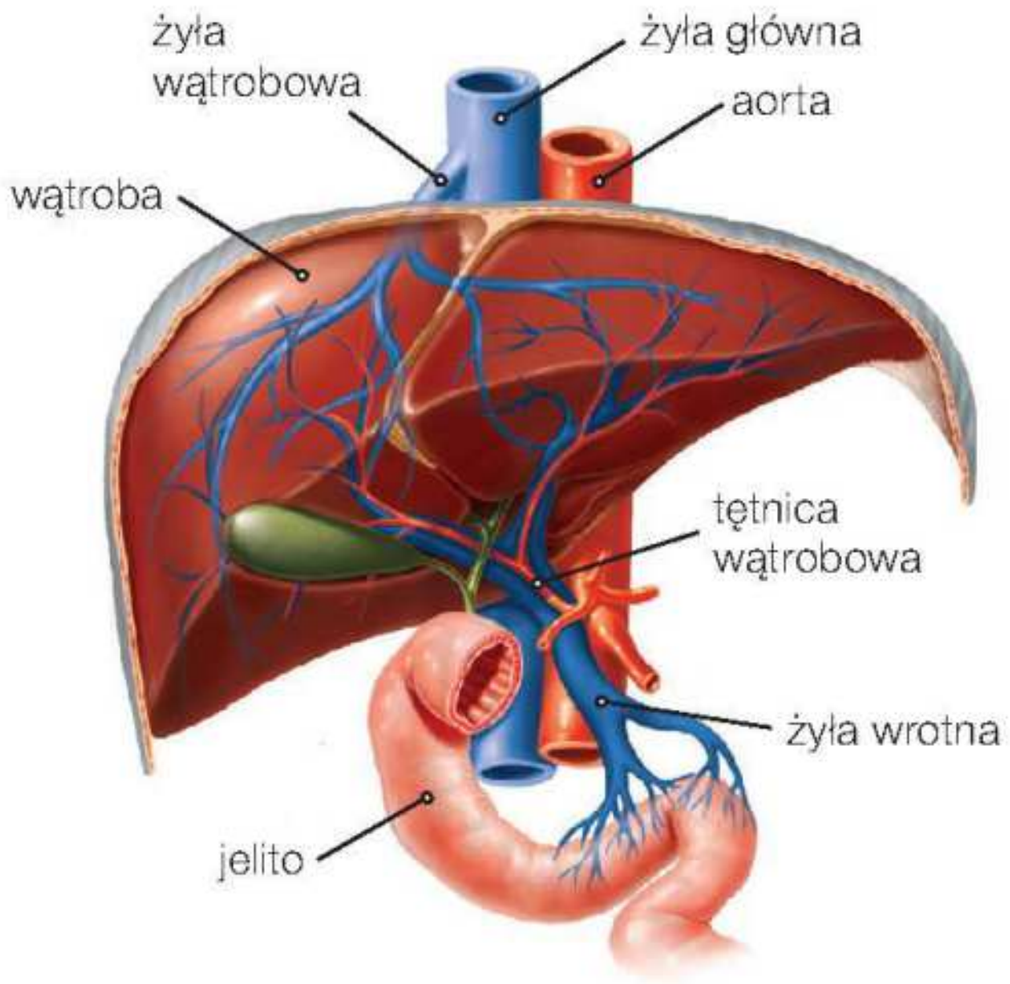


Naczynia wieńcowe. Przez tętnice wieńcowe przepływa średnio ok. 5% całkowitej ilości krwi krążącej w organizmie człowieka. Ilość ta może się zwiększyć nawet pięciokrotnie, np. podczas wysiłku.

Krążenie wątrobowe

Wątroba pełni w organizmie wiele różnych funkcji. Odpowiada m.in. za wytwarzanie żółci, mocznika, niektórych hormonów oraz białek osocza uczestniczących w krzepnięciu krwi i reakcjach odpornościowych organizmu. Ponadto w wątrobie zachodzi detoksykacja trucizn (pobranych z pokarmem lub wytworzonych przez bakterie jelitowe) oraz magazynowanie nadwyżki związków pokarmowych wchłoniętych w jelicie cienkim.

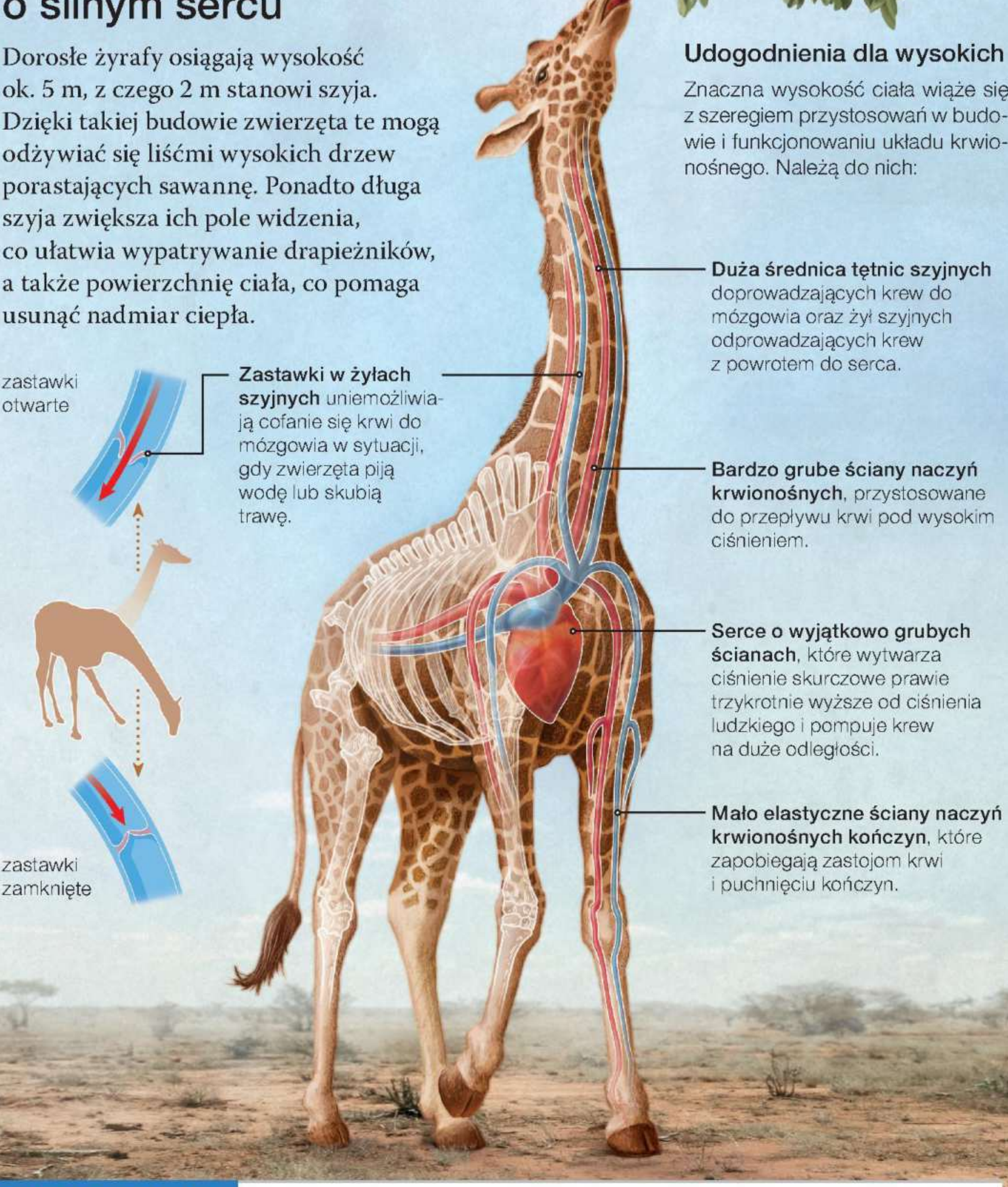
Intensywny metabolizm wymaga dobrego zaopatrzenia w tlen, który jest dostarczany do wątroby dwoma naczyniami – **tętnicą wątrobową** oraz **żyłą wrotną**. Tętnica wątrobowa jest odgałęzieniem tętnicy trzewnej, która odchodzi od brzusznego odcinka aorty, z kolei żyła wrotna powstaje w wyniku łączenia się naczyń żylnych śledziony, żołądka, trzustki, jelita cienkiego i jelita grubego. Oprócz tlenu żyłą wrotną docierają więc do wątroby toksyny oraz substancje pokarmowe wchłonięte w jelicie cienkim. W wątrobie tętnica wątrobowa i żyła wrotna rozgałęziają się, tworząc dwie sieci naczyń włosowatych, które skupiają się w większe naczynia uchodzące do żyły wątrobowej. Sieć naczyń włosowatych znajdująca się między tętnicą wątrobową a żyłą wątrobową jest siecią typową. W jej obrębie krew oddaje komórkom wątroby tlen. Z kolei sieć naczyń włosowatych znajdująca się między żyłą wrotną a żyłą wątrobową jest **siecią dziwną żylno-żylną**. W jej obszarze krew oddaje komórkom wątroby tlen, toksyny oraz nadmiar substancji pokarmowych wchłoniętych w jelicie cienkim.



Ukrwienie wątroby. Tętnicą wątrobową dociera do wątroby ok. 40% tlenu, a żyłą wrotną – ok. 60% tego gazu.

Żyrafy – olbrzymy o silnym sercu

Dorosłe żyrafy osiągają wysokość ok. 5 m, z czego 2 m stanowi szyja. Dzięki takiej budowie zwierzęta te mogą odżywiać się liśćmi wysokich drzew porastających sawannę. Ponadto długa szyja zwiększa ich pole widzenia, co ułatwia wypatrywanie drapieżników, a także powierzchnię ciała, co pomaga usunąć nadmiar ciepła.



Udogodnienia dla wysokich

Znaczna wysokość ciała wiąże się z szeregiem przystosowań w budowie i funkcjonowaniu układu krwionośnego. Należą do nich:

- **Duża średnica tętnic szyjnych** doprowadzających krew do mózgowia oraz żył szyjnych odprowadzających krew z powrotem do serca.
- **Zastawki w żyłach szyjnych** uniemożliwiają cofanie się krwi do mózgowia w sytuacji, gdy zwierzęta piją wodę lub skubią trawę.
- **Bardzo grube ściany naczyń krwionośnych**, przystosowane do przepływu krwi pod wysokim ciśnieniem.
- **Serce o wyjątkowo grubych ścianach**, które wytwarza ciśnienie skurczowe prawie trzykrotnie wyższe od ciśnienia ludzkiego i pompuje krew na duże odległości.
- **Mało elastyczne ściany naczyń krwionośnych kończyn**, które zapobiegają zastojom krwi i puchnięciu kończyn.

Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij, na czym polega rola układu krwionośnego w utrzymaniu homeostazy organizmu.
2. Wyjaśnij, na czym polega automatyzm pracy serca.
3. Omów cykl pracy serca.
4. Krwinka czerwona wraz z krwią opuściła prawą komorę serca. Określ, którymi naczyniami krwionośnymi będzie transportowana w drodze do serca. Podaj stan jej utlenowania na początku oraz na końcu tej wędrówki.

6.5. Układ limfatyczny

Zwróć uwagę na:
- budowę i funkcje układu limfatycznego,
- rolę limfy,
- współdziałanie układu krwionośnego z układem limfatycznym.

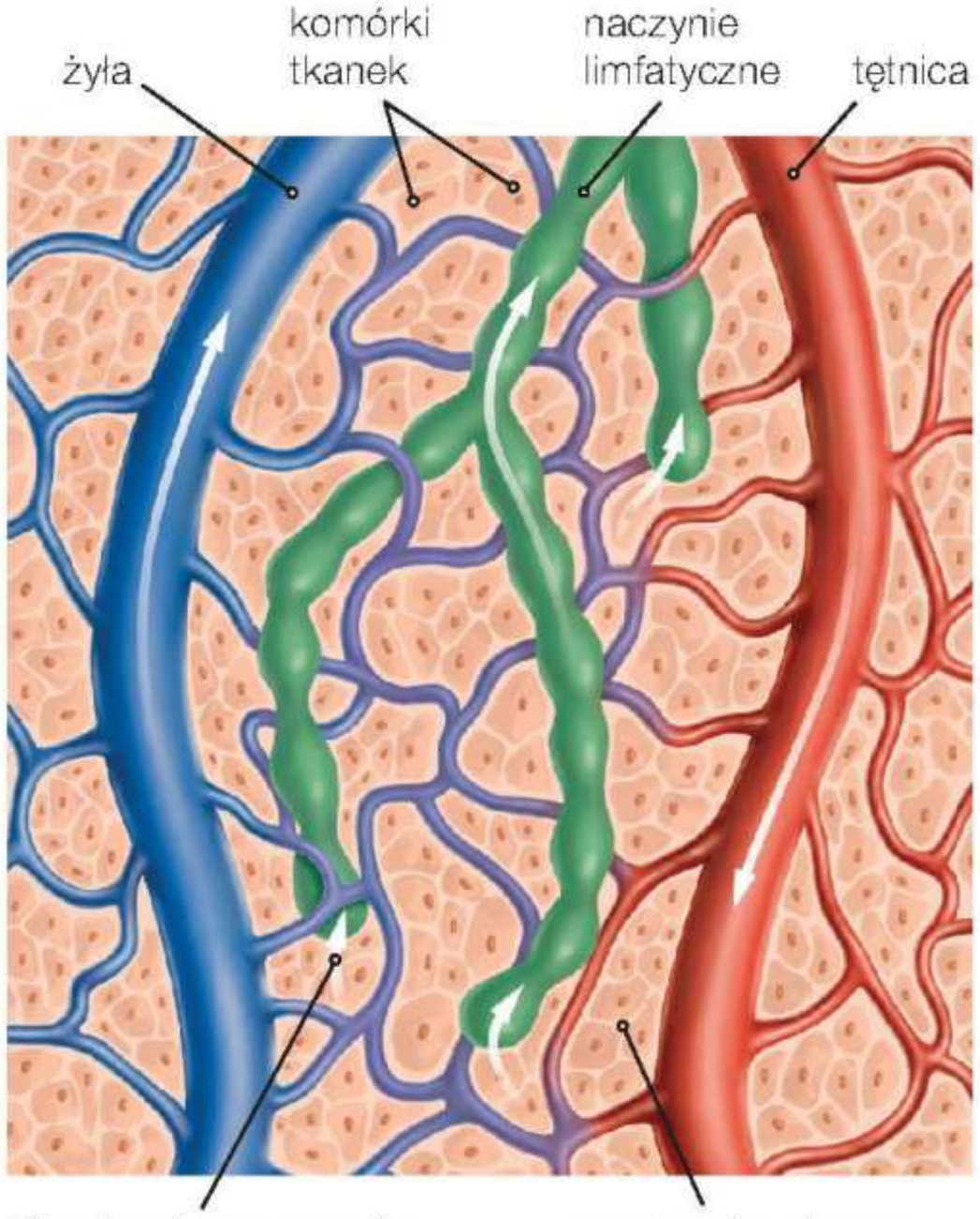
Układ limfatyczny, w przeciwieństwie do układu krwionośnego, ma charakter otwarty – nie tworzy zamkniętego systemu naczyń. Nie ma też pompy, takiej jak serce, która ułatwiałaby przepływ wypełniającej go limfy. Jest on jednak ściśle związany z układem krwionośnym, ponieważ transportuje przesącz krwi i zwraca go z powrotem do naczyń krwionośnych. Układ limfatyczny stanowi ponadto zasadniczą część układu odpornościowego. Do głównych elementów budujących układ limfatyczny należą naczynia limfatyczne i narządy limfatyczne. W naczyniach limfatycznych krąży limfa.

Funkcje układu limfatycznego

Układ limfatyczny, tak jak układ krwionośny, ma ogromny wpływ na utrzymanie homeostazy organizmu. Do jego głównych zadań należą:
- ochrona organizmu przed drobnoustrojami chorobotwórczymi oraz szkodliwymi substancjami,
- regulacja ilości płynów ustrojowych w organizmie,
- transport niektórych hormonów do układu krwionośnego oraz transport tłuszczów wchłoniętych do limfy z układu pokarmowego.

Jak powstaje limfa?

Komórki tkanek są otoczone płynem tkankowym, powstającym na skutek przesączania się części osocza z włosowatych naczyń krwionośnych. Płyn ten pośredniczy w wymianie substancji między krwią a komórkami: dostarcza komórkom tlen i substancje odżywcze, a odbiera z nich zbędne produkty przemiany materii. Z przestrzeni międzykomórkowych płyn tkankowy dostaje się do wnętrza włosowatych naczyń limfatycznych, gdzie tworzy limfę (chłonkę). Limfa wędruje do większych naczyń limfatycznych, a następnie z powrotem do naczyń krwionośnych. Skład limfy jest podobny do składu osocza, występuje w nim jednak mniej białek. W limfie znajduje się duża liczba limfocytów, pochodzących z narządów limfatycznych rozmieszczonych na drodze jej przepływu. Limfa odprowadzana z jelit jest biała i gęsta, ponieważ zawiera znaczne ilości tłuszczu, natomiast limfa opuszczająca inne narządy jest zwykle bezbarwna.



Powstawanie limfy.

Narządy układu limfatycznego

Narządy wchodzące w skład układu limfatycznego dzieli się na dwie grupy:

- centralne narządy limfatyczne – odpowiadają za dojrzewanie limfocytów T i B. Należą do nich szpik kostny czerwony oraz grasica;
- obwodowe narządy limfatyczne – biorą udział w wykształcaniu odpowiedzi immunologicznej. Należą do ich m.in.: śledziona, węzły chłonne, migdałki podniebienne i grudki limfatyczne.

Szpik kostny czerwony pełni funkcję krwiotwórczą – odpowiada za wytwarzanie wszystkich elementów morfotycznych krwi. U osób dorosłych występuje w kręgach, żebrach, mostku, obojczykach, kościach czaszki i miednicy oraz nasadach kości długich.

Grasica odgrywa dużą rolę w kształtowaniu odporności, ponieważ jest gruczołem dokrewnym wydzielającym hormony regulujące proces dojrzewania i namnażania się limfocytów T. Po okresie dojrzewania grasica stopniowo zanika.

Śledziona może magazynować i uwalniać krew w razie potrzeby. Do jej funkcji należy także niszczenie zużytych leukocytów i starzejących się lub uszkodzonych czerwonych krwinek oraz płytek krwi.

Węzły chłonne filtrują limfę i zatrzymują znajdujące się w niej drobnoustroje chorobotwórcze. Namnażają się w nich limfocyty T i B uczestniczące w procesach odpornościowych.

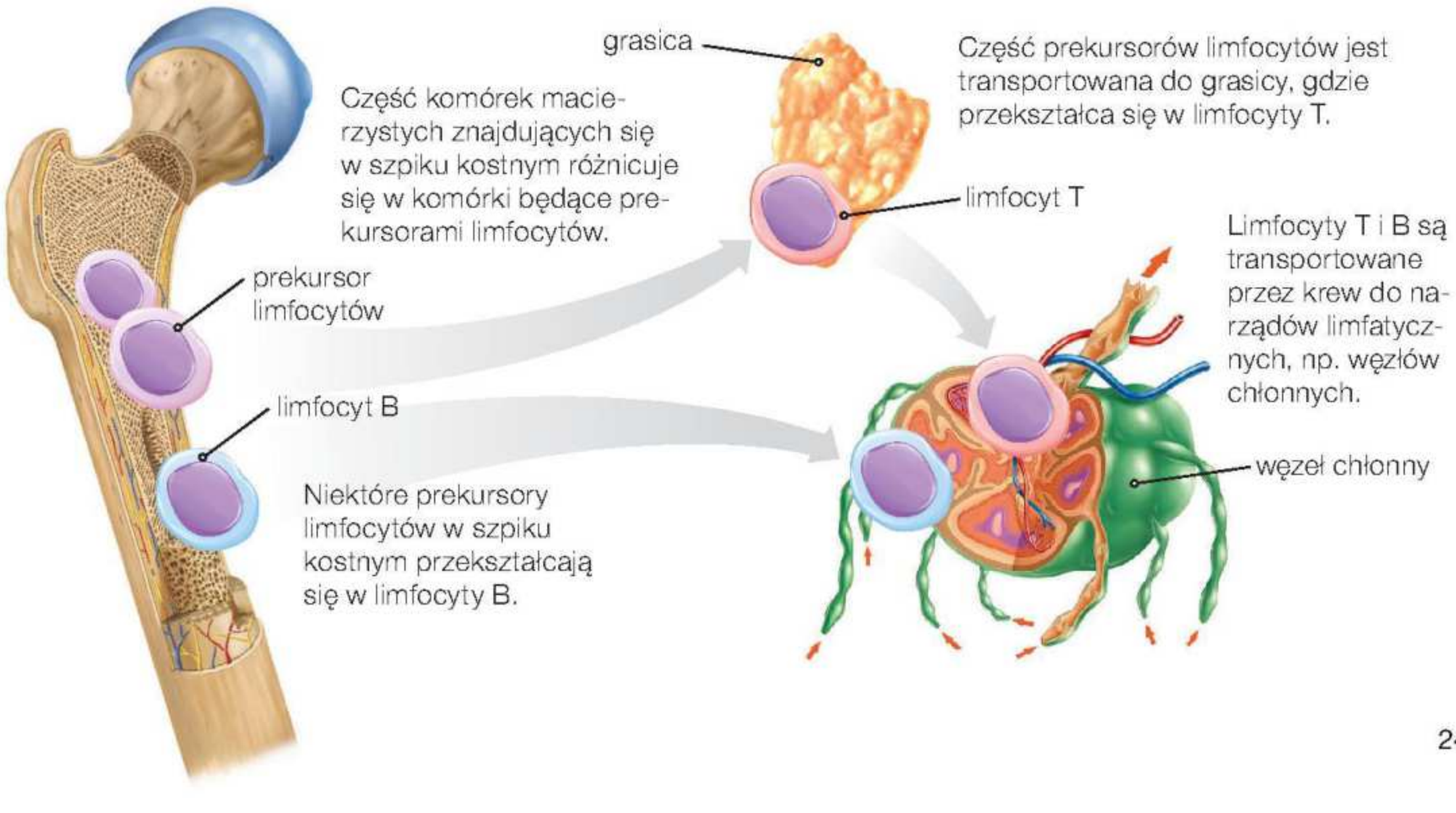
Grudki limfatyczne są podobne do węzłów chłonnych. Tworzą drobne skupiska związane z układami: pokarmowym, oddechowym i wydalniczym. Licznie występują również w ścianie wyrostka robaczkowego. Grudki limfatyczne zawierają znaczną liczbę różnych rodzajów leukocytów zwalczających drobnoustroje chorobotwórcze.

Migdałki podniebienne tworzą pierścień wokół gardła, który chroni organizm przed infekcjami układu oddechowego i układu pokarmowego.

Naczynia układu limfatycznego

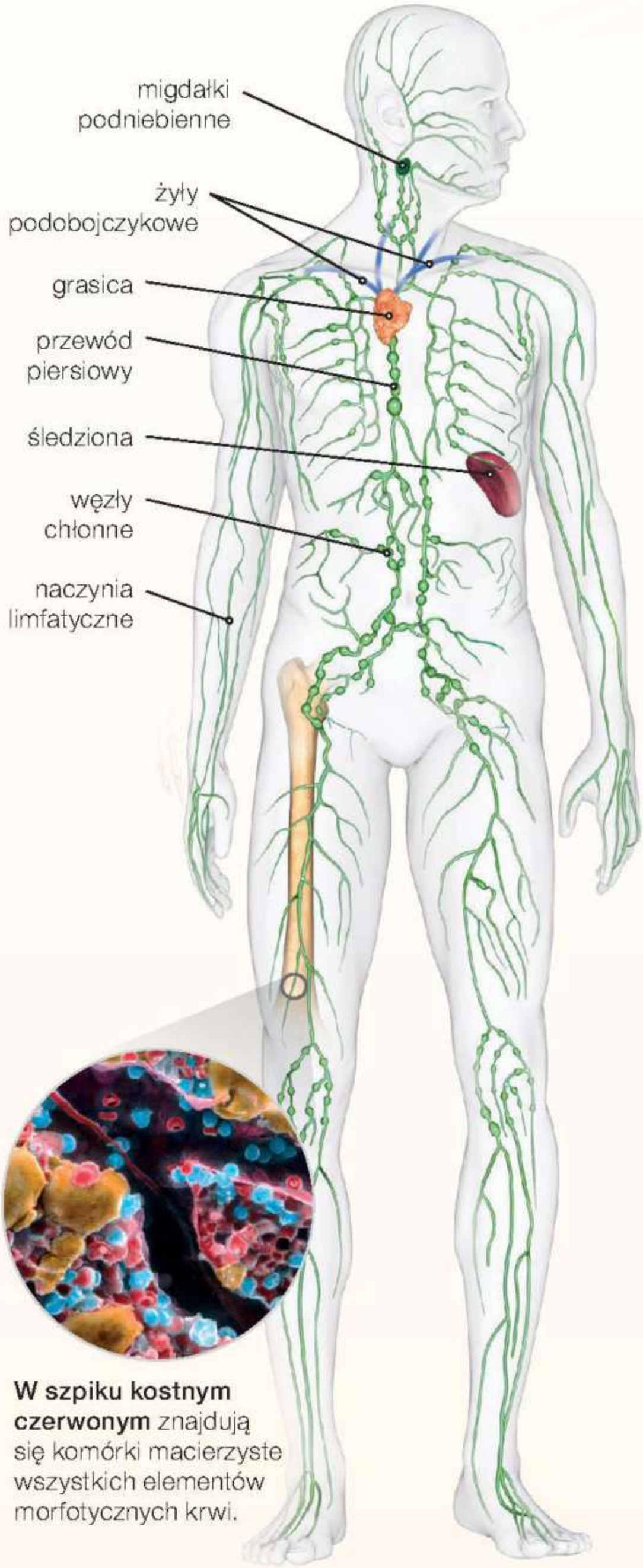
Większość naczyń limfatycznych przypomina naczynia krwionośne. Duże i średnie naczynia limfatyczne są podobne do żył. Mają cienkie ściany zbudowane z trzech warstw. Wewnątrz zawierają zastawki, które uniemożliwiają cofanie się limfy. Z kolei włosowate naczynia limfatyczne są otwarte – otwierają się bezpośrednio do przestrzeni międzykomórkowych, skąd zbierają nadmiar płynu tkankowego.

Rola narządów limfatycznych w powstawaniu i różnicowaniu się limfocytów



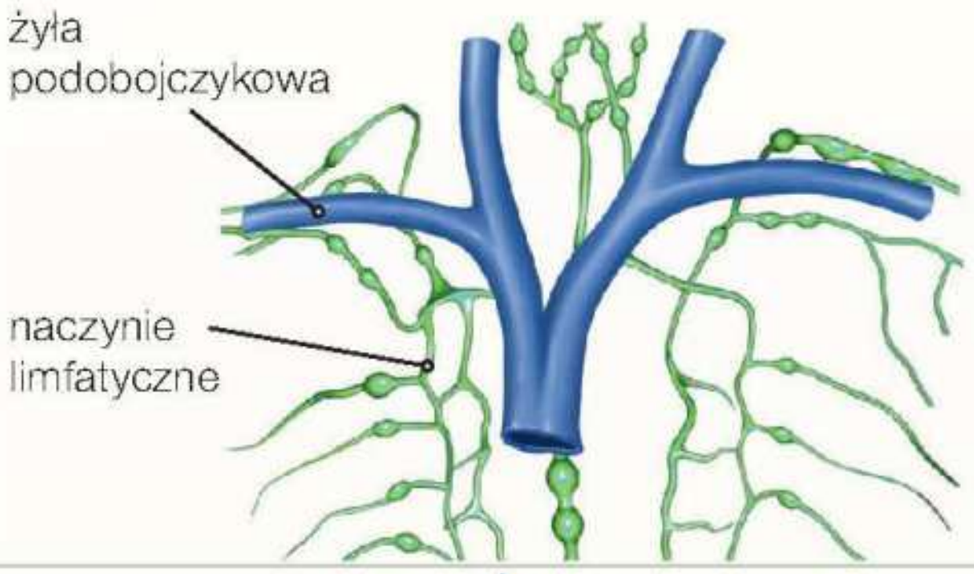
Jak działa układ limfatyczny?

Układ limfatyczny zapewnia przepływ limfy do układu krwionośnego – limfa transportowana jest do dużych żył znajdujących się w pobliżu serca. Biorą w tym udział naczynia limfatyczne, narządy limfatyczne, takie jak grasica, a także węzły chłonne, śledzona i szpik kostny.

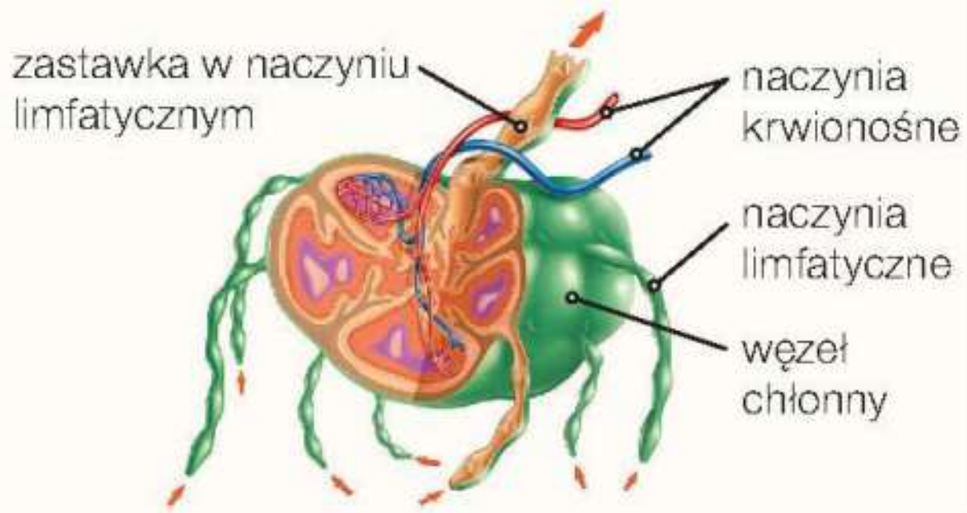


W szpiku kostnym czerwonym znajdują się komórki macierzyste wszystkich elementów morfotycznych krwi.

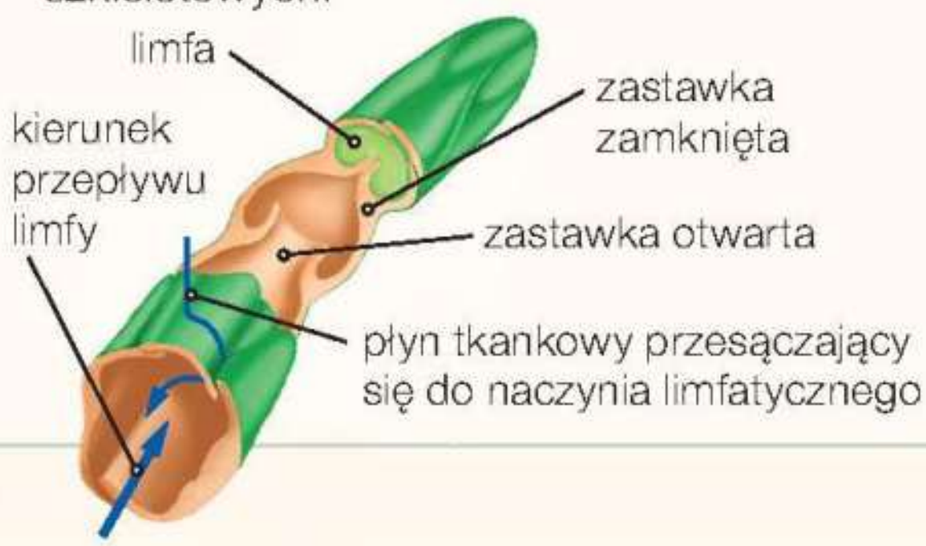
3 Limfa jest transportowana w pobliże serca, gdzie uchodzi do dużych żył i łączy się z krwią w krwioobiegu.



2 Naczynia limfatyczne transportują limfę przez węzły chłonne. Węzły, filtrując limfę, wychwytują z niej mikroorganizmy chorobotwórcze oraz szkodliwe substancje.



1 Limfa jest transportowana w naczyniach limfatycznych w stronę serca. Płynie tylko w jednym kierunku, ponieważ w naczyniach występują zastawki. Przepływ limfy jest możliwy dzięki pulsowaniu naczyń krwionośnych oraz pracy sąsiadujących mięśni szkieletowych.



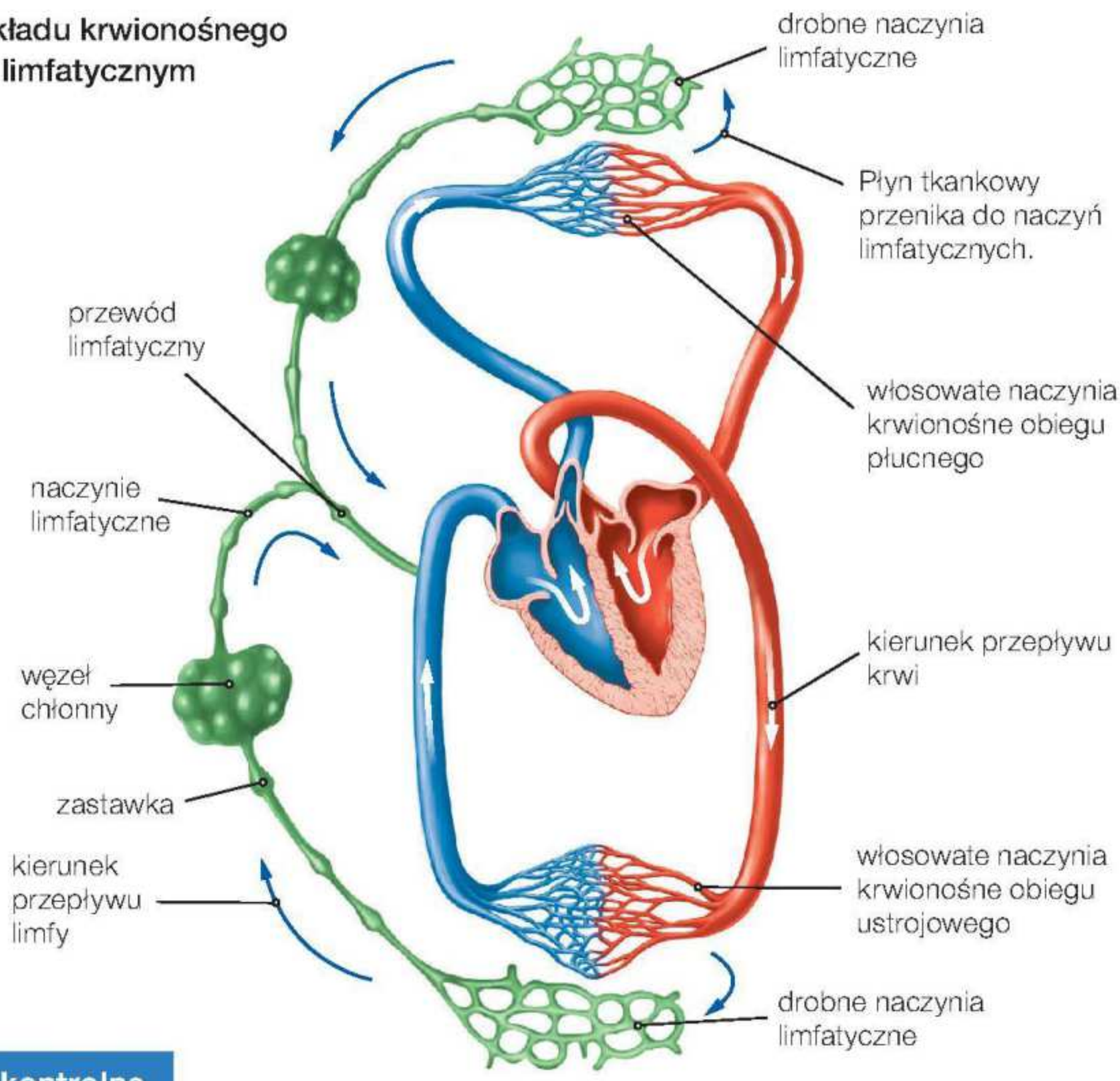
Współdziałanie układów krwionośnego i limfatycznego

Układ krwionośny i układ limfatyczny ściśle ze sobą współpracują, dlatego określa się je wspólnym mianem układu krążenia. Współpraca ta dotyczy m.in. utrzymywania odpowiedniej ilości płynów ustrojowych w organizmie. Układ limfatyczny umożliwia powrót do układu krwionośnego części płynu, który przesączył się z naczyń włosowatych do przestrzeni międzytkankowych. Płyn ten jest oczyszczony z mikroorganizmów chorobotwórczych i szkodliwych substancji, które są neutralizowane w węzłach chłonnych. Funkcje obu układów dopełniają się również w transporcie substancji pokarmowych (tłuszcze są wchłaniane w jelitach do limfy, a cukry proste i aminokwasy – do krwi). Ponadto oba układy współdziałają w zwalczaniu czynników chorobotwórczych. Na przykład obecne we krwi limfocyty powstają, dojrzewają i namnażają się w narządach układu limfatycznego.

Czy wiesz, że...

Obrzęk różnych partii ciała jest często wynikiem zaburzeń przepływu limfy w naczyniach limfatycznych. Limfa gromadzi się w tkankach, co powoduje np. opuchliznę stóp albo worki pod oczami.

Związek układu krwionośnego z układem limfatycznym



Polecenia kontrolne

1. Określ rolę układu limfatycznego.
2. Wymień narządy tworzące układ limfatyczny. Omów funkcje wybranego narządu.
3. Wymień podobieństwa i różnice między układem krwionośnym a układem limfatycznym.
4. Wyjaśnij zależność między osoczem, płynem tkankowym a limfą.
5. Korzystając z dodatkowych źródeł, podaj przyczyny obrzęków ciała, które są związane z funkcjonowaniem układu limfatycznego.

6.6. Choroby układu krążenia

Zwróć uwagę na:
- związek między stylem życia a chorobami układu krążenia,
- znaczenie badań diagnostycznych w profilaktyce chorób układu krążenia.

Układ krążenia odpowiada za transport i wymianę substancji, przez co umożliwia sprawne działanie wszystkich układów narządów w organizmie człowieka. Zaburzenia w funkcjonowaniu układu krążenia mogą doprowadzić do zachwiania homeostazy organizmu, a tym samym przyczynić się do rozwoju wielu schorzeń i przedwczesnej śmierci. Choroby układu krążenia są zaliczane do chorób cywilizacyjnych, czyli związanych z negatywnymi skutkami rozwoju cywilizacji.

Styl życia a rozwój chorób układu krążenia

Główne **czynniki ryzyka** rozwoju chorób układu krążenia to przede wszystkim: zbyt mała aktywność fizyczna, niewłaściwa dieta, długotrwały stres oraz używki (np. papierosy i alkohol). Dlatego w profilaktyce chorób tego układu niezwykle ważny jest zdrowy styl życia.

Jednym z najistotniejszych jego elementów jest częsta i systematyczna **aktywność fizyczna**. Chodzi nie tylko o wyczynowe uprawianie sportu, lecz także o codzienną aktywność – spacery, jazdę na rowerze czy treningi wykonywane w domu. Systematyczny wysiłek fizyczny wpływa na:

- obniżenie tętna spoczynkowego i ciśnienia krwi, dzięki czemu zwiększa się wydolność układu krążenia,
- zwiększenie przepływu krwi w naczyniach, co przeciwdziała rozwojowi nadciśnienia tętniczego,
- rozładowanie stresu, dzięki czemu minimalizowane są jego negatywne skutki,
- przyspieszenie tempa metabolizmu oraz regulację przemian cukrów i tłuszczów w organizmie, co zmniejsza ryzyko otyłości i rozwoju cukrzycy typu II.

Ryzyko rozwoju chorób układu krążenia można też zmniejszyć dzięki zbilansowanej **diecie**. Spożywanie różnorodnych posiłków, które zawierają duże ilości warzyw i owoców, sprawia, że do organizmu dostarczane są wszystkie substancje niezbędne dla jego prawidłowego funkcjonowania. Ważne jest również zapewnienie składników mineralnych, witamin i nienasyconych kwasów tłuszczowych, w tym kwasów omega-3. Ponadto należy ograniczyć spożywanie wysoko przetworzonej żywności bogatej w nasycone tłuszcze i cukry proste, ponieważ nadmiar tych związków w organizmie może prowadzić do nadwagi i rozwoju miażdżycy. Warto też unikać szkodliwych dodatków chemicznych oraz soli, której nadmiar ma ogromny wpływ na powstawanie nadciśnienia tętniczego.

W profilaktyce chorób układu krążenia istotną rolę odgrywa także regularne wykonywanie **badań profilaktycznych**. Pozwalają one kontrolować stan zdrowia organizmu i szybko zareagować na pierwsze objawy choroby.



Częsta aktywność fizyczna i zbilansowana dieta to najważniejsze czynniki zdrowego trybu życia, które zapewniają właściwe funkcjonowanie układu krążenia.

Badania krwi

Badania krwi pozwalają na wykrycie ewentualnych nieprawidłości w jej składzie. W ten sposób można zdiagnozować wiele chorób, a także monitorować ich przebieg i ocenić skuteczność stosowanej terapii, co jest szczególnie ważne w przewlekłych schorzeniach. Dodatkowo DNA wyizolowany z leukocytów może być wykorzystywany m.in. w diagnostyce chorób genetycznych oraz w kryminalistyce, np. podczas badania śladów biologicznych pozostawionych przez przestępców.

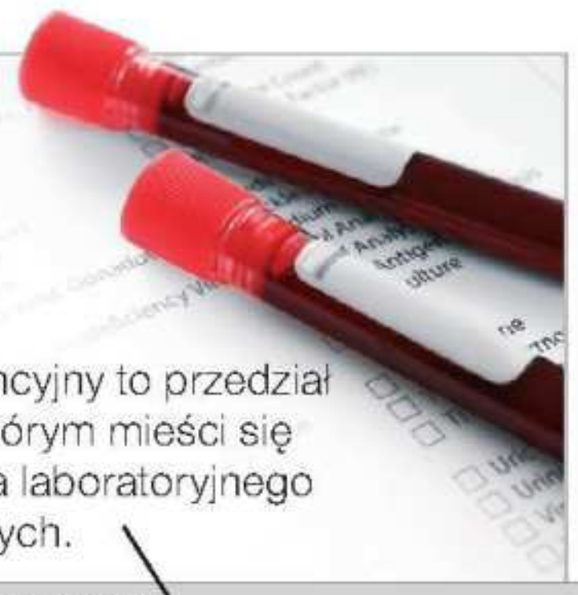
Ponadto badania krwi służą m.in. do:

- określania stężenia różnych substancji, w tym hormonów i przeciwciał,
- wykrywania w organizmie związków obcego pochodzenia, np. toksyn czy narkotyków,
- oznaczania markerów nowotworowych, czyli związków, których obecność lub podwyższony poziom sygnalizuje rozwój choroby nowotworowej.

Najczęściej wykonywanym badaniem krwi jest jej **morfologia**.

Jak odczytać wyniki morfologii krwi i lipidogramu?

Morfologia krwi to badanie diagnostyczne, które pozwala na ilościową i jakościową analizę elementów morfotycznych krwi (układu białokrwinkowego, układu czerwonokrwinkowego i płytek krwi). Z kolei lipidogram służy do ilościowej oceny frakcji cholesterolu i trójglicerydów we krwi.



Zakres referencyjny to przedział wartości, w którym mieści się wynik badania laboratoryjnego u osób zdrowych.

Układ białokrwinkowy – dotyczy leukocytów. Ich podwyższona liczba (leukocytoza) może świadczyć o infekcji lub stanie zapalnym, a obniżona (leukopenia) – m.in. o przewlekłym stresie lub chorobach szpiku kostnego.

Układ czerwonokrwinkowy – dotyczy erytrocytów. Wszystkie jego parametry analizuje się łącznie, ponieważ informacje o nich się uzupełniają. Na przykład niski hematokryt (stosunek krwinek do całej objętości krwi), zmniejszona liczba erytrocytów oraz obniżona zawartość hemoglobiny najczęściej świadczą o anemii.

Płytki krwi – najczęściej ocenia się liczebność płytek w stosunku do objętości krwi. Wyniki, które nie są w normie, mogą świadczyć o problemach związanych z krzepliwością krwi.

Lipidogram – cholesterol we krwi występuje w dwóch formach. HDL-cholesterol (tzw. dobry cholesterol) jest transportowany do wątroby, gdzie zostaje przetworzony. LDL-cholesterol (tzw. zły cholesterol), gdy występuje w nadmiarze, odkłada się w ścianach naczyń krwionośnych i bierze udział w tworzeniu blaszki miażdżycowej.

Hematologia			
Nazwa badania	**Wynik badania**		**Zakres referencyjny**
Materiał: Krew EDTA, data i godzina pobrania: nie podano, data i godzina przyjęcia: 18-01-2020 12:50			
[C55] Morfologia analizator 5 diff			
Krwinki białe (WBC)	**8,50**	**G/l**	3,50–10,00
Liczba neutrofili	**6,80**	**G/l**	1,80–7,70
Liczba limfocytów	**2,66**	**G/l**	1–5
Liczba monocytów	**0,70**	**G/l**	<0,8
Liczba eozynofili	**0,09**	**G/l**	<0,45
Liczba bazofili	**0,08**	**G/l**	<0,2
Krwinki czerwone (RBC)	**4,50**	**T/l**	3,50–5,00
Hemoglobina	**13,45**	**g/dl**	12,0–16,0
Hematokryt	**40**	**%**	37,0–47,0
MCV	**95,6**	**fl**	83,0–103,0
MCH	**31,1**	**pg**	28,0–34,0
MCHC	**33**	**g/dl**	31,0–35,0
RDW-CV	**13**	**%**	11,5–14,5
Płytki krwi	**257**	**G/l**	125–400
MPV	**13**	**%**	11,5–14,5
Lipidogram			
Cholesterol	**191**	**mg/dl**	150–200
Cholesterol HDL	**49**	**mg/dl**	40,00–80,00
Chol. LDL – wyliczany	**126**	**mg/dl**	80–135
Trójglicerydy	**78**	**mg/dl**	40,00–180,00
HDL do chol. całk.	**26**	**%**	

Metody diagnostyczne chorób układu krążenia

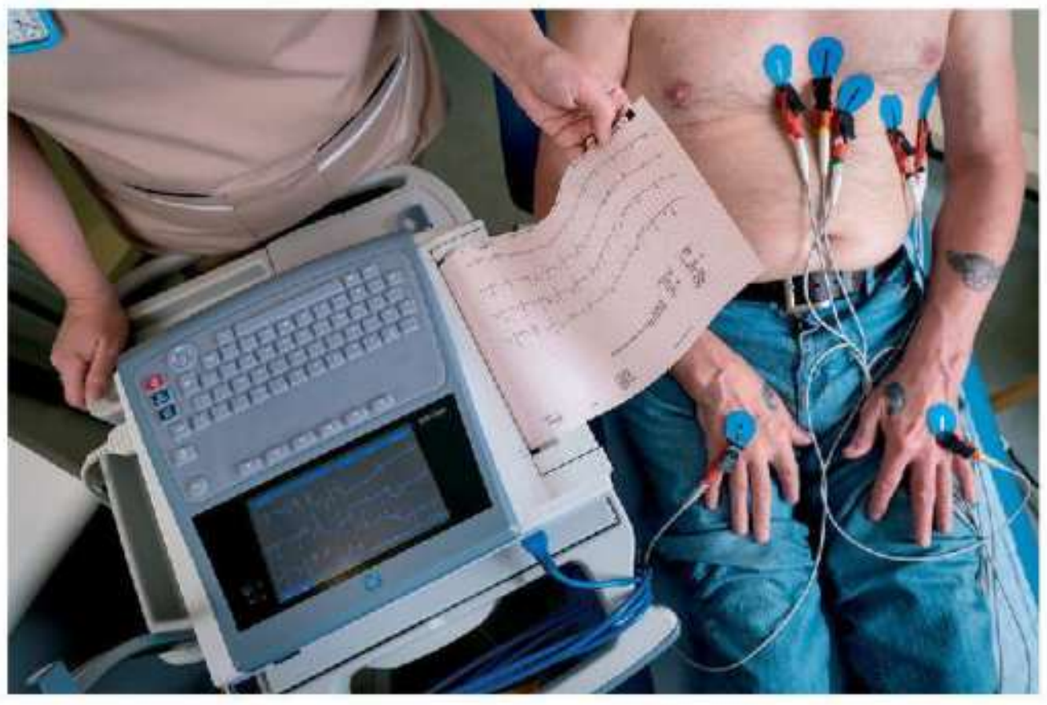
W diagnostyce chorób układu krążenia wykorzystuje się zarówno metody nieinwazyjne, np. pomiar ciśnienia krwi, EKG, badanie Holtera, USG dopplerowskie czy USG serca, jak i metody inwazyjne, np. angiokardiografię.

Pomiar ciśnienia krwi

Regularne monitorowanie ciśnienia krwi jest podstawowym badaniem pozwalającym na wczesne wykrycie nieprawidłowości w funkcjonowaniu układu krążenia. Pomiar ciśnienia krwi może być wykonywany w domu za pomocą ciśnieniomierza automatycznego. Gdy ciśnienie krwi jest stale podwyższone, mówi się o nadciśnieniu. Może ono doprowadzić nawet do zagrożenia życia, np. niewydolności mięśnia sercowego lub nerek. Z kolei niedociśnienie, czyli zbyt niskie ciśnienie krwi, prowadzi m.in. do bólów i zawrotów głowy, senności, osłabienia oraz trudności w koncentracji.

Elektrokardiografia (EKG)

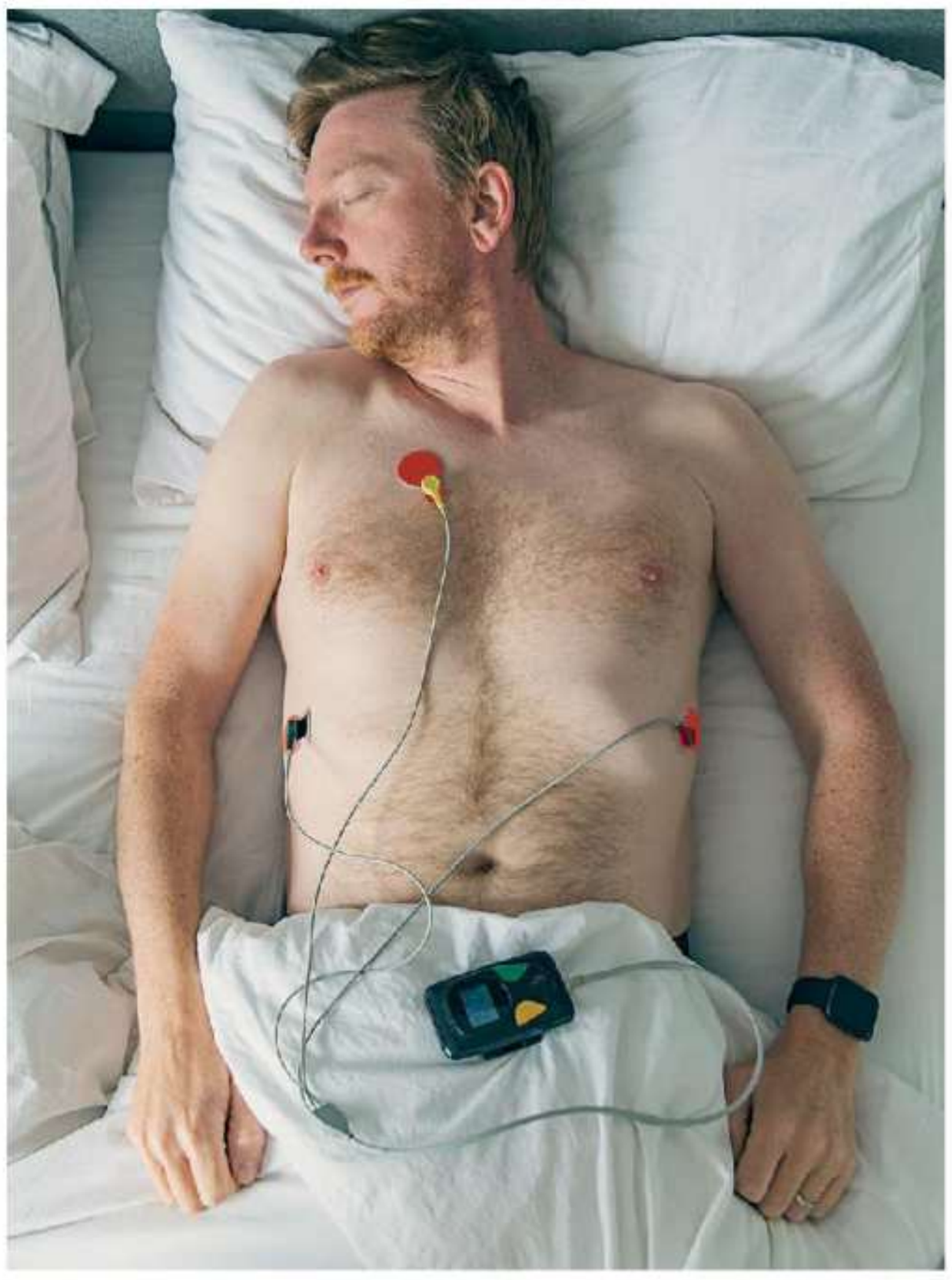
Elektrokardiografia jest badaniem, dzięki któremu można ocenić czynność elektryczną serca. Aby je wykonać, na klatce piersiowej i kończynach pacjenta umieszcza się elektrody, które zbierają informacje o zmianach potencjałów elektrycznych w sercu (jego elektrycznej pracy) i dają zapis w postaci wykresu. Wykres składa się z powtarzających się sekwencji, odpowiadających etapom cyklu pracy serca.



Analiza EKG pozwala ocenić funkcjonowanie serca.

Badanie Holtera

Monitorowanie pracy serca metodą Holtera polega na całodobowym rejestrowaniu zapisu EKG lub wartości ciśnienia krwi pacjenta. W odróżnieniu od innych metod diagnostycznych badanie to pokazuje pracę serca zarówno podczas wykonywania typowych, codziennych czynności, jak i podczas snu. Uzyskane w ten sposób informacje można wykorzystać nie tylko w diagnostyce chorób układu krążenia, lecz także w ocenie skuteczności zastosowanego już leczenia.



Podczas badania Holtera urządzenie, które rejestruje rytm pracy serca lub ciśnienie krwi w ciągu doby, umieszcza się na ciele pacjenta.

USG dopplerowskie

Badanie to przeprowadza się za pomocą aparatu USG. Wykorzystuje się w nim tzw. efekt Dopplera – głowica aparatu wysyła fale ultradźwiękowe, które ulegają odbiciu od poruszających się elementów morfotycznych krwi. Aparat rejestruje zmiany częstotliwości odbitych fal i przedstawia dane w postaci obrazu. USG dopplerowskie pozwala ocenić jakość przepływu krwi, a pośrednio – stan naczyń krwionośnych, głównie tętnic i żył. Z tego powodu wykonuje się je przede wszystkim u pacjentów ze zmianami miażdżycowymi oraz przy podejrzeniu zatorów (zakrzepów krwi w obrębie naczyń krwionośnych) oraz tętniaków. Dzięki temu można zapobiec m.in. zawałom serca, zatorowości płucnej czy udarom mózgu.



USG dopplerowskie jest często wykonywane w diagnostyce żylaków.

Angiokardiografia

Angiokardiografia jest inwazyjną, obrazową metodą diagnostyczną, która służy do badania jam serca, aorty i naczyń wieńcowych. Badanie to jest najczęściej wykonywane z użyciem promieni rentgenowskich. Polega na wprowadzeniu do jam serca i naczyń krwionośnych specjalnego cewnika, przez który podaje się tzw. kontrast. Jest to substancja pochłaniająca promieniowanie rentgenowskie bardziej niż otaczające ją tkanki. Kiedy wypełni serce lub naczynia, można zobaczyć ich kształt. Angiokardiografia pozwala na rozpoznanie m.in. choroby niedokrwiennej serca, spowodowanej miażdżycą naczyń wieńcowych, czy wad w budowie i funkcjonowaniu zastawek serca (np. zwężenie zastawek, niedomykalność zastawek).



Angiokardiografia pozwala na wykrycie zmian w budowie i czynnościach serca.

Echokardiografia (USG serca)

Echokardiografia, czyli echo serca, to technika diagnostyczna, w której wykorzystuje się urządzenie USG dające możliwość pomiaru przepływu krwi przez serce. Badanie to pozwala ocenić pracę serca (skurcz mięśnia i ruch zastawek) oraz jego budowę (m.in. wielkość i grubość ścian). Dzięki technice 3D można też ocenić przestrzenną strukturę serca, co pozwala np. na lepsze przygotowanie pacjenta do operacji.



Dzięki echokardiografii można wykryć nieprawidłowości w budowie i pracy serca.

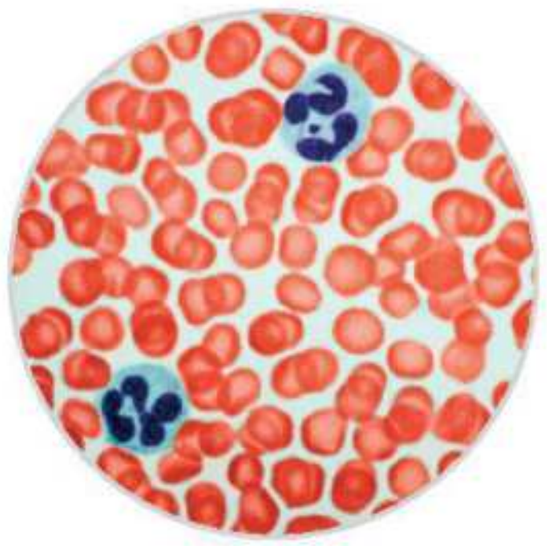
☑ Choroby układu krążenia

Anemia (niedokrwistość)

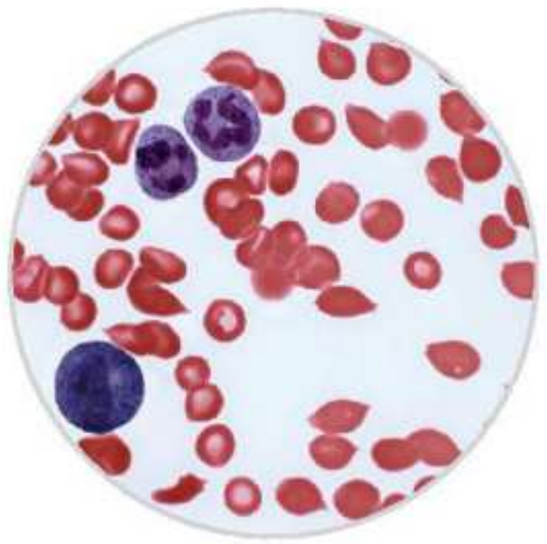
Anemia to zespół objawów chorobowych spowodowanych zmniejszeniem liczby erytrocytów we krwi oraz obniżeniem stężenia hemoglobiny poniżej wartości optymalnych dla organizmu.

- **Przyczyny:** zróżnicowane. Anemia może być spowodowana:
  – niedostateczną produkcją erytrocytów,
  – nadmiernym niszczeniem erytrocytów,
  – zbyt dużą utratą erytrocytów (np. na skutek krwotoku).

  Najczęściej zaburzenia wytwarzania hemoglobiny lub erytrocytów wynikają z niedoboru żelaza, witaminy B_{12} i kwasu foliowego.
- **Profilaktyka:** spożywanie pokarmów bogatych w żelazo i witaminę B_{12}, takich jak mięso i jaja. Przeprowadzanie okresowych badań krwi.



Krew osoby zdrowej (obraz spod mikroskopu optycznego).



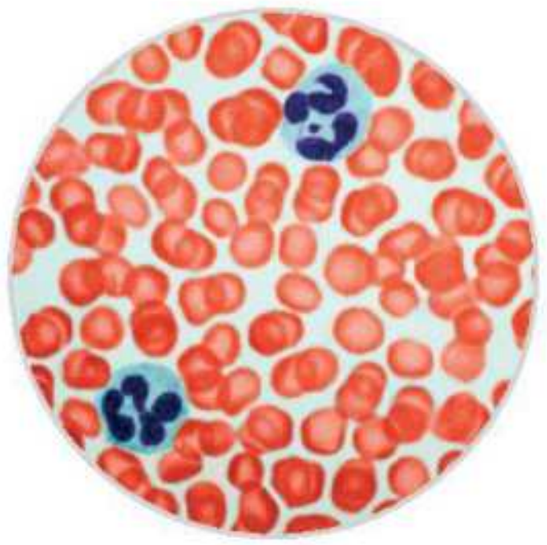
Krew osoby chorej na anemię (obraz spod mikroskopu optycznego).

Białaczki

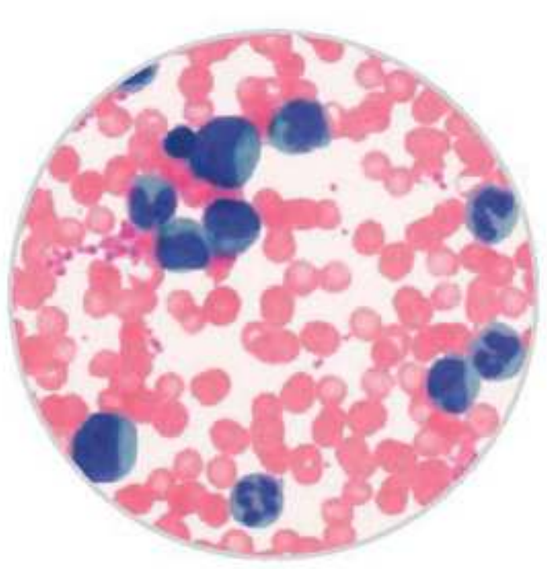
Białaczki to grupa chorób nowotworowych narządów krwiotwórczych. Często jedyną metodą wyleczenia białaczki jest przeszczepienie szpiku kostnego, czyli zastąpienie szpiku osoby chorej komórkami szpiku zdrowego dawcy.

- **Przyczyny:** zmiany w materiale genetycznym komórek szpiku kostnego, które prowadzą do nadmiernego wytwarzania i nieprawidłowego dojrzewania białych krwinek.

  Czynniki ryzyka:
  – czynniki genetyczne,
  – zakażenia wirusowe,
  – obniżenie odporności,
  – wpływ promieniowania jonizującego lub niektórych substancji chemicznych.
- **Profilaktyka:** unikanie czynników mutagennych (np. promieniowania jonizującego), przeprowadzanie okresowych badań krwi.



Krew osoby zdrowej (obraz spod mikroskopu optycznego).



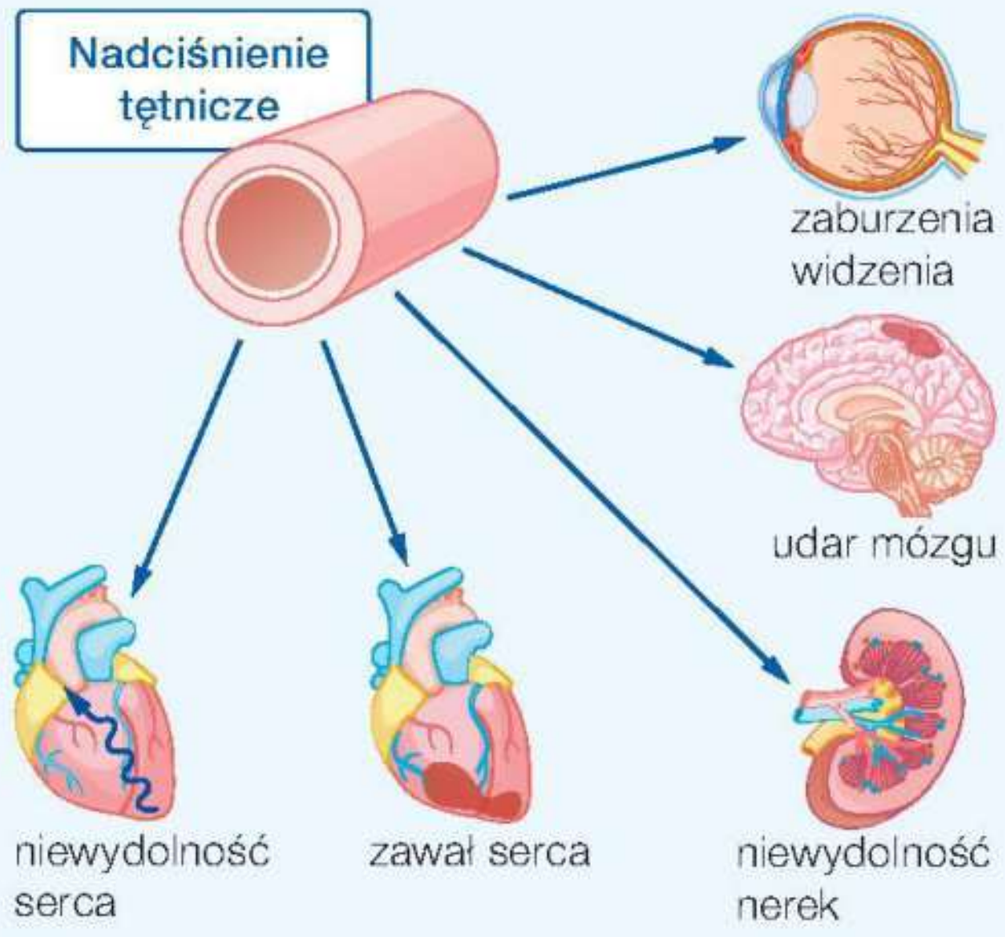
Krew osoby chorej na białaczkę (obraz spod mikroskopu optycznego). Widoczne są liczne leukocyty.

Nadciśnienie tętnicze

Nadciśnienie tętnicze występuje wtedy, gdy stale utrzymuje się zbyt wysokie ciśniecie krwi: skurczowe powyżej 140 mm Hg, a rozkurczowe – powyżej 90 mm Hg.

- **Przyczyny:** zbyt szybkie pompowanie krwi do naczyń krwionośnych lub zwężenie i mała elastyczność naczyń, wywołane np. miażdżycą tętnic.
- **Profilaktyka:** niskokaloryczna dieta z małą ilością soli, unormowany tryb życia pozbawiony czynników stresujących, systematyczna aktywność fizyczna, regularne pomiary ciśnienia krwi, unikanie palenia papierosów i picia alkoholu.
- **Objawy:** zawroty i bóle głowy, krwawienie (np. z nosa), płytki oddech.

Diagnostyka:
– regularne pomiary ciśnienia krwi.



Skutki nadciśnienia tętniczego.

Żylaki

Żylaki to widoczne przez skórę, podłużne, często powykręcane, wybrzuszone żyły. Najczęściej występują na podudziach, mogą też występować w odbycie, przełyku i żołądku.

- **Przyczyny:** utrudniony przepływ krwi w żyłach, prowadzący do wiotczenia ich ścian. Wpływa to na poszerzenie średnicy naczyń krwionośnych i niewydolność zastawek żylnych, w wyniku czego krew cofa się i zalega w naczyniach, a żylaki się powiększają. Proces ten jest spowodowany najczęściej siedzącym trybem życia, nadwagą lub nadmiernym wysiłkiem fizycznym.
- **Profilaktyka:** niskokaloryczna dieta, częste spacery, gimnastyka, unikanie gorących kąpieli i sauny.
- **Objawy:** opuchlizna, wypukłe i poskręcane żyły, palący ból, uczucie ciężkości nóg, bolesne skurcze mięśni.

Diagnostyka:
– USG dopplerowskie naczyń krwionośnych,
– angiografia, czyli prześwietlenie rentgenowskie z użyciem wprowadzonego do żył kontrastu.



Prawidłowe żyły.



Żylaki.

Te choroby warto znać

Miażdżyca

Miażdżyca jest jedną z najczęstszych przewlekłych chorób układu krążenia. Jej stopniowy rozwój prowadzi do niedokrwienia różnych narządów.

- **Przyczyny:** uszkodzenie śródbłonka naczyń krwionośnych. W miejscu uszkodzenia osadzają się złogi związków tłuszczowych (głównie cholesterolu) i wapnia w postaci tzw. blaszki miażdżycowej. Blaszka zwęża światło naczynia i zmniejsza jego elastyczność, co utrudnia przepływ krwi. Gdy blaszka uszkodzi naczynie krwionośne, powstaje zakrzep, który może zablokować przepływ krwi.
- **Profilaktyka:** zdrowy styl życia: systematyczna aktywność fizyczna, odpowiednia dieta uboga w cholesterol, niepalenie papierosów.
- **Objawy:** ból w klatce piersiowej, zadyszka, zawroty głowy, zimne ręce i stopy, problemy z pamięcią.

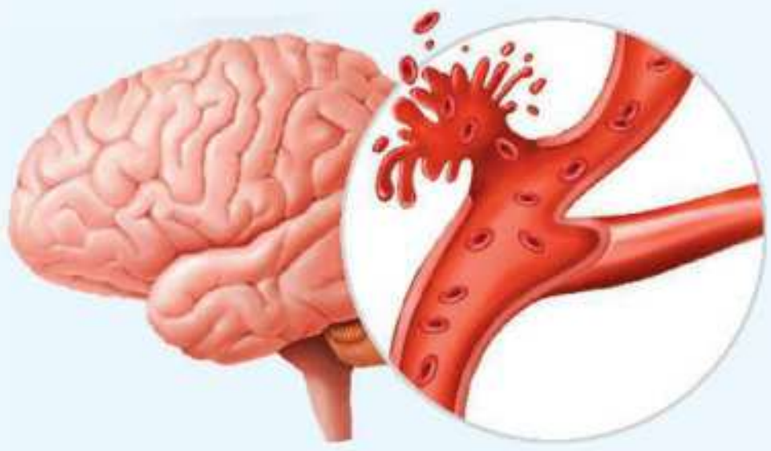


Porównanie przepływu krwi w naczyniach krwionośnych u osoby zdrowej i u osoby chorej na miażdżycę.

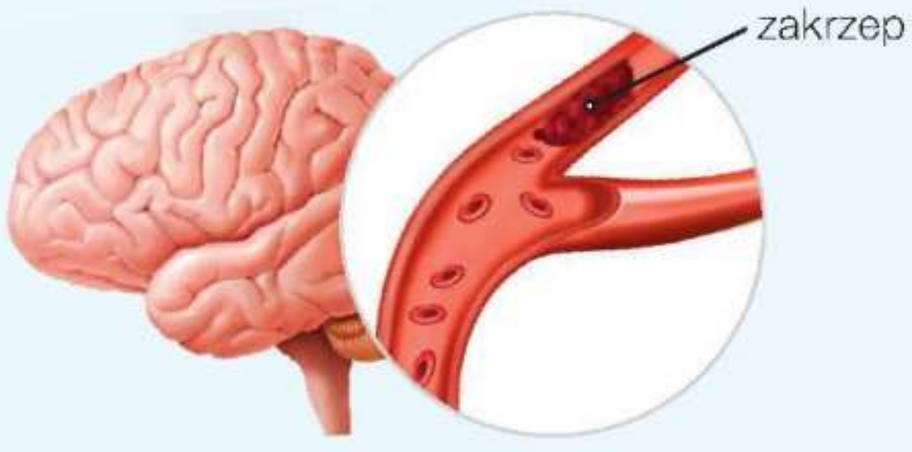
Diagnostyka:
- badania krwi (lipidogram),
- USG dopplerowskie naczyń krwionośnych,
- angiografia.

Udar mózgu

Udar mózgu jest chorobą naczyniową, która polega na uszkodzeniu mózgu i obumarciu jego fragmentów z powodu miejscowych zaburzeń krążenia krwi. Wyróżnia się dwa główne typy udaru: udar krwotoczny i udar niedokrwienny.



Udar krwotoczny powstaje wtedy, gdy dochodzi do pęknięcia ściany tętnicy w mózgu i wylewu krwi poza tętnicę (tzw. wylew). Wypływająca krew niszczy sąsiednie tkanki.



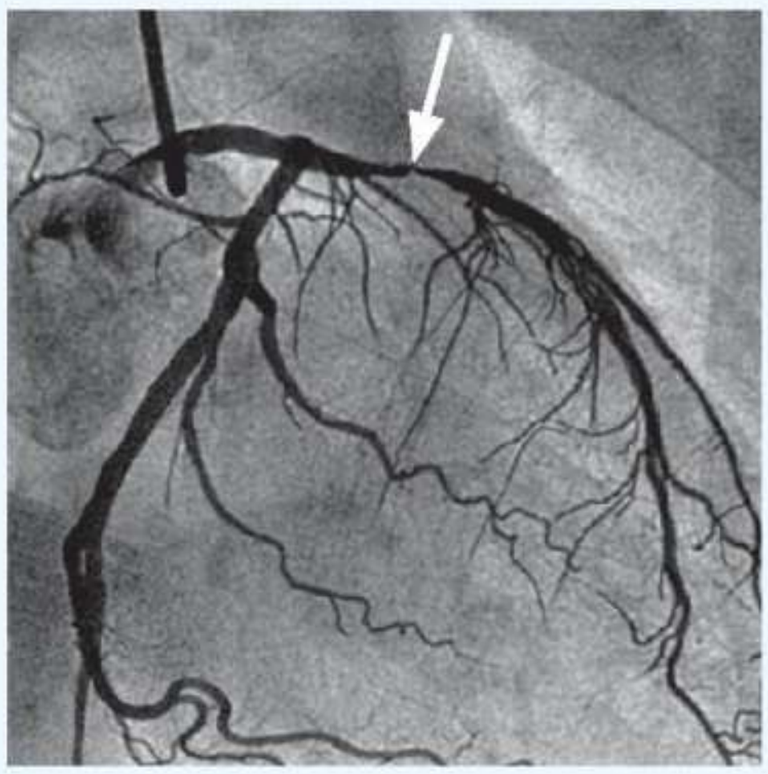
Udar niedokrwienny powstaje wtedy, gdy dochodzi do niedrożności tętnic w mózgu, wynikającej np. z obecności zakrzepu. Powoduje to niedotlenienie części mózgu.

- **Przyczyny:** złożone. Na występowanie udaru mają wpływ inne choroby (np. miażdżyca, choroby serca, cukrzyca czy nadciśnienie) oraz nadużywanie alkoholu i palenie papierosów.
- **Profilaktyka:** zdrowy styl życia: stała aktywność fizyczna, ograniczenie używek.
- **Objawy:** uczucie ciężkich kończyn, zaburzenia widzenia, asymetria twarzy, zaburzenia mowy.

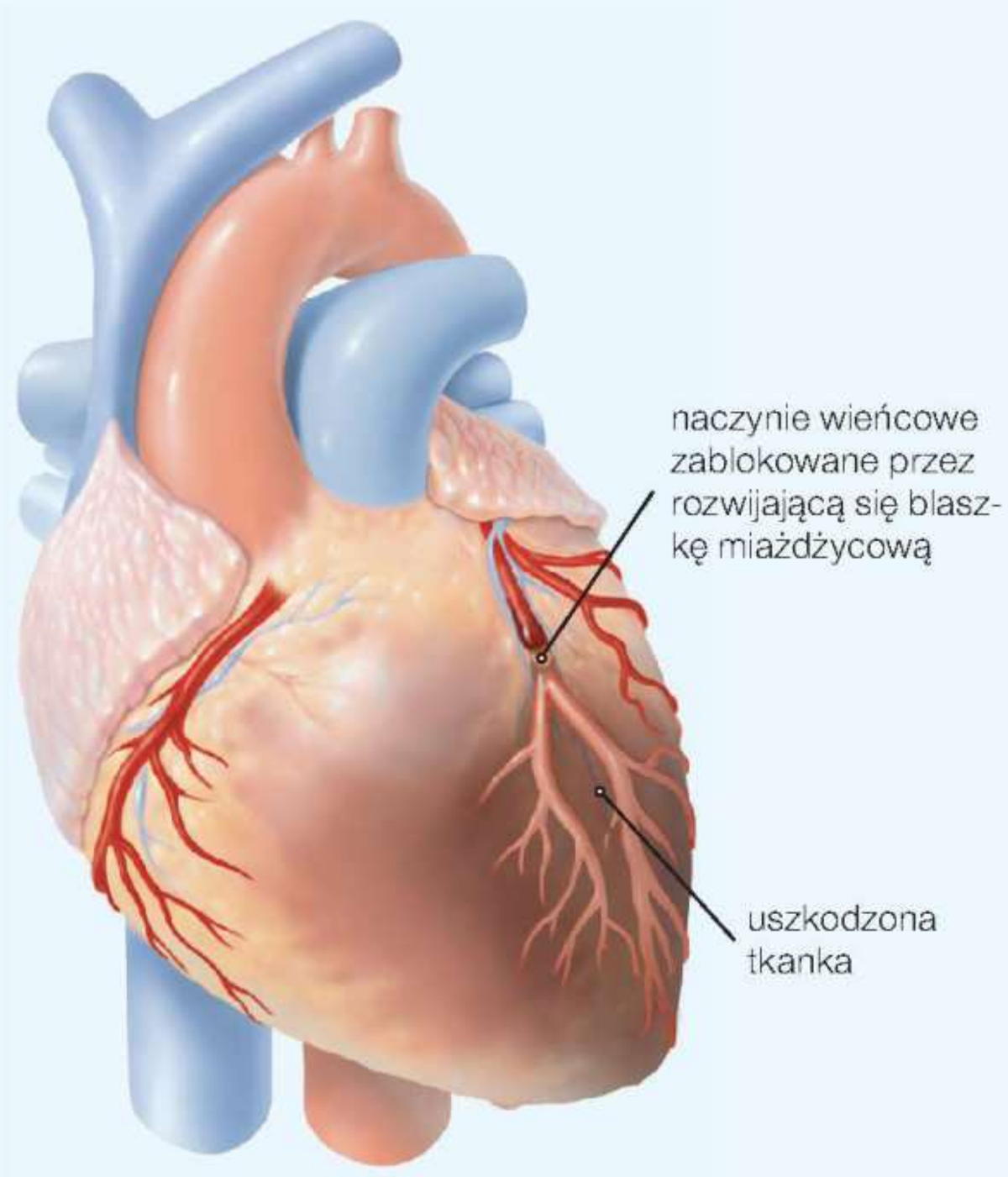
Diagnostyka:
- rezonans magnetyczny,
- tomografia komputerowa,
- angiografia tętnic mózgowych.

Choroba wieńcowa i zawał serca

Choroba wieńcowa, nazywana również chorobą niedokrwienną serca, polega na niedostatecznym ukrwieniu serca w wyniku zwężenia naczyń wieńcowych. Najczęściej ma ona podłoże miażdżycowe. Blaszka miażdżycowa, która rozwija się w naczyniach wieńcowych, stopniowo tamuje przepływ krwi transportującej tlen i substancje odżywcze do tkanek serca. Może to prowadzić do całkowitego zahamowania przepływu krwi, czego efektem jest martwica tkanek leżących za miejscem blokady. Taki stan chorobowy nazywa się **zawałem serca**. Choroba wieńcowa może prowadzić również do zaburzeń rytmu pracy serca, np. do migotania przedsionków.



Angiografia naczyń wieńcowych (koronarografia) pozwala ocenić przepływ krwi przez tętnice wieńcowe. Na fotografii strzałką oznaczono zwężenie w jednym z naczyń wieńcowych.



W wyniku zawału serca dochodzi do trwałego uszkodzenia i martwicy mięśnia sercowego. Zniszczona tkanka mięśniowa jest zastępowana przez tkankę łączną – tworzy się tzw. blizna pozawałowa, a efektywność skurczów serca ulega trwałemu zmniejszeniu.

Diagnostyka:
- badanie krwi,
- regularne pomiary ciśnienia krwi,
- EKG i USG serca,
- echokardiografia,
- angiografia.

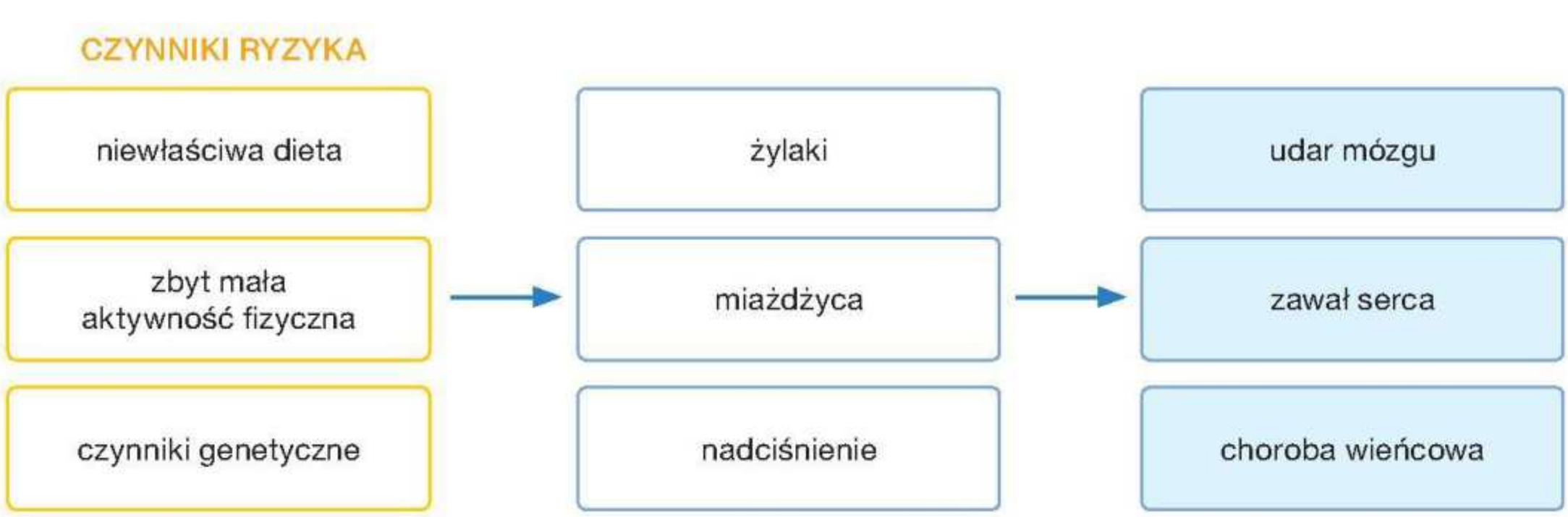
- **Przyczyny:** najczęściej niewłaściwy styl życia prowadzący do miażdżycy, czynniki genetyczne (występowanie zawałów serca w rodzinie).
- **Profilaktyka:** regularna aktywność fizyczna, ograniczenie spożywania nasyconych kwasów tłuszczowych i cukrów prostych, niepalenie papierosów, dieta bogata w witaminy i mikroelementy.
- **Objawy zawału serca:** ból w klatce piersiowej, skrócony oddech, nudności lub wymioty, zmęczenie, zimne poty, uczucie podobne do zgagi, zawroty głowy, uczucie mrowienia (np. w plecach, szyi lub szczęce), sinienie rąk, stóp i warg.

Rozwój chorób układu krążenia

Czynniki genetyczne w połączeniu z zaniedbywaniem podstawowych zasad zdrowego stylu życia mogą prowadzić do rozwoju chorób układu krążenia. Zachodzi wówczas efekt domina: pojawienie się jednej choroby przyczynia się do powstania kolejnej. W pierwszej kolejności rozwijają się żylaki, miażdżyca i nadciśnienie tętnicze. Schorzenia te znacznie obniżają jakość życia i powodują liczne dolegliwości. Jednocześnie poprzedzają choroby, które stanowią bezpośrednie zagrożenie dla życia człowieka – chorobę wieńcową, zawał serca czy udar mózgu.



Zatrzymanie efektu domina i niedopuszczenie do rozwoju chorób układu krążenia jest możliwe dzięki zdrowej diecie i regularnej aktywności fizycznej.



Czynniki ryzyka a rozwój kolejnych chorób układu krążenia.

Dowiedz się więcej

Sepsa

Sepsa (posocznica) to zagrażająca życiu dysfunkcja narządowa. Wywołuje ją ogólnoustrojowa reakcja zapalna, która jest powikłaniem po przebytym zakażeniu. W wyniku sepsy może dojść do niewydolności wielonarządowej, a nawet do śmierci. Sepsie towarzyszy często zakażenie krwi bakteriami, wirusami lub grzybami. Do czynników ryzyka wystąpienia sepsy zalicza się m.in. obecność odleżyn i ran, zabiegi operacyjne oraz podeszły wiek pacjenta. Leczenie sepsy jest trudne, ponieważ zakażenie postępuje bardzo szybko. Chorym podawane są silne antybiotyki.

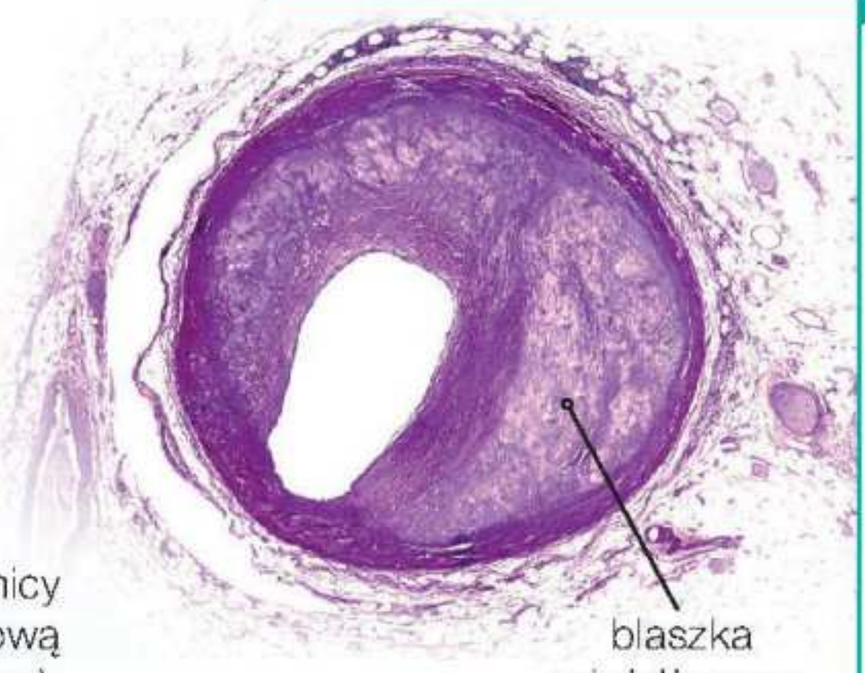


Bakterie namnażające się we krwi człowieka są jedną z przyczyn rozwoju sepsy (obraz spod SEM).

Biologia w **medycynie**

Leczenie miażdżycy naczyń wieńcowych

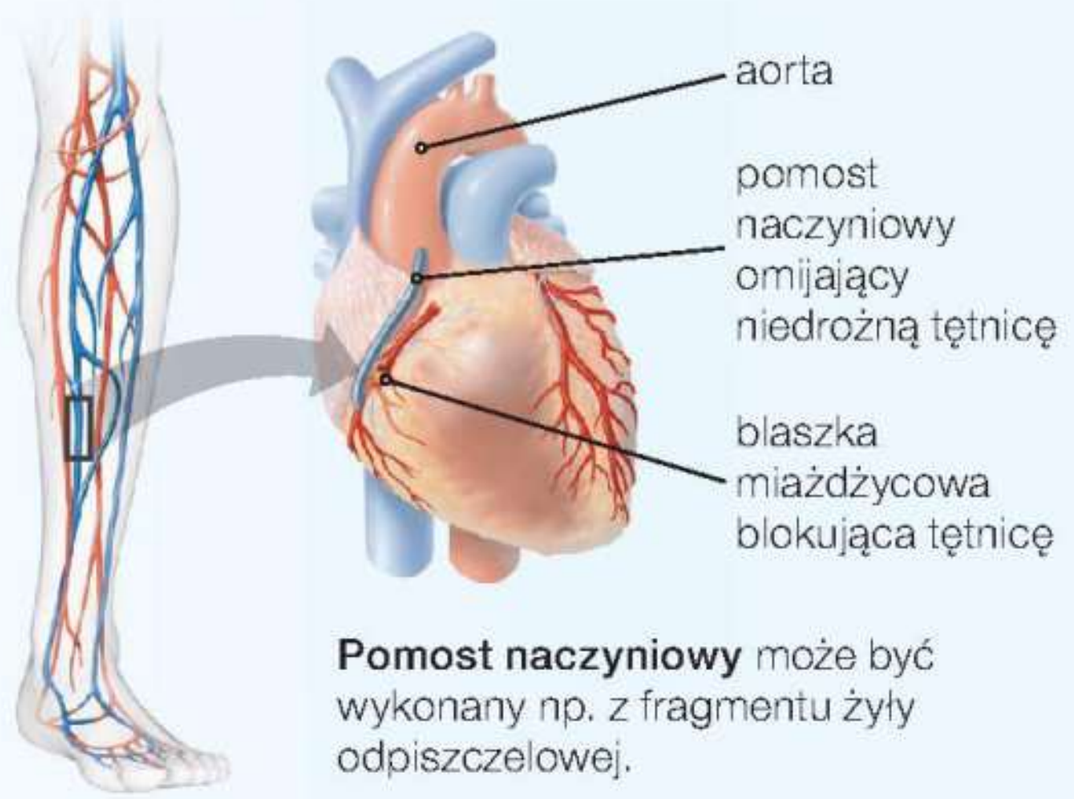
Naczynia wieńcowe zaopatrują mięsień sercowy w tlen i substancje odżywcze. Miażdżyca powoduje zmniejszenie ich drożności, co z czasem może doprowadzić do rozwoju choroby wieńcowej oraz do całkowitego zablokowania przepływu krwi w naczyniu i zawału serca. Istnieją jednak nowoczesne metody, które potrafią przywrócić przepływ krwi w sercu, m.in. wszczepianie pomostów naczyniowych i angioplastyka tętnic wieńcowych.



Tętnica wieńcowa o średnicy zmniejszonej przez blaszkę miażdżycową (obraz spod mikroskopu optycznego).

Wszczepianie pomostów naczyniowych

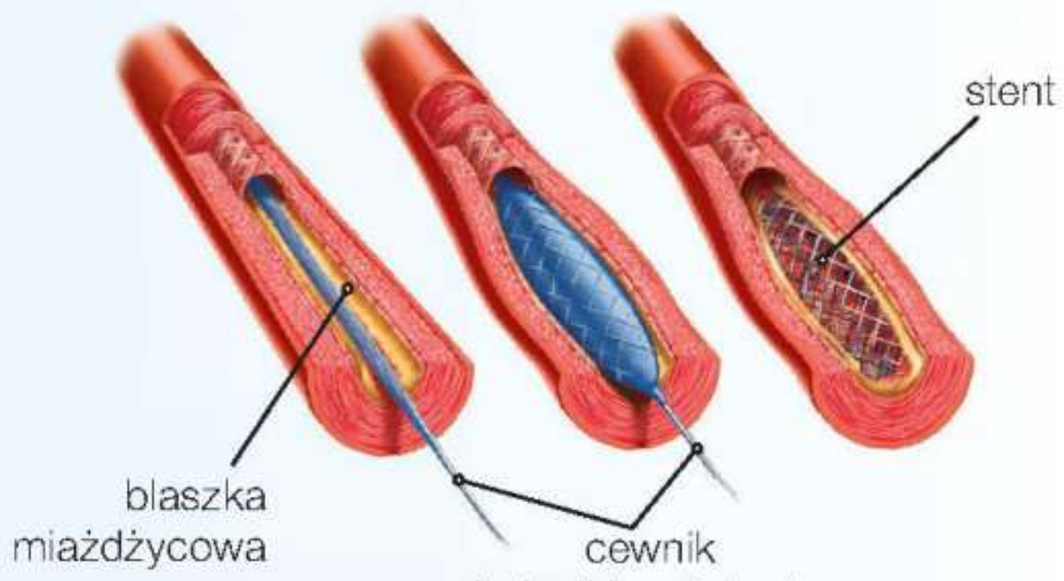
Operacja kardiochirurgiczna polegająca na stworzeniu połączenia między aortą a tętnicami wieńcowymi za pomocą **pomostów naczyniowych** (tzw. bajpasów), które omijają zwężone tętnice. Do wytworzenia pomostów wykorzystuje się fragmenty innych naczyń krwionośnych.



Pomost naczyniowy może być wykonany np. z fragmentu żyły odpiszczelowej.

Angioplastyka tętnic wieńcowych

Zabieg udrożniania tętnic wieńcowych, podczas którego do miejsca zwężenia wprowadza się cewnik wraz ze specjalnym balonikiem i **stentem** – metalową protezą naczyniową o strukturze siateczki. Balonik jest najpierw pompowany, co poszerza średnicę tętnicy i powoduje rozprężenie stentu, a następnie usuwany. Funkcją stentu jest wzmacnianie tętnicy i utrzymywanie jej drożności.



Etapy udrożniania tętnicy wieńcowej podczas angioplastyki.

Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij, w jaki sposób niewłaściwa dieta może doprowadzić do rozwoju chorób układu krążenia.
2. Określ, jakie metody należy zastosować w diagnostyce:
   a. choroby wieńcowej,
   b. anemii.
3. Wyjaśnij, czym różni się EKG od badania metodą Holtera.

6.7. Budowa i funkcje układu odpornościowego

Zwróć uwagę na:
- funkcje układu odpornościowego,
- elementy układu odpornościowego: narządy, tkanki, komórki i cząsteczki.

Człowiek nieustannie styka się z milionami **patogenów**[1], czyli drobnoustrojów chorobotwórczych. Należą do nich m.in. wirusy oraz pasożytnicze bakterie, grzyby i protisty. Niektóre patogeny nie wnikają do wnętrza organizmu, ponieważ dysponuje on wieloma barierami ochronnymi. Te, które zdołają wniknąć, zwiększają swoją liczebność, co prowadzi niekiedy do rozwoju **choroby**. Wniknięcie patogenu do organizmu gospodarza i jego powielenie się nosi nazwę **zakażenia** (infekcji). Mimo olbrzymiej liczby drobnoustrojów chorobotwórczych oraz ich powszechnego występowania ludzie chorują stosunkowo rzadko i zazwyczaj sami są w stanie pokonać chorobę. Dzieje się tak dzięki sprawnie funkcjonującemu układowi odpornościowemu. Podstawą działania **układu odpornościowego** jest zdolność rozpoznawania patogenów oraz odróżniania antygenów własnych od antygenów obcych. **Antygeny** to specyficzne cząsteczki chemiczne, które cechują się:

- **immunogennością**, czyli zdolnością wywoływania reakcji odpornościowej (odpowiedzi immunologicznej) skierowanej przeciwko sobie,
- **antygenowością**, czyli zdolnością swoistego wiązania się z przeciwciałami lub określonymi receptorami na powierzchni limfocytów T i B.

Do antygenów należą przede wszystkim białka lub polisacharydy znajdujące się na powierzchni komórek (np. bakterii) albo cząstek wirusowych. Mogą być nimi również toksyny wydzielane przez bakterie, grzyby lub inne organizmy.

Funkcje układu odpornościowego

Do podstawowych funkcji układu odpornościowego należą:

- rozpoznawanie patogenów i odróżnianie antygenów własnych od antygenów obcych,
- zwalczanie infekcji,
- usuwanie nieprawidłowych komórek własnego organizmu.

Elementy układu odpornościowego

Drobnoustroje chorobotwórcze mogą dostać się do każdego miejsca w organizmie, dlatego układ odpornościowy jest rozproszony. Tworzą go wszystkie narządy układu limfatycznego oraz wyspecjalizowane komórki biorące udział w reakcjach odpornościowych. Działanie komórek układu odpornościowego jest wspomagane przez różne cząsteczki chemiczne, m.in. przeciwciała.

Główny układ zgodności tkankowej

Jednym z podstawowych elementów układu odpornościowego jest główny układ zgodności tkankowej – MHC (ang. *major histocompatibility complex*). Tworzą go **antygeny zgodności tkankowej**, zwane również cząsteczkami MHC. W przypadku człowieka antygeny zgodności tkankowej określa się często mianem ludzkich antygenów leukocytarnych – HLA (ang. *human leukocyte antigens*).

Cząsteczki MHC należą do **glikoprotein błonowych** i dzielą się na dwie grupy: MHC klasy I oraz MHC klasy II. MHC klasy I występują na powierzchni wszystkich jądrzastych komórek ciała, a także na powierzchni erytrocytów. Z kolei MHC klasy II występują na powierzchni

[1] **Patogeny** – w szerszym znaczeniu są to wszystkie czynniki chorobotwórcze, czyli czynniki: biologiczne, chemiczne, fizyczne, genetyczne i społeczne.

niektórych komórek układu odpornościowego, zwanych **komórkami prezentującymi antygen** (APC, ang. *antigen presenting cells*).

Jedną z funkcji cząsteczek MHC jest wiązanie obcych antygenów i prezentowanie ich limfocytom T. Dzięki temu następuje uruchomienie reakcji odpornościowej, skierowanej przeciwko prezentowanym antygenom.

Każda osoba ma charakterystyczny zestaw cząsteczek MHC na powierzchni komórek, a jej układ odpornościowy traktuje cząsteczki MHC pochodzące od innej osoby jako antygeny przeznaczone do likwidacji. Dlatego antygeny zgodności tkankowej są również odpowiedzialne za odrzucanie przeszczepów tkanek i narządów.

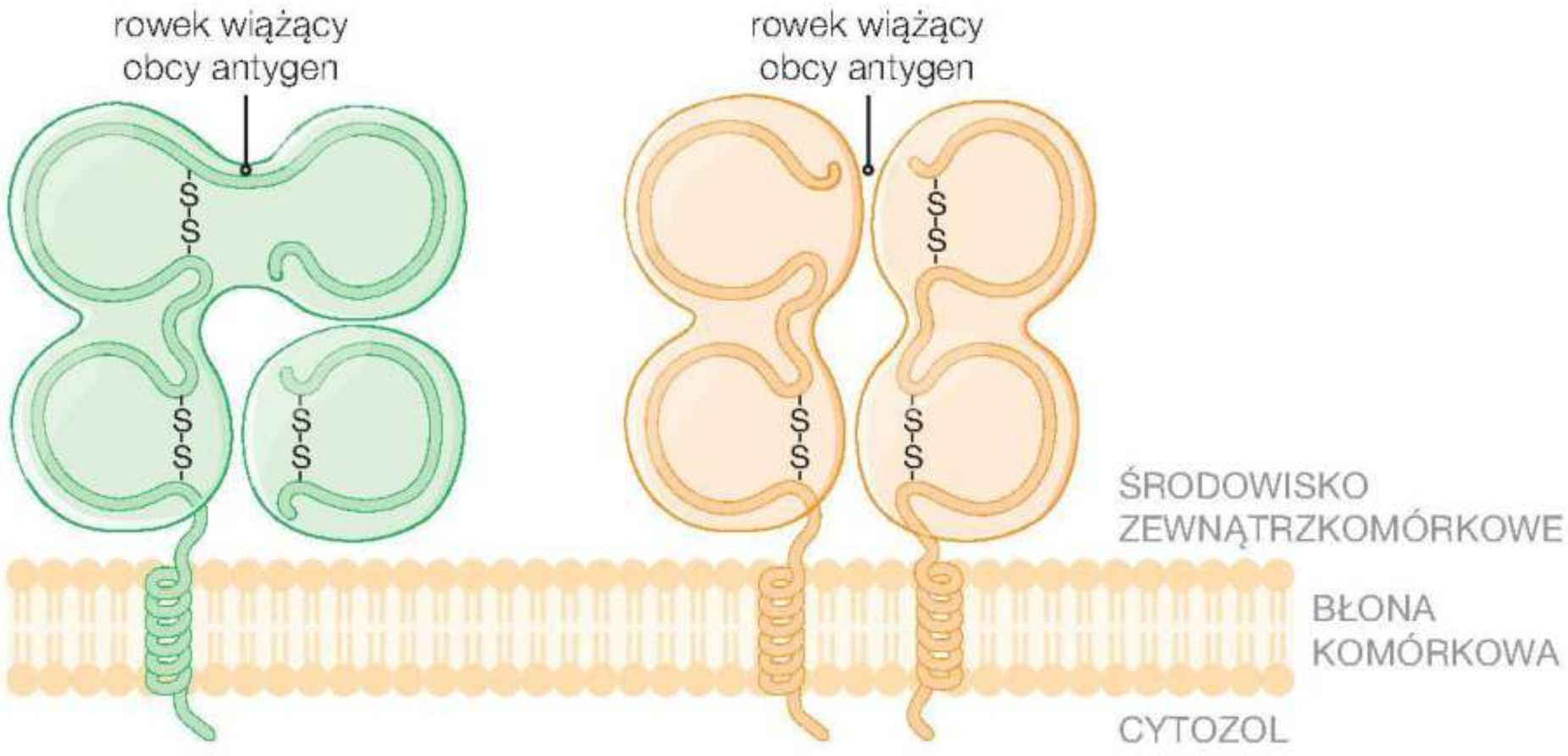
Tkanki i narządy układu odpornościowego

Do tkanek i narządów układu odpornościowego należą m.in.:

- **szpik kostny czerwony** – jest miejscem powstawania wszystkich komórek układu odpornościowego. Ponadto dojrzewają w nim limfocyty B produkujące przeciwciała. W trakcie dojrzewania limfocytów B zachodzi ich selekcja. Ma ona na celu wyodrębnienie tych komórek, które wytwarzają przeciwciała o prawidłowym kształcie i nie reagują na antygeny własne organizmu;
- **grasica** – dojrzewają w niej limfocyty T. W trakcie dojrzewania limfocytów T odbywa się ich selekcja polegająca na wyodrębnieniu tych komórek, które rozpoznają obce antygeny połączone z cząsteczkami MHC i nie reagują na antygeny własne organizmu;
- **śledziona** – niszczy zużyte krwinki i płytki krwi. Zachodzą w niej także reakcje odpornościowe przeciwko obcym cząsteczkom, które znalazły się we krwi;
- **węzły chłonne** – filtrują limfę, dzięki czemu zatrzymują i neutralizują patogeny. W węzłach chłonnych namnażają się limfocyty T i B. Występują w nich także przeciwciała;
- **grudki chłonne i migdałki** – bronią organizm przed zakażeniami drogą oddechową i drogą pokarmową. Są miejscem zatrzymywania i namnażania się limfocytów.

Antygeny MHC

Antygeny zgodności tkankowej (MHC) znajdują się m.in. na powierzchni komórek odpornościowych. Ich szczytowa część zawiera tzw. rowek wiążący peptyd, który jest miejscem wiązania i prezentacji obcego antygenu.



MHC klasy I wiążą tzw. antygeny wewnętrzne, czyli antygeny pochodzące z wnętrza komórek. Należą do nich m.in. białka wirusowe i nowotworowe.

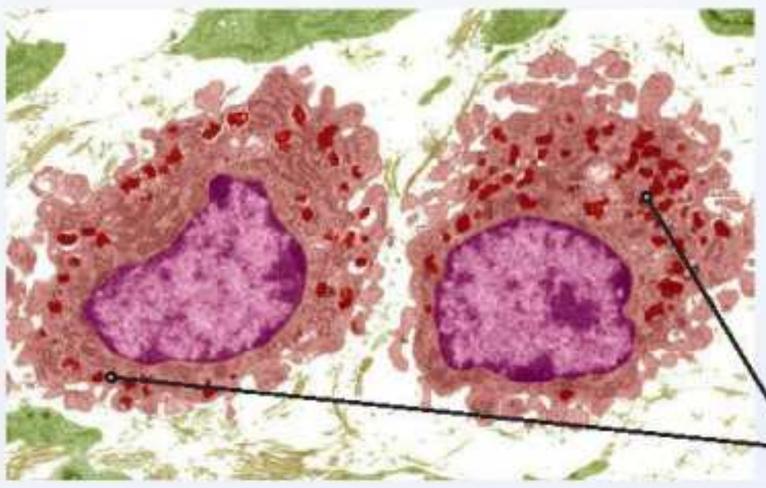
MHC klasy II wiążą tzw. antygeny zewnętrzne, czyli antygeny pochodzące spoza wnętrza komórek. Należą do nich m.in. białka pasożytniczych bakterii i protistów.

Komórki układu odpornościowego

Komórki układu odpornościowego występują w obrębie różnych narządów, krążą wraz z krwią i limfą lub przemieszczają się w płynie tkankowym między narządami. Szczególnie licznie występują w miejscach graniczących ze środowiskiem zewnętrznym, np. w układach pokarmowym oraz oddechowym.



Wszystkie komórki układu odpornościowego powstają w szpiku kostnym czerwonym (obraz spod SEM).

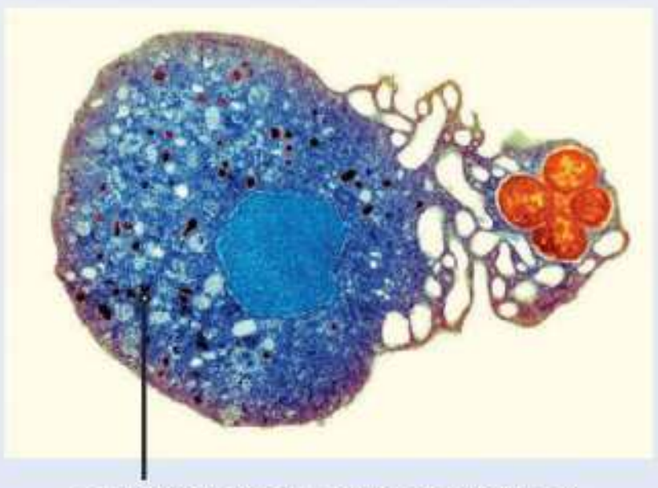


Makrofagi

Są to komórki żerne, które mają w cytoplazmie liczne lizosomy zawierające enzymy hydrolityczne. Makrofagi powstają zwykle z monocytów, a następnie przenikają z naczyń krwionośnych do okolicznych tkanek. Tam wyszukują patogeny, które niszczą przez fagocytozę. **Należą do komórek prezentujących antygen.**

Granulocyty – komórki z ziarnistościami w cytoplazmie

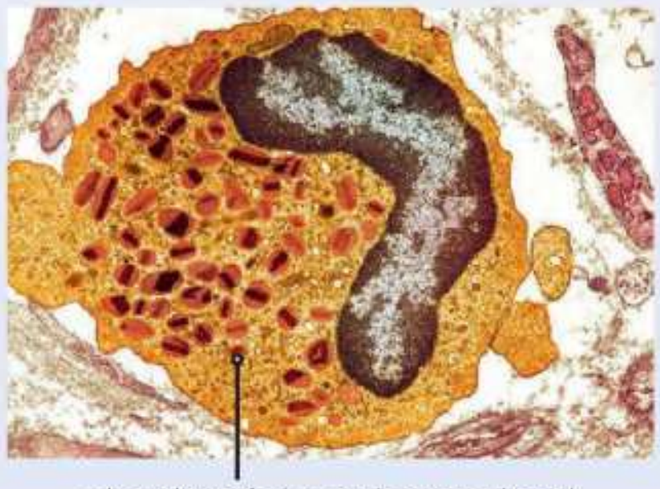
granulocyty obojętnochłonne (neutrofile)



ziarnistości z substancjami niszczącymi bakterie

Odpowiadają przede wszystkim za fagocytozę bakterii. Ich ziarnistości zawierają enzymy rozkładające struktury bakterii oraz inne substancje o działaniu przeciwbakteryjnym. Pojedynczy granulocyt obojętnochłonny potrafi sfagocytować kilkanaście komórek bakterii w ciągu kilku minut.

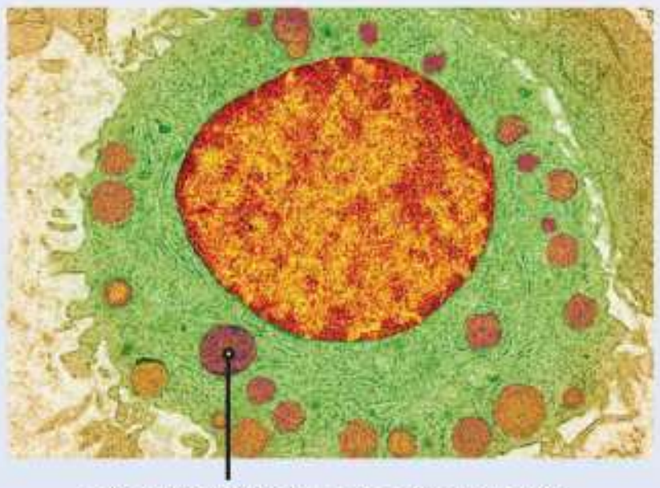
granulocyty kwasochłonne (eozynofile)



ziarnistości z substancjami niszczącymi pasożyty zwierzęce

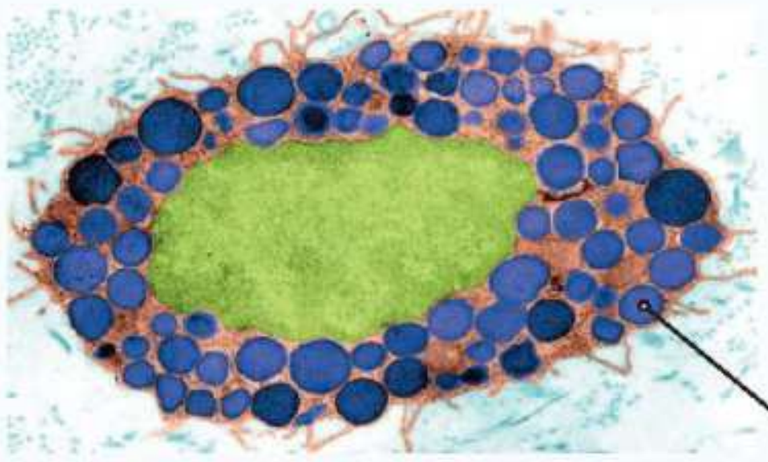
Odgrywają główną rolę w zwalczaniu pasożytów zwierzęcych, np. owsików czy przywr. Wydzielają związki uszkadzające komórki pasożyta i pobudzające błonę śluzową przewodu pokarmowego do produkcji śluzu, który ułatwia usuwanie pasożyta wraz z kałem.

granulocyty zasadochłonne (bazofile)



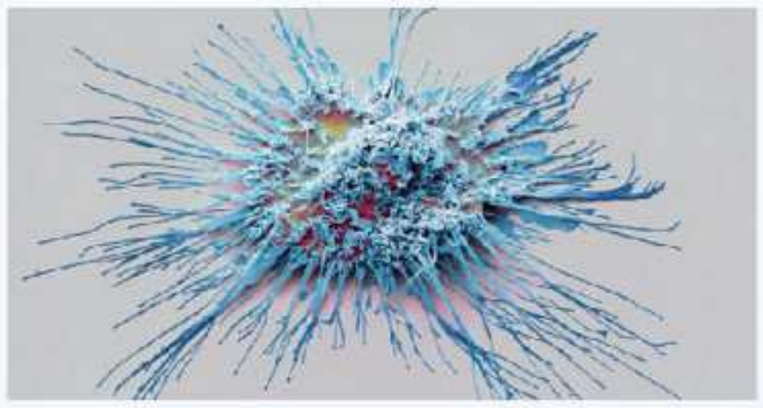
ziarnistości z mediatorami procesu zapalnego

Biorą udział w reakcjach zapalnych oraz w reakcjach alergicznych. Uwalniają m.in.: histaminę, która rozszerza naczynia krwionośne i zwiększa ich przepuszczalność, serotoninę, która także zwiększa przepuszczalność naczyń krwionośnych, oraz heparynę o działaniu przeciwkrzepliwym.



Komórki tuczne (mastocyty)

Występują w tkance łącznej właściwej różnych narządów, m.in. w błonie śluzowej przewodu pokarmowego, płucach oraz płynie jam ciała. Podobnie jak bazofile biorą udział w reakcjach zapalnych oraz w reakcjach alergicznych – wydzielają m.in. histaminę.



Komórki dendrytyczne

Są to komórki żerne zaopatrzone w liczne cytoplazmatyczne wypustki. **Należą do komórek prezentujących antygen.**

Limfocyty

Powstają w czerwonym szpiku kostnym. Następnie część z nich nabywa zdolność do odpowiedzi immunologicznej – kompetencję immunologiczną – w procesie zwanym dojrzewaniem limfocytów. Proces ten polega na utworzeniu się na powierzchni limfocytów charakterystycznych receptorów, które rozpoznają antygeny. Limfocyty T dojrzewają w grasicy, a limfocyty B – w szpiku kostnym. Komórki NK nie podlegają procesom dojrzewania.

Klasy limfocytów

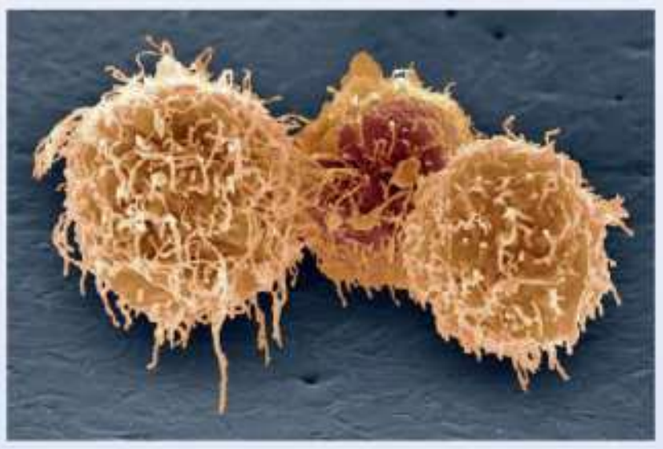
limfocyty T



Rozpoznają antygeny za pośrednictwem receptorów TCR (ang. *T cell receptor*).

- **Limfocyty Tc** (cytotoksyczne) – rozpoznają komórki z obcym antygenem i niszczą je za pomocą wydzielanych substancji toksycznych.
- **Limfocyty Th** (pomocnicze; ang. *helper*) – wzmacniają odpowiedź immunologiczną organizmu poprzez aktywację limfocytów B.

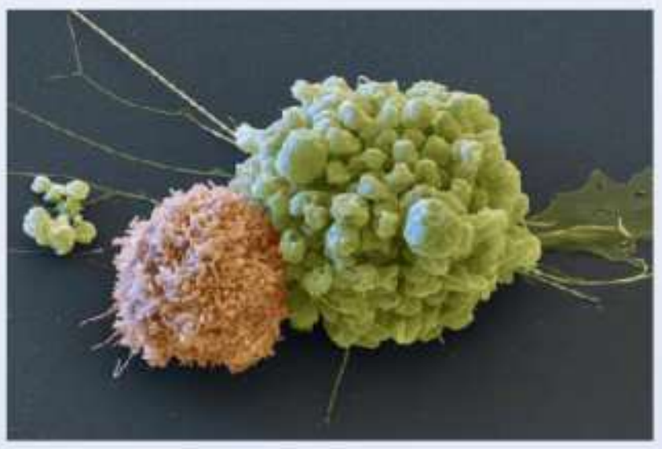
limfocyty B



Rozpoznają antygeny za pośrednictwem receptorów BCR (ang. *B cell receptor*). **Należą do komórek prezentujących antygen.**

- Część limfocytów B przekształca się w **komórki plazmatyczne** (plazmocyty), które wytwarzają przeciwciała.
- Pozostała część tworzy **komórki pamięci**, wykorzystywane podczas ponownego kontaktu z tym samym antygenem.

komórki NK



Komórki NK, nazywane naturalnymi zabójcami (ang. *natural killer*), rozpoznają wszystkie nieprawidłowe komórki organizmu, np. zainfekowane wirusem lub nowotworowe. Następnie niszczą je za pośrednictwem wydzielanych substancji toksycznych.

Czynniki humoralne

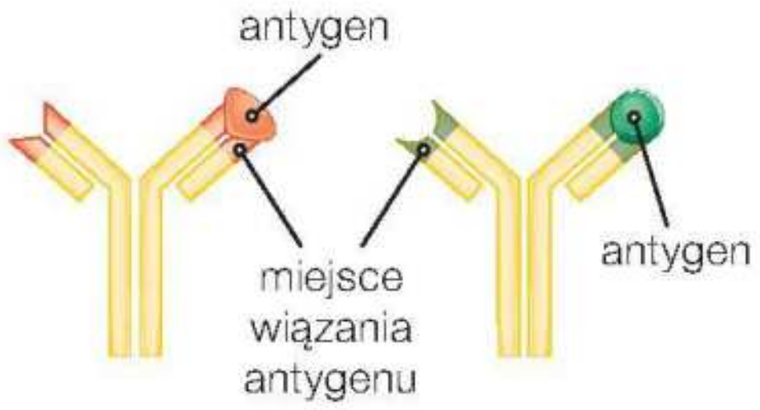
W reakcji odpornościowej ważną rolę odgrywają cząsteczki związków chemicznych, zwane również **czynnikami humoralnymi.** Należą do nich m.in. przeciwciała, białka układu dopełniacza, białka ostrej fazy i cytokiny.

Przeciwciała są także określane mianem immunoglobulin (Ig). Pojedyncze przeciwciało ma zwykle kształt litery Y i składa się z czterech łańcuchów polipeptydowych: dwóch ciężkich (H) oraz dwóch lekkich (L). Końcówki obu ramion Y stanowi charakterystyczna dla danego przeciwciała sekwencja aminokwasów, która jest dopasowana do struktury konkretnego antygenu. Dzięki tym fragmentom przeciwciała wiążą się z określonymi antygenami, a powstałe kompleksy są rozpoznawane i niszczone przez różne komórki i cząsteczki układu odpornościowego.

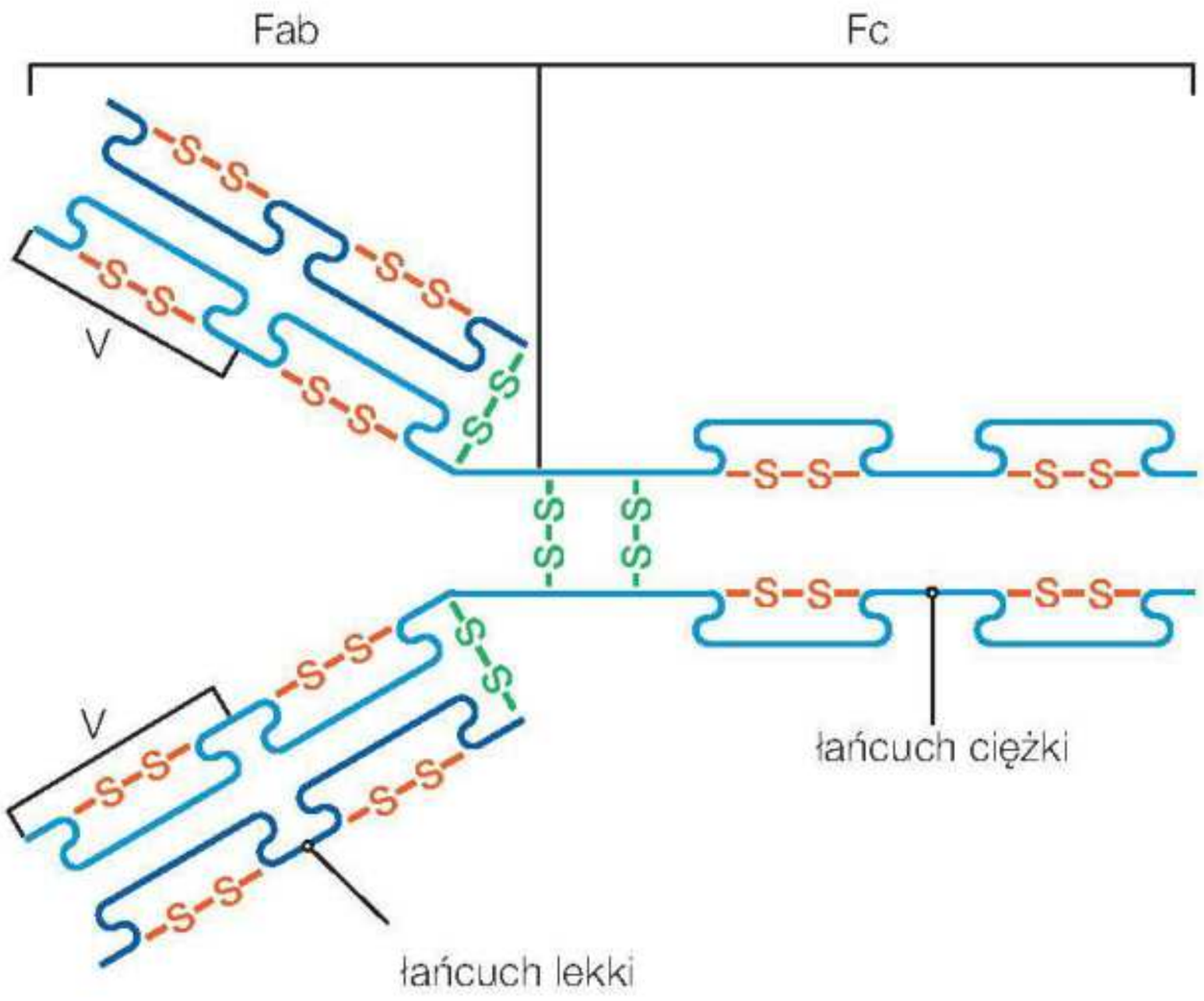
Układ dopełniacza jest tworzony przez zespół ok. 20 enzymów osocza krwi. Swoją nazwę zawdzięcza zdolności wspomagania (dopełniania) czynności przeciwciał w zwalczaniu infekcji. Układ dopełniacza jest aktywowany przez połączenie antygenu z przeciwciałem

Budowa i funkcja przeciwciał

Przeciwciała (immunoglobuliny) to białka zdolne do swoistego łączenia się z antygenem, które uczestniczą w reakcjach odpornościowych. Swoistość łączenia się z antygenem polega na tym, że każde przeciwciało rozpoznaje tylko jeden określony antygen. Przeciwciała są białkami bardzo zróżnicowanymi. Dzięki temu organizm może reagować na niemal nieograniczoną liczbę antygenów.



Swoistość przeciwciał.



Budowa przeciwciała.

Fragment Fab zawiera miejsce wiążące antygen. Część tego fragmentu, oznaczona literą V, cechuje się wysoką zmiennością struktury – oznacza to, że każdy rodzaj przeciwciała ma w tym obszarze inną budowę przestrzenną. Fragment Fc jest stały, czyli taki sam dla wszystkich przeciwciał w danej klasie.

Przeciwciała są białkami złożonymi, zaliczanymi do glikoprotein. Ich najwyższą strukturą przestrzenną jest struktura czwartorzędowa utrzymywana wiązaniami disiarczkowymi (zaznaczonymi kolorem zielonym). Wiązania disiarczkowe (zaznaczone kolorem czerwonym) stabilizują również strukturę trzeciorzędową pojedynczych łańcuchów polipeptydowych wchodzących w skład przeciwciała.

Klasy immunoglobulin

Klasa	Opis
IgG	Występują w osoczu i tkankach, jako jedyne przenikają przez łożysko (chronią płód). Są głównymi przeciwciałami biorącymi udział w odpowiedzi immunologicznej.
IgA	Występują głównie w wydzielinach błon śluzowych, m.in. przewodu pokarmowego, dróg oddechowych i układu moczowo-płciowego. Zapewniają obronę w miejscu występowania.
IgM	Występują na powierzchni limfocytów B (receptory BCR) oraz w osoczu. Są wydzielane we wczesnych stadiach reakcji odpornościowej organizmu, biorą udział w zwalczaniu patogenów – do czasu, aż zostaną wytworzone odpowiednie ilości IgG.
IgD	Występują na powierzchni limfocytów B (receptory BCR), biorą udział w ich różnicowaniu.
IgE	Występują w tkankach, powodują uwalnianie histaminy z komórek tucznych. Uczestniczą w zwalczaniu pasożytów oraz w reakcjach alergicznych.

(IgG lub IgM). Jego aktywacja prowadzi m.in. do niszczenia komórek bakteryjnych i zakażonych komórek ciała, gromadzenia się komórek układu odpornościowego w miejscach procesów zapalnych oraz stymulowania syntezy i uwalniania białek o funkcjach regulatorowych.

Białka ostrej fazy to grupa białek wytwarzanych w wątrobie w sytuacji, gdy w organizmie powstaje stan zapalny. Podczas stanu zapalnego ich liczba we krwi rośnie lub spada – w zależności od rodzaju białka. Białka ostrej fazy ułatwiają m.in. fagocytozę drobnoustrojów chorobotwórczych np. przez makrofagi. Oznaczenie ilości poszczególnych białek ostrej fazy może być wskazówką dotyczącą wystąpienia i nasilenia stanu zapalnego w organizmie.

Jednym z białek ostrej fazy jest **białko CRP** (ang. *C-reactive protein*), zwane również białkiem C-reaktywnym, które uczestniczy w aktywacji układu dopełniacza. Jego wzmożona synteza zachodzi w wyniku uszkodzenia tkanek, zakażenia, reakcji zapalnej oraz podczas choroby nowotworowej. Z tego powodu w diagnostyce wielu chorób wykorzystuje się badanie CRP, które pozwala na określenie stężenia białka CRP we krwi. Dzięki tej metodzie można np. odróżnić infekcje bakteryjne od infekcji wirusowych. U osoby zdrowej CRP wynosi poniżej 8 mg/dm^3. Podczas infekcji bakteryjnych stężenie CRP jest znacznie podwyższone (nawet kilkusetkrotnie), natomiast podczas infekcji wirusowych jest zwykle tylko nieznacznie wyższe.

Biologia w **medycynie**

Zastosowanie przeciwciał

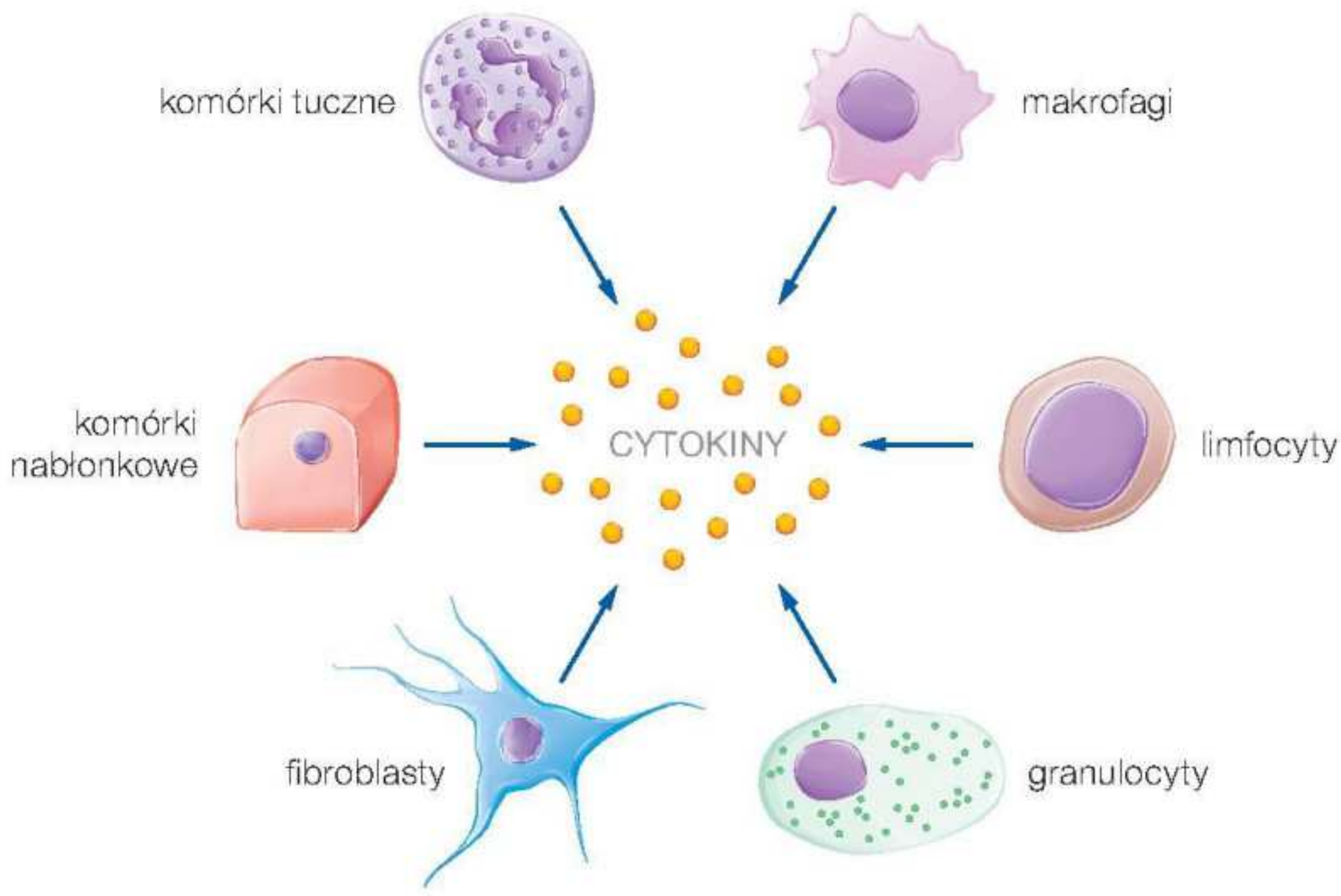
Przeciwciała znalazły szereg zastosowań w medycynie. Są wykorzystywane przede wszystkim w testach diagnostycznych oraz w immunoterapii, za pomocą której leczy się m.in. niektóre nowotwory (np. raka piersi czy ostrą białaczkę limfoblastyczną).

Test ELISA jest jednym z najbardziej popularnych testów klinicznych opartych na przeciwciałach. Za jego pomocą wykrywa się m.in. zakażenia wirusem HIV czy gronkowcem złocistym. Test ELISA jest również stosowany w diagnostyce chorób pasożytniczych i autoimmunizacyjnych.



Cytokiny

Cytokiny to różnorodne peptydy lub białka wytwarzane przez wiele komórek ciała, w tym przez komórki układu odpornościowego. Związki te pełnią funkcję regulacyjną, wpływając m.in. na namnażanie się, specjalizację i aktywowanie komórek uczestniczących w odpowiedzi immunologicznej. Cytokiny działają tylko na te komórki, które zawierają odpowiednie receptory. Łączą się z nimi i aktywują w komórkach szlaki sygnałowe, które wpływają na ekspresję genów i syntezę określonych białek biorących udział w mechanizmach odporności.



Przykłady komórek wytwarzających cytokiny.

Rodzaje cytokin		
interleukiny	**interferony**	**chemokiny**
• stymulują procesy krwiotwórcze • regulują przebieg reakcji zapalnej i aktywność limfocytów • uczestniczą w gojeniu się ran i regeneracji tkanek	• hamują procesy krwiotwórcze • są zaangażowane w obronę przeciwwirusową • są zaangażowane w obronę przeciwnowotworową	• powodują dojrzewanie leukocytów • powodują przemieszczanie się leukocytów do miejsca zakażenia • aktywują niektóre komórki układu odpornościowego

Polecenia kontrolne

1. Opisz funkcję dwóch wybranych narządów układu odpornościowego.
2. Wyjaśnij znaczenie terminu *antygen*.
3. Określ znaczenie fagocytozy w reakcjach odpornościowych.
4. Porównaj rolę różnych rodzajów limfocytów w reakcji odpornościowej.
5. Wyjaśnij, jaką funkcję w reakcji odpornościowej pełnią cząsteczki przeciwciał, białka ostrej fazy i cytokiny.

6.8. Rodzaje i mechanizmy odporności

Zwróć uwagę na:

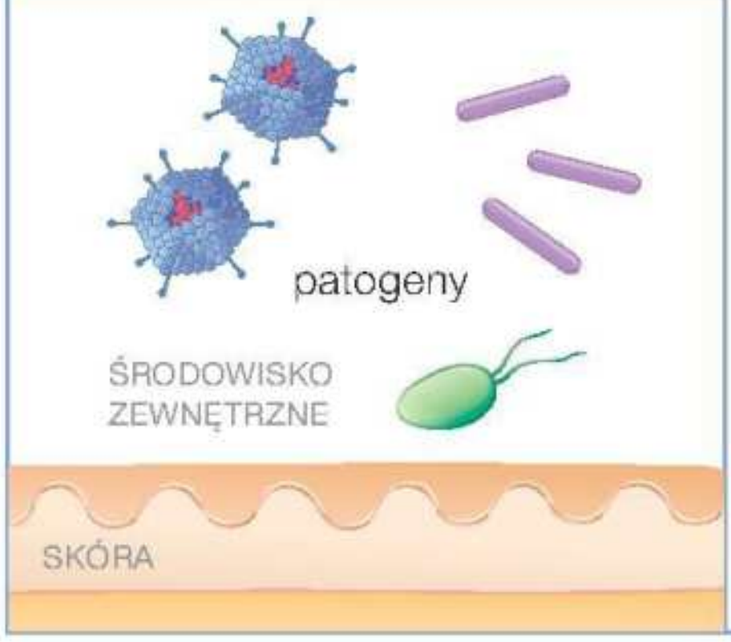
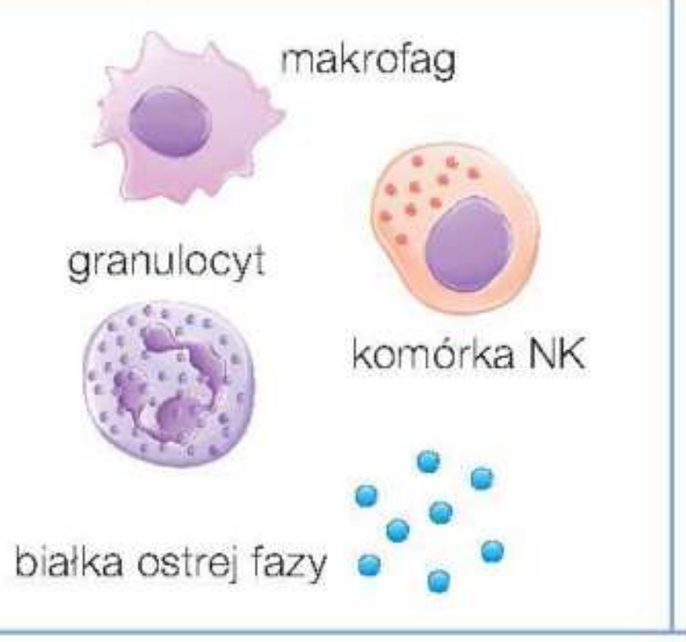
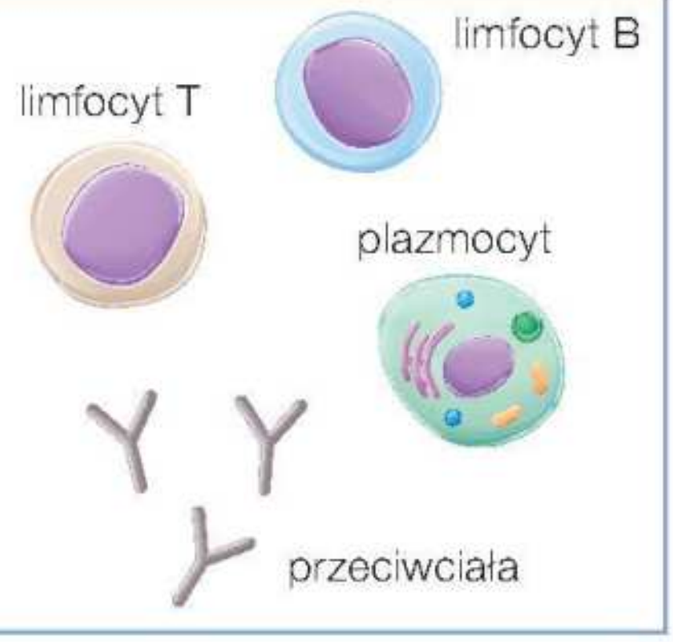
- odporność nieswoistą (wrodzoną) i odporność swoistą (nabytą),
- odporność komórkową i odporność humoralną,
- sposoby nabywania odporności swoistej,
- rolę białek ostrej fazy i cytokin w reakcji odpornościowej.

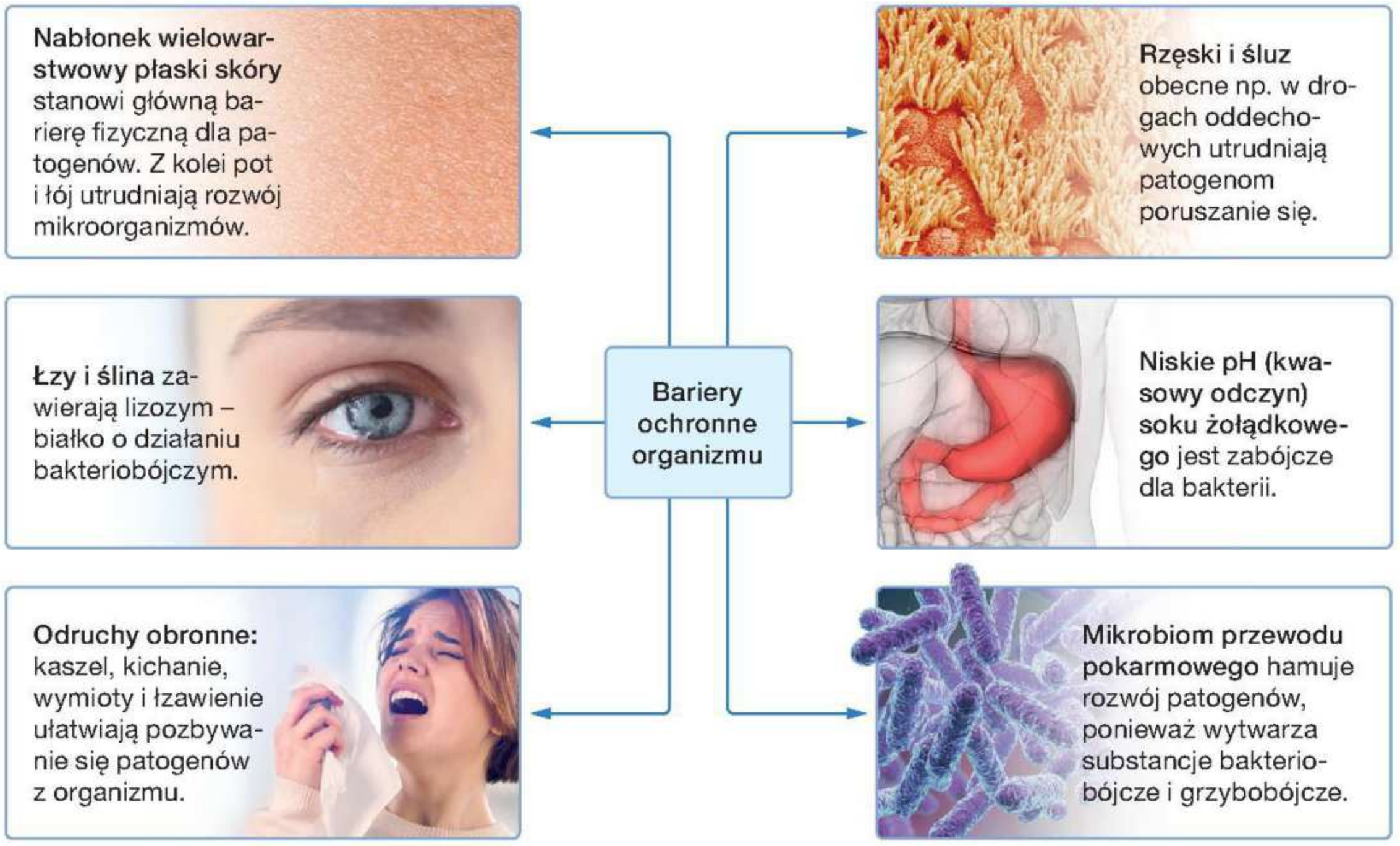
Odporność to zdolność organizmu do obrony przed czynnikami chorobotwórczymi. Mechanizmy odporności tworzą trzy główne linie obrony. Pierwszą linię stanowią bariery anatomiczne i mechanizmy fizjologiczne niezwiązane z układem odpornościowym, które hamują wnikanie patogenów do wnętrza organizmu. W dwóch kolejnych liniach obrony uczestniczą komórki oraz cząsteczki układu odpornościowego rozpoznające i likwidujące te patogeny, które zdołały pokonać pierwszą linię obrony i przedostać się do wnętrza ciała.

Odporność nieswoista

Odporność nieswoista jest uniwersalnym mechanizmem obrony przed infekcją, który występuje u wszystkich organizmów. Działanie tej odporności jest niewybiórcze, skierowane ogólnie przeciwko patogenom. Odporność nieswoista istnieje od momentu narodzin, jest więc **odpornością wrodzoną**, dziedziczoną z pokolenia na pokolenie. Przejawia się m.in. występowaniem naturalnych barier anatomicznych i mechanizmów fizjologicznych, które ograniczają wnikanie patogenów do wnętrza organizmu. Są to m.in.:

- nieuszkodzona skóra, która stanowi mechaniczną zaporę dla drobnoustrojów oraz wielu substancji chemicznych,
- błona śluzowa przewodu pokarmowego oraz dróg oddechowych, która dzięki śluzowi i rzęskom zatrzymuje i usuwa liczne patogeny,
- niskie pH potu (pH = 5,5) i soku żołądkowego (pH = 1–2), które utrudnia rozwój patogenów,
- ślina i łzy zawierające lizozym – enzym hydrolityczny o działaniu bakteriobójczym,
- mikrobiom przewodu pokarmowego, który wytwarza substancje o działaniu bakteriobójczym i grzybobójczym,
- fizjologiczne odruchy obronne, np. kaszel, kichanie, łzawienie, wymioty, które umożliwiają natychmiastowe pozbycie się patogenów z organizmu.

Odporność		
nieswoista	swoista	
linia I – bariery ochronne	linia II – obrona komórkowa i obrona chemiczna	linia III – obrona komórkowa i obrona chemiczna
		



Te patogeny, które wniknęły do organizmu, pokonując naturalne bariery anatomiczne i fizjologiczne, trafiają na drugą linię obrony. Należą do niej komórki żerne, m.in. makrofagi i granulocyty, komórki NK wyzwalające apoptozę oraz wiele czynników humoralnych, takich jak białka ostrej fazy czy enzymy układu dopełniacza.

Komórki uczestniczące w nieswoistej reakcji odpornościowej nie mają zdolności rozpoznawania konkretnych antygenów. Dzięki odpowiednim receptorom rozpoznają one tzw. **wzorce molekularne związane z patogenami** (PAMP; ang. *pathogen associated molecular patterns*). Mianem tym określa się cząsteczki drobnoustrojów chorobotwórczych, które:

- nie występują u człowieka,
- są konieczne do przeżycia drobnoustrojów,
- są charakterystyczne dla dużych grup drobnoustrojów,
- ulegają bardzo powolnym zmianom ewolucyjnym.

Do wzorców molekularnych związanych z patogenami należą m.in.: mureina (składnik ścian komórkowych bakterii), chityna (składnik ścian komórkowych grzybów), a także dwuniciowy RNA występujący u niektórych wirusów. Nieswoista reakcja odpornościowa jest zawsze taka sama, niezależnie od czynnika chorobotwórczego zagrażającego organizmowi. Nie przyspiesza jej ani nie nasila wielokrotny kontakt z tym samym patogenem. Nie występuje w niej również pamięć immunologiczna.

Efektami nieswoistej reakcji odpornościowej są:

- stan zapalny, który umożliwia aktywację komórek odpornościowych oraz ułatwia ich dotarcie do miejsca zakażenia,
- niszczenie patogenów za pomocą toksyn wydzielanych przez komórki odpornościowe.

Odporność swoista

Odporność swoista występuje wyłącznie u kręgowców. Jej działanie jest wybiórcze – skierowane przeciwko ściśle określonym antygenom. Odporność swoista kształtuje się w ciągu życia – jest więc **odpornością nabytą**, nieprzekazywaną potomstwu w procesie dziedziczenia.

W mechanizmach odporności swoistej uczestniczą: komórki prezentujące antygen, limfocyty T oraz limfocyty B, które mają zdolność

wytwarzania przeciwciał. Limfocyty rozpoznają prezentowane antygeny za pomocą receptorów powierzchniowych TCR i BCR.

Komórki oraz substancje biorące udział w swoistych reakcjach odpornościowych stanowią trzecią linię obrony organizmu. Jej efektami są:

- ostateczne zniszczenie patogenów,
- wytworzenie pamięci immunologicznej, która zapewnia skuteczniejszą reakcję odpornościową w przypadku powtórnego kontaktu z tym samym antygenem.

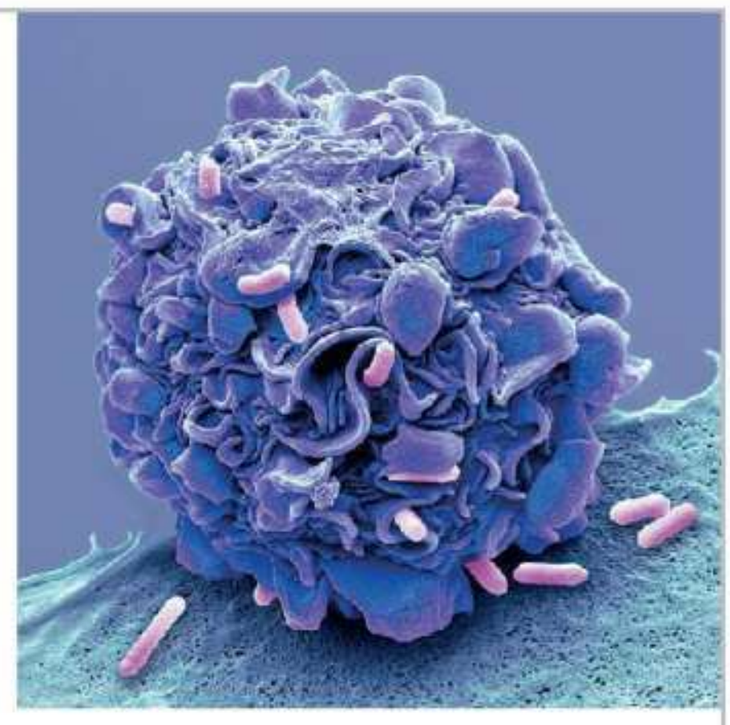
Odpowiedź immunologiczna organizmu

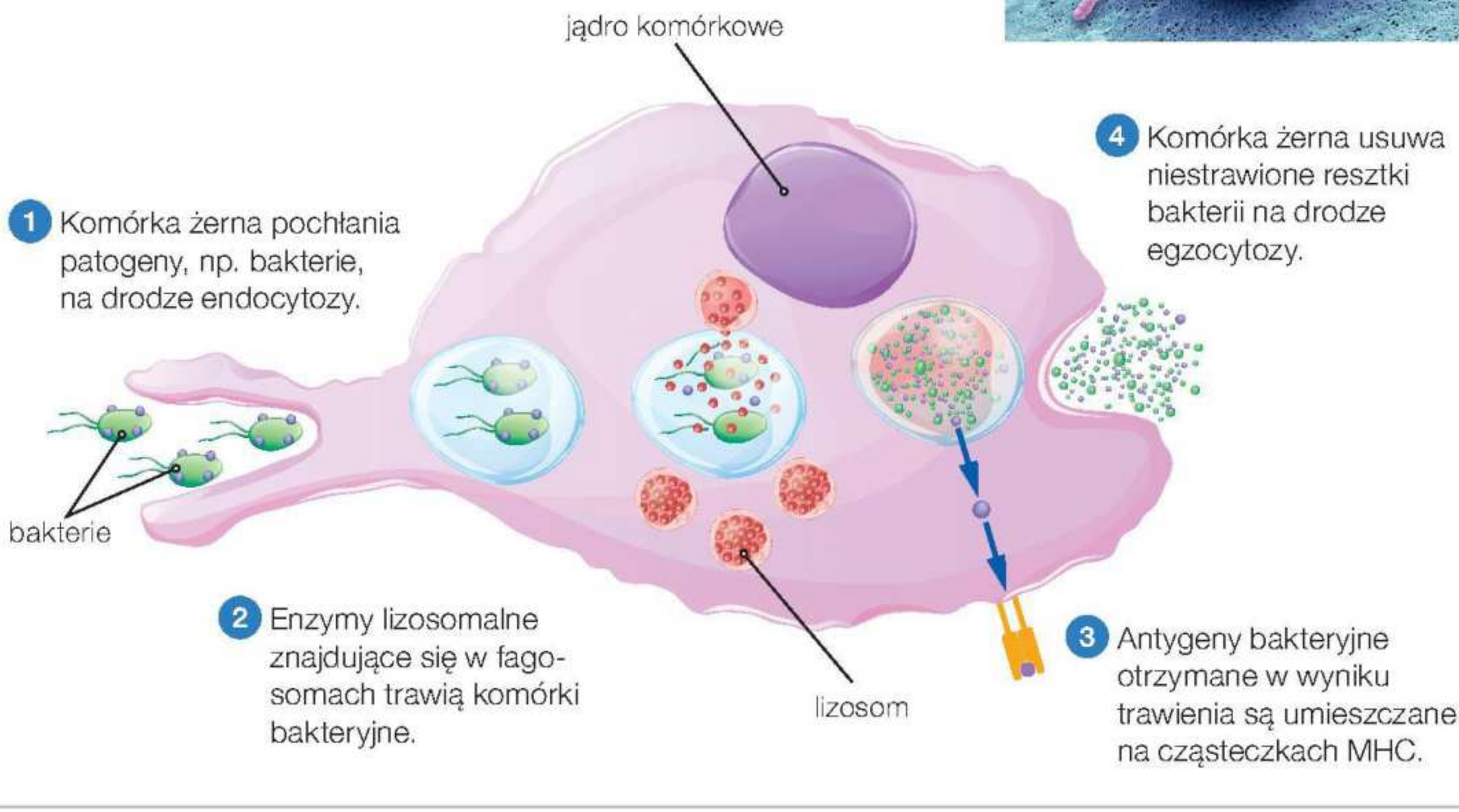
Pojawienie się w organizmie patogenu wywołuje odpowiedź immunologiczną organizmu, czyli uruchomienie ciągu reakcji obronnych zmierzających do eliminacji czynnika chorobotwórczego. Na początku duże znaczenie mają mechanizmy odporności nieswoistej, ponieważ odpowiedź z ich udziałem pojawia się najszybciej. Po pewnym czasie rozwijają się mechanizmy odporności swoistej, w których główną rolę odgrywają limfocyty T i B. Wyróżnia się dwa typy odpowiedzi:

- **odpowiedź komórkową** (odporność komórkową), która polega na niszczeniu komórek rozpoznawanych jako obce (np. komórek zakażonych wirusem) lub komórek nowotworowych przez komórki układu odpornościowego,
- **odpowiedź humoralną** (odporność humoralną), która zachodzi z udziałem cząsteczek związków chemicznych, m.in. przeciwciał lub enzymów układu dopełniacza.

Neutralizacja patogenów przez komórki żerne

Komórki żerne – makrofagi, granulocyty i komórki dendrytyczne – charakteryzują się zdolnością fagocytozy. Pochłaniają one patogeny, a następnie trawią je za pomocą enzymów lizosomalnych. W przypadku makrofagów i komórek dendrytycznych obce antygeny otrzymane w wyniku trawienia są prezentowane na cząsteczkach MHC.





Odporność nieswoista

Odporność nieswoista jest niewybiórczo skierowana przeciwko patogenom. Działa od momentu narodzin, jest więc odpornością wrodzoną.

Reakcja zapalna – uogólniona reakcja immunologiczna

Reakcja zapalna (stan zapalny) to ciąg procesów, w których biorą udział różne komórki układu odpornościowego oraz czynniki humoralne, np. białka ostrej fazy. Reakcja zapalna zapobiega rozprzestrzenianiu się patogenów do pobliskich tkanek oraz umożliwia usuwanie martwych komórek.
Do objawów stanu zapalnego należą: zaczerwienienie skóry, obrzęk, ból i gorączka. Przyczynami reakcji zapalnej mogą być m.in.: uraz mechaniczny, infekcja czy kontakt z toksycznym lub żrącym środkiem chemicznym.



Gorączka hamuje rozmnażanie się patogenów oraz przyspiesza reakcje odpornościowe, m.in. fagocytozę.

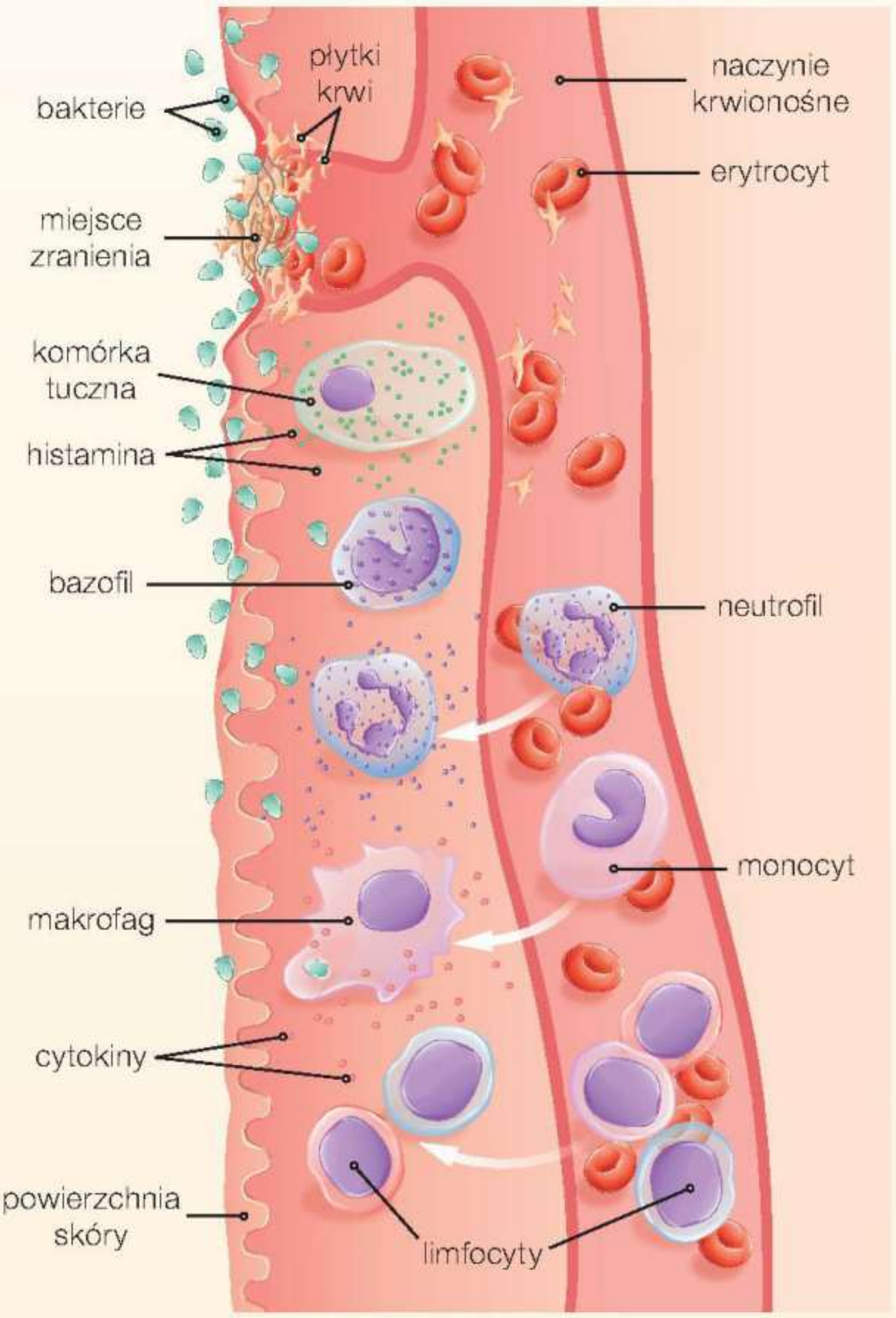
Przebieg reakcji zapalnej na przykładzie zranienia

1. Do zranionego miejsca przedostają się bakterie lub inne patogeny. Z naczyń krwionośnych uwalniają się płytki krwi, które gromadzą sią w miejscu zranienia. Uszkodzone tkanki i płytki krwi wydzielają czynniki rozpoczynające proces krzepnięcia krwi.

2. Komórki tuczne oraz bazofile znajdujące się w obrębie uszkodzonej tkanki wydzielają histaminę, która zwiększa przepuszczalność naczyń krwionośnych.

3. Komórki żerne – makrofagi i neutrofile – fagocytują bakterie. Dodatkowo wydzielają też substancje zabijające patogeny.

4. Makrofagi wydzielają cytokiny, które przyciągają komórki odpornościowe w miejsce zranienia i aktywują komórki zaangażowane w naprawę tkanek. Stan zapalny trwa do momentu wyeliminowania patogenów i martwych komórek oraz całkowitej regeneracji tkanek.



Komórki NK – nieswoista odpowiedź komórkowa

Komórki NK biorą udział w odpowiedzi nieswoistej typu komórkowego. Jest ona skierowana przeciw komórkom nowotworowym i komórkom zakażonym wirusem.

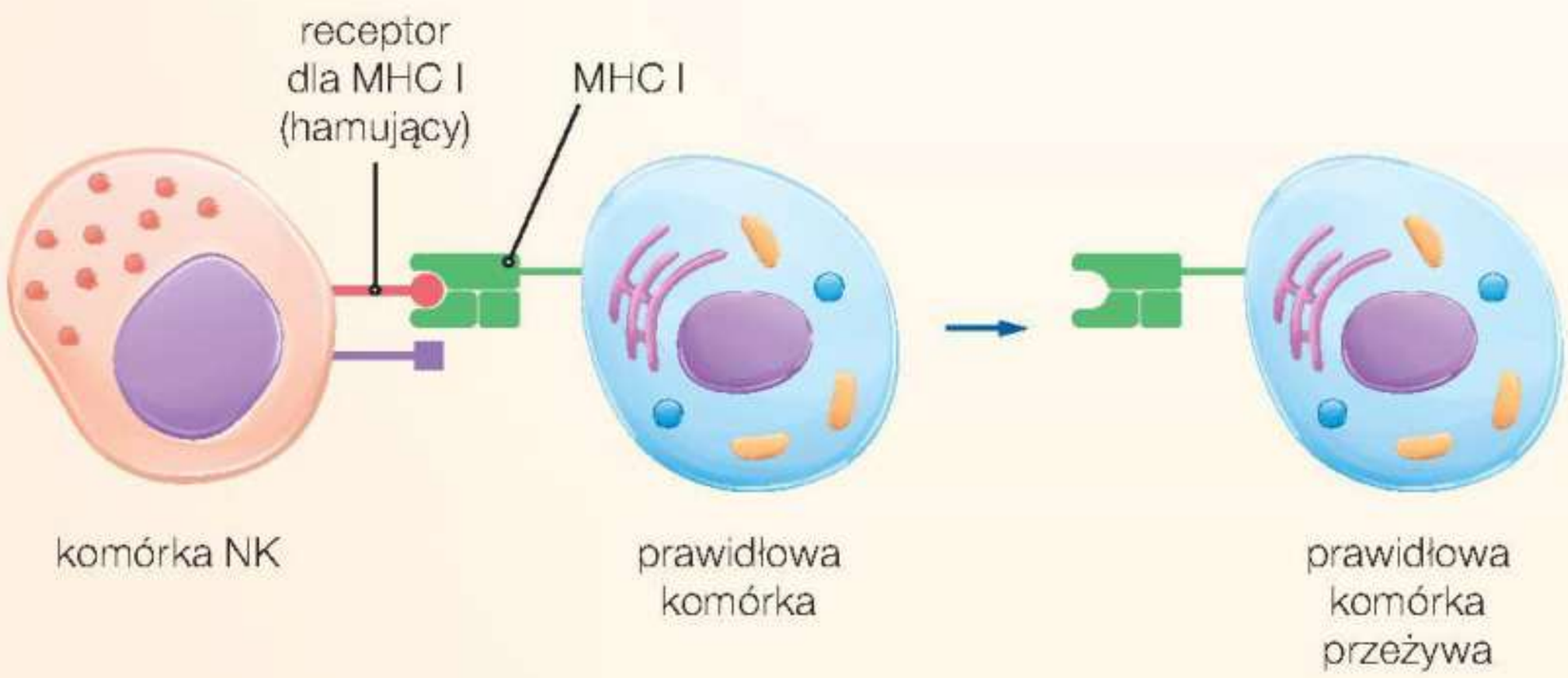
Komórki NK wykazują działanie cytotoksyczne.
W ich cytozolu znajdują się ziarna cytolityczne zawierające m.in.:

- perforynę – białko, które niszczy błony komórkowe,
- granzymy – enzymy hydrolityczne, które rozkładają m.in. białka cytozolowe i jądrowe oraz zapoczątkowują proces apoptozy.

Na powierzchni komórek NK znajdują się receptory hamujące i receptory aktywujące. Pierwsze z nich rozpoznają cząsteczki MHC I komórek prawidłowych, a drugie – specjalne cząsteczki aktywujące, które są charakterystyczne dla komórek nieprawidłowych.

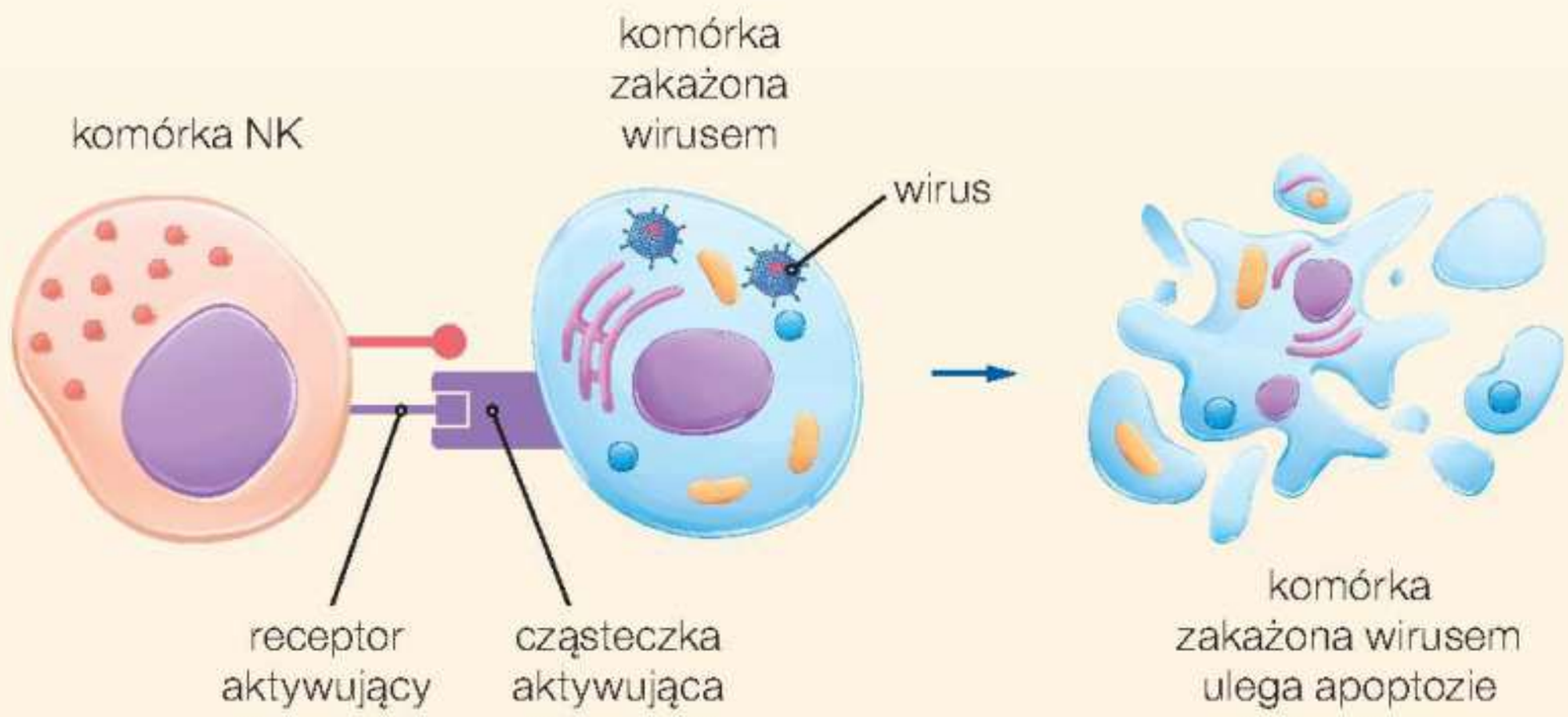
Rozpoznawania komórek prawidłowych

Prawidłowe komórki organizmu mają na swojej powierzchni cząsteczki MHC I. Komórki NK rozpoznają te cząsteczki za pomocą receptorów hamujących i nie zabijają komórek.



Rozpoznawanie i niszczenie komórek nieprawidłowych

Niektóre z komórek zakażonych wirusem oraz komórek nowotworowych nie mają na swojej powierzchni cząsteczek MHC I, zawierają jednak specjalne cząsteczki aktywujące. Komórki NK rozpoznają takie komórki jako niebezpieczne dla organizmu i zabijają je.



Odporność swoista

Odporność swoista rozwija się wtedy, gdy zawodzą mechanizmy odporności nieswoistej. Odporność swoista jest skierowana przeciwko określonym antygenom rozpoznawanym przez receptory TCR i BCR limfocytów. Kształtuje się ona w ciągu życia, jest więc odpornością nabytą.

Swoista odpowiedź komórkowa

Swoista odpowiedź komórkowa jest skierowana przeciw antygenom wewnątrzkomórkowym, głównie wirusowym i nowotworowym, prezentowanym na MHC I. Biorą w niej udział przede wszystkim limfocyty Tc (cytotoksyczne), które powodują apoptozę nieprawidłowych komórek.

Etapy reakcji odpornościowej na przykładzie komórki nowotworowej

1 Komórka nowotworowa prezentuje antygen na MHC I.

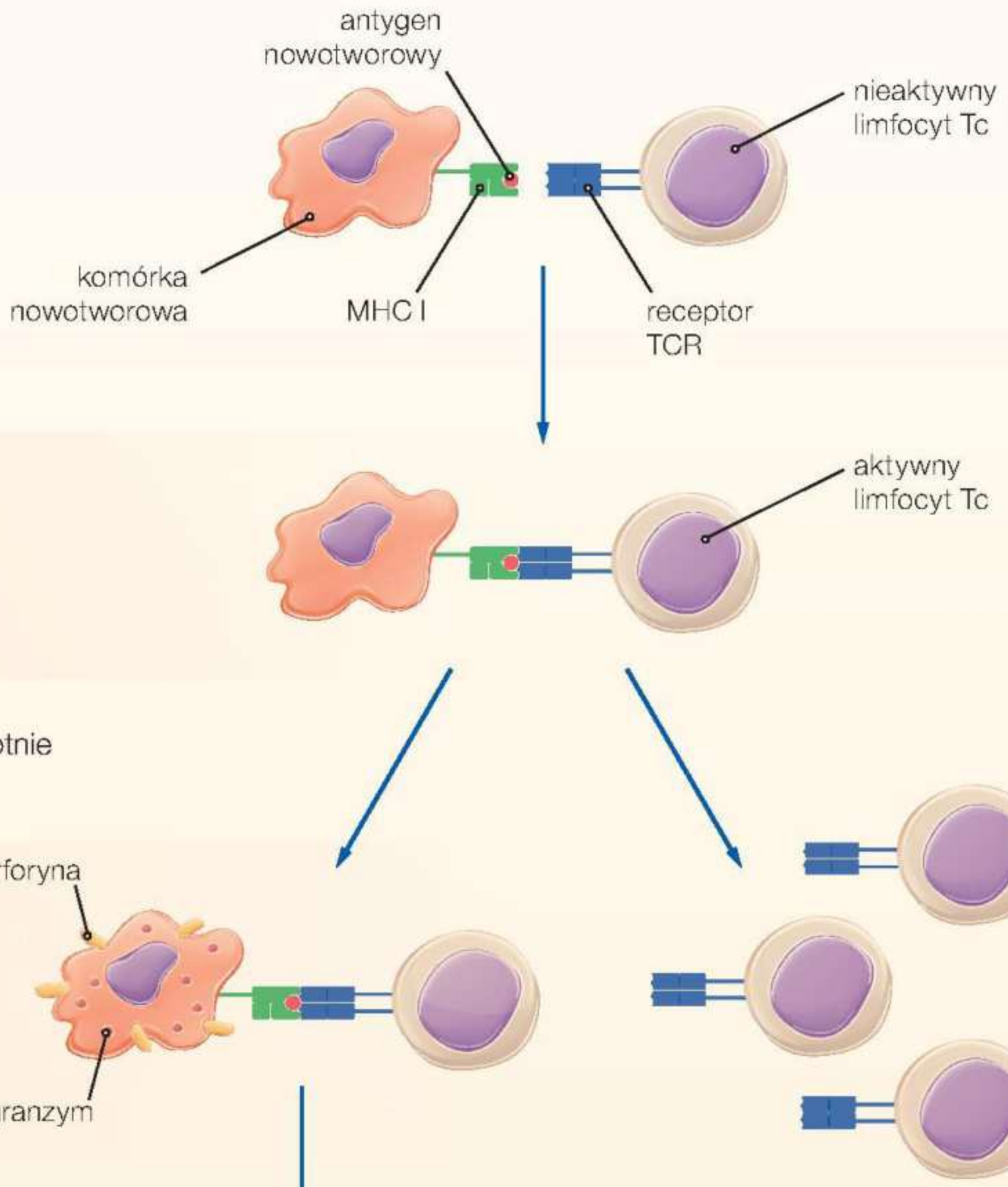
2 Limfocyt Tc rozpoznaje antygen nowotworowy związany z cząsteczką MHC I i ulega aktywacji.

3 Aktywny limfocyt Tc wielokrotnie dzieli się mitotycznie.

4a Część limfocytów Tc przylega do komórek nowotworowych i wydziela cytotoksyczne związki, m.in. perforynę oraz granzymy.

4b Pozostała część limfocytów Tc staje się komórkami pamięci.

5 Perforyna uszkadza błonę komórkową komórki nowotworowej, natomiast granzymy rozkładają białka cytoplazmy i jądra komórkowego oraz zapoczątkowują proces apoptozy.



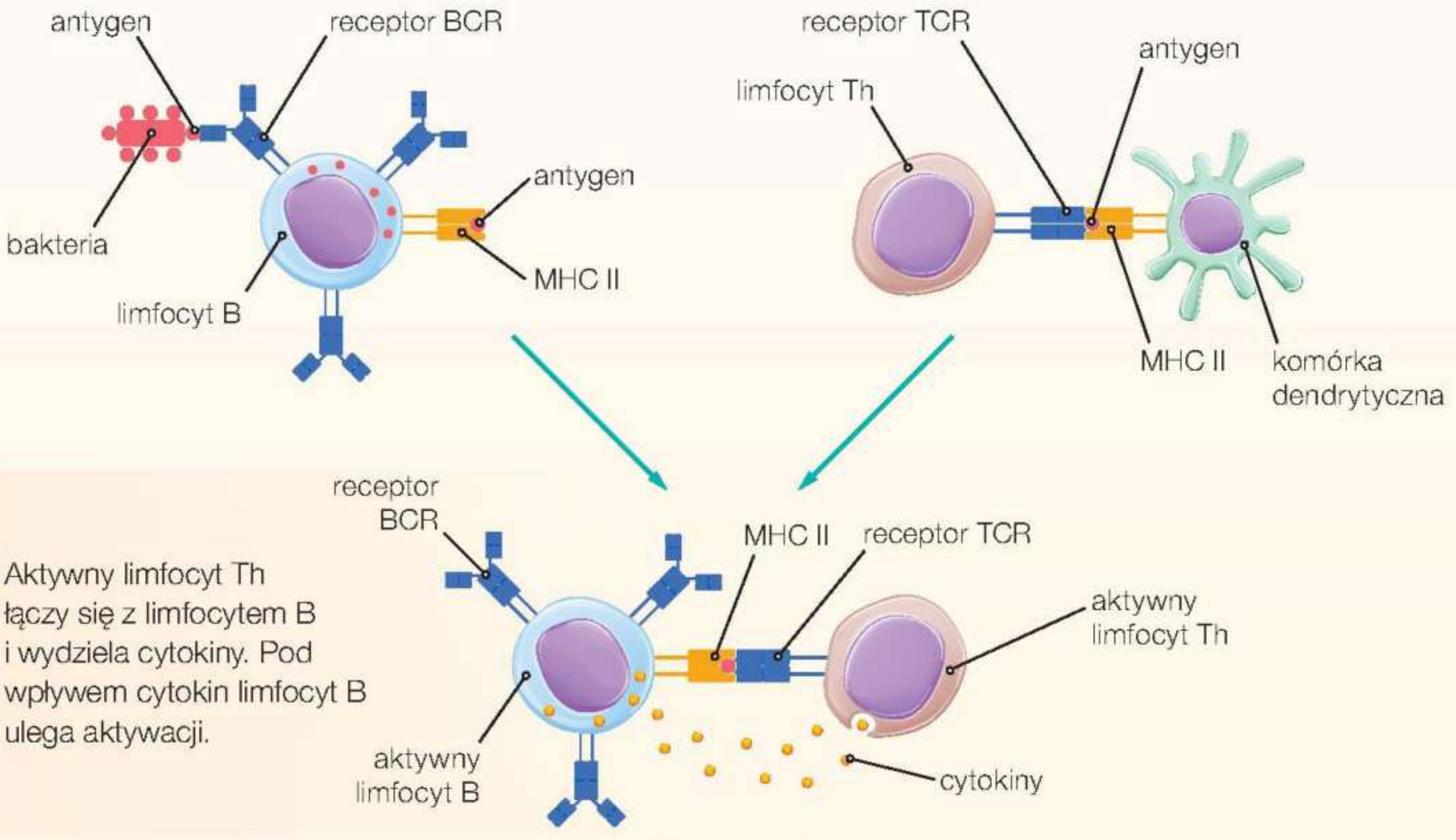
Swoista odpowiedź humoralna

W odpowiedzi swoistej typu humoralnego biorą udział przeciwciała produkowane przez komórki plazmatyczne, czyli aktywne limfocyty B. Aktywacja limfocytów B jest dwuetapowa. Podczas pierwszego etapu limfocyt B rozpoznaje antygen za pomocą receptora BCR, a następnie prezentuje go na cząsteczkach MHC II. Natomiast na drugim etapie limfocyt B łączy się z aktywnym limfocytem Th, który rozpoznał ten sam antygen zaprezentowany przez komórkę dendrytyczną lub makrofaga. Po zakończonej aktywacji limfocyt B zmienia ekspresję genów i zaczyna produkować przeciwciała swoiste dla antygenu.

Etapy reakcji odpornościowej na przykładzie komórki bakteryjnej

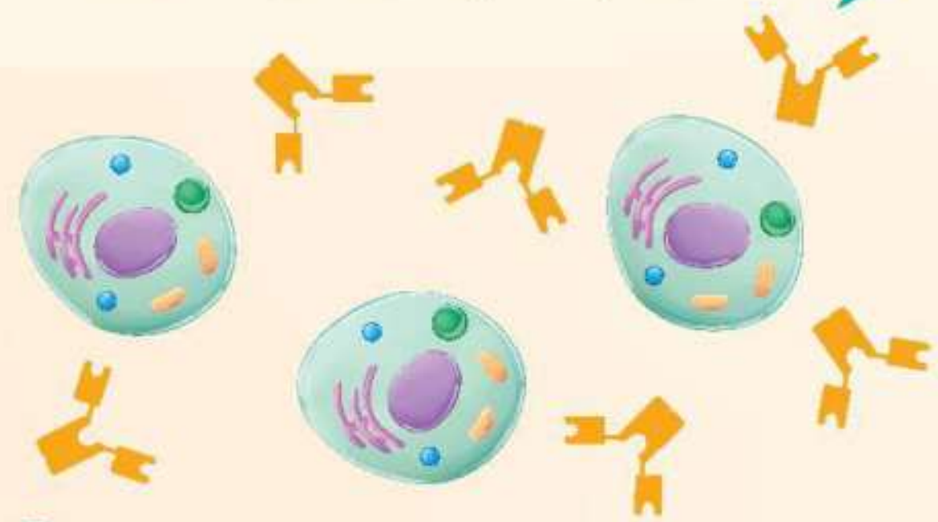
1a Limfocyt B rozpoznaje antygen bakteryjny za pomocą receptora BCR. Następnie pochłania antygen (pinocytoza) i prezentuje go na MHC II.

1b Komórka dendrytyczna, która sfagocytowała bakterię, prezentuje antygen limfocytowi Th. Dzięki temu limfocyt ulega aktywacji.

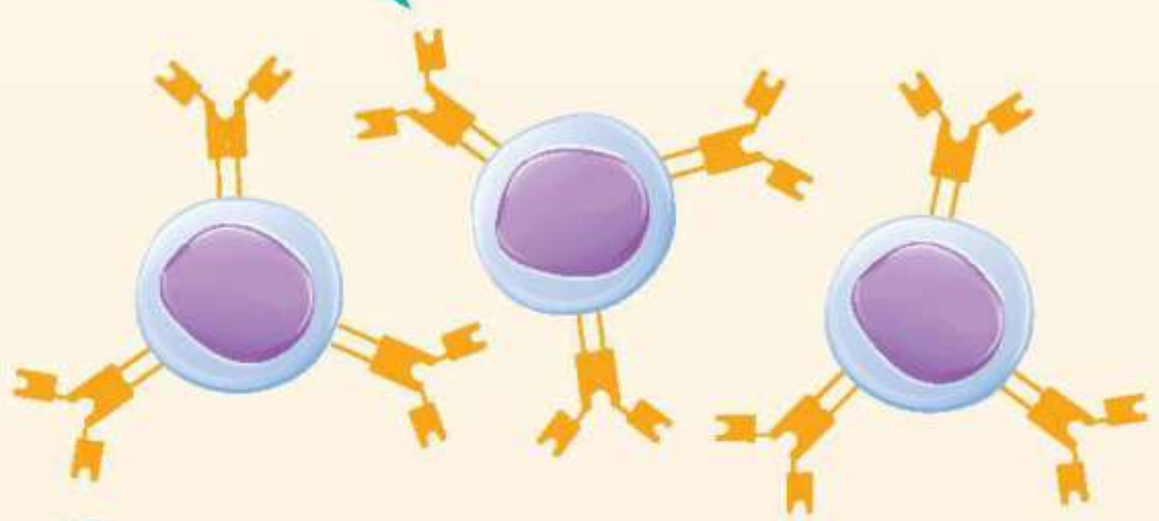


2 Aktywny limfocyt Th łączy się z limfocytem B i wydziela cytokiny. Pod wpływem cytokin limfocyt B ulega aktywacji.

3 Aktywny limfocyt B zmienia ekspresję genów, a następnie wielokrotnie dzieli się mitotycznie.



4a Część komórek potomnych różnicuje się w komórki plazmatyczne. Wytwarzają one przeciwciała swoiste dla antygenu, który został rozpoznany.



4b Część namnożonych przez podział limfocytów B staje się komórkami pamięci, zdolnymi do szybkiej produkcji przeciwciał po powtórnym kontakcie z antygenem.

Pierwotna i wtórna odpowiedź immunologiczna

Odpowiedź na pierwszy kontakt z antygenem – tzw. **pierwotna odpowiedź immunologiczna** – jest w pełni rozwinięta po ok. 10–17 dniach od momentu zakażenia. W tym czasie limfocyty są zróżnicowane w komórki plazmatyczne oraz limfocyty Th i Tc. Po zwalczeniu czynnika chorobotwórczego w organizmie wytwarza się **pamięć immunologiczna**, czyli zdolność organizmu do przyspieszonej i skuteczniejszej odpowiedzi immunologicznej podczas ponownego kontaktu z antygenem. Pamięć immunologiczną umożliwiają:

- komórki pamięci immunologicznej (limfocyty B pamięci, limfocyty T pamięci), wytworzone w wyniku różnicowania się limfocytów podczas pierwszego kontaktu z antygenem,
- przeciwciała, które pozostały w organizmie.

Dzięki temu ponowny kontakt z antygenem wyzwala tzw. **wtórną odpowiedź immunologiczną**, która jest:

- szybsza niż pierwotna odpowiedź immunologiczna (pojawia się po ok. 2–7 dniach od momentu zakażenia),
- silniejsza niż pierwotna odpowiedź immunologiczna (komórki plazmatyczne produkują więcej przeciwciał).

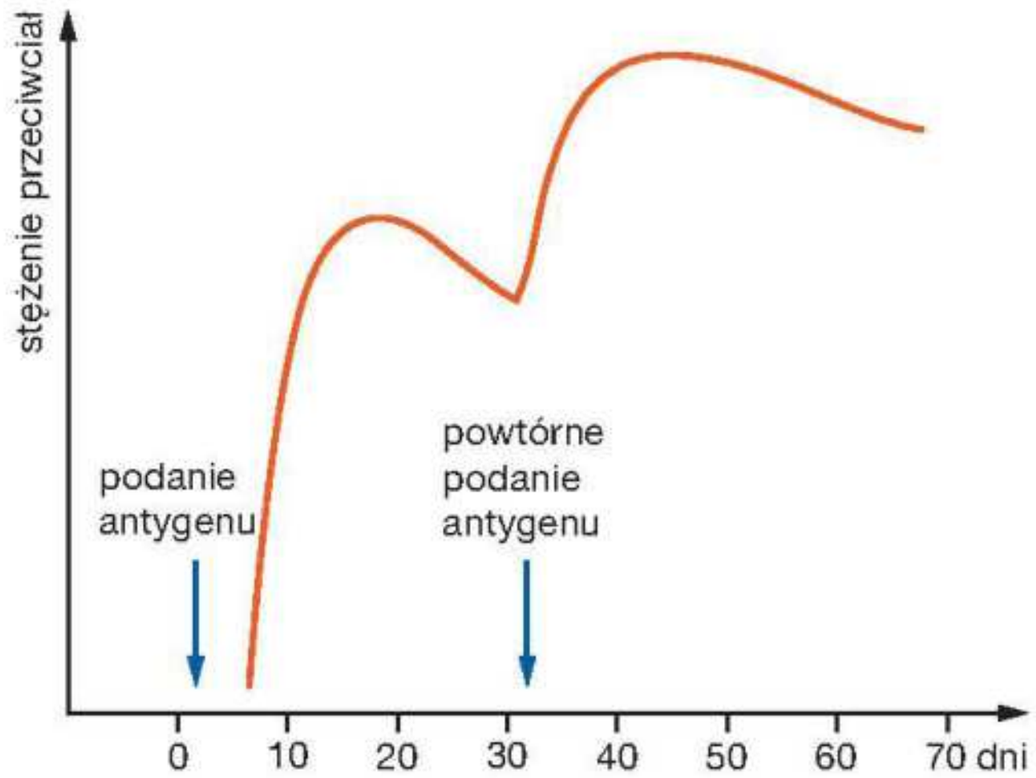
Szczepienia ochronne

Mechanizm pamięci immunologicznej jest wykorzystywany do szczepień ochronnych. **Szczepionki** są precyzyjnie przygotowanymi preparatami biologicznymi. Opracowuje się je przeciwko groźnym, niekiedy szybko rozprzestrzeniającym się chorobom, których leczenie jest trudne. Zaszczepienie przeciwko określonemu patogenowi jest często jedynym sposobem uniknięcia wywoływanej przez niego choroby lub złagodzenia jej przebiegu.

Szczepionki – w zależności od rodzaju – zawierają martwe lub osłabione patogeny, oczyszczone antygeny albo ich fragmenty, których podanie imituje naturalną infekcję. Dzięki temu układ odpornościowy wytwarza swoistą odpowiedź immunologiczną: produkuje przeciwciała oraz komórki pamięci immunologicznej. Zabezpieczają one organizm przed rozwojem choroby w razie ponownego kontaktu z obcym antygenem.

Czy wiesz, że...

Przed wyjazdem do niektórych krajów, zwłaszcza tropikalnych, należy obowiązkowo szczepić się przeciwko występującym w nich chorobom. Listę zalecanych szczepień można sprawdzić np. na stronach Ministerstwa Spraw Zagranicznych.



Stężenie przeciwciał w odpowiedziach immunologicznych: pierwotnej i wtórnej.



Dzieci w wieku 13.–14. miesięcy szczepi się trójskładnikową szczepionką przeciwko odrze, różyczce i śwince. Te choroby zakaźne wieku dziecięcego u osób nieszczepionych mogą doprowadzić do ciężkich powikłań.

Odporność czynna i odporność bierna

W zależności od sposobu, w jaki organizm nabywa odporność, wyróżnia się **odporność swoistą czynną** i **odporność swoistą bierną**. Odporność uzyskana po szczepieniu lub przebytej chorobie jest określana mianem odporności czynnej, gdyż została samodzielnie wytworzona przez organizm. Natomiast odporność nabytą przez wprowadzenie do organizmu gotowych przeciwciał skierowanych przeciwko konkretnym antygenom nazywa się odpornością bierną. W taki sposób uzyskuje odporność organizm noworodka, który zostaje wyposażony w przeciwciała przez matkę już w czasie rozwoju płodowego (za pośrednictwem łożyska) oraz po urodzeniu (podczas karmienia piersią). W szczególnych sytuacjach podaje się **surowicę odpornościową** zawierającą przeciwciała, zwaną również antytoksyną (np. surowica przeciwtężcowa lub surowice neutralizujące jady węży). Zastosowanie surowicy pozwala wprawdzie szybko unieszkodliwić antygen, ale nie daje trwałej odporności.



Surowice neutralizujące jady węży otrzymuje się w wyniku podania jadów innym organizmom, które wytwarzają przeciwciała, m.in. koniom.

Odporność			
Czynna – organizm samodzielnie reaguje na antygeny i wytwarza przeciwciała.		Bierna – organizm uzyskuje gotowe przeciwciała, wytworzone przez inny organizm.	
Naturalna – pojawia się po przebytej chorobie, kiedy układ odpornościowy reaguje samoistnie na antygeny wnikające do organizmu.	Sztuczna – pojawia się po podaniu szczepionki, która powoduje wytworzenie przeciwciał przez układ odpornościowy.	Naturalna – pojawia się po otrzymaniu przeciwciał od matki przez łożysko lub z mlekiem podczas karmienia.	Sztuczna – pojawia się po przyjęciu surowicy odpornościowej, czyli osocza z gotowymi przeciwciałami.
			

Polecenia kontrolne

1. Porównaj odporność swoistą z odpornością nieswoistą.
2. Omów przebieg reakcji zapalnej.
3. Wyjaśnij różnicę między odpornością humoralną a odpornością komórkową.
4. Określ, jak szczepionki wpływają na tworzenie się pamięci immunologicznej. Wyjaśnij znaczenie pamięci immunologicznej w leczeniu chorób zakaźnych.
5. Określ, czy otrzymanie surowicy odpornościowej spowoduje wytworzenie w organizmie komórek pamięci. Odpowiedź uzasadnij.

6.9. Zaburzenia funkcjonowania układu odpornościowego

Zwróć uwagę na:
- przyczyny osłabionej i nadmiernej odpowiedzi immunologicznej,
- znaczenie immunosupresji i jej zastosowanie w transplantologii, leczeniu alergii i chorób autoimmunizacyjnych.

Głównymi funkcjami układu odpornościowego człowieka są: ochrona przed patogenami, zwalczanie infekcji oraz usuwanie wadliwych komórek własnego organizmu. Czasem – pod wpływem czynników zewnętrznych lub wewnętrznych – układ odpornościowy zaczyna działać nieprawidłowo. Jego zaburzenia wpływają na homeostazę całego organizmu, co w skrajnych przypadkach może prowadzić do bezpośredniego zagrożenia życia. Dział medycyny, który zajmuje się odpornością i jej zaburzeniami, nazywa się **immunologią**.

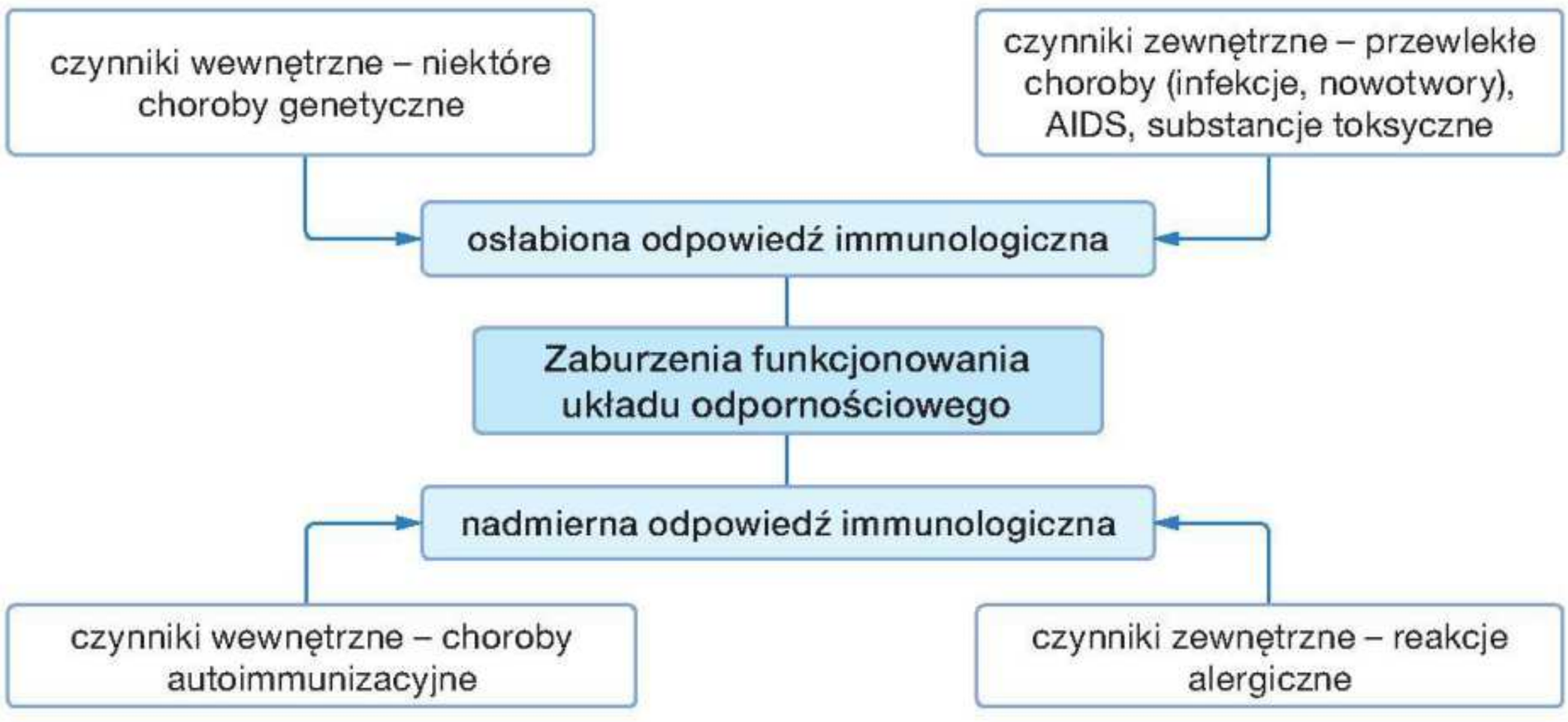
Osłabiona odpowiedź immunologiczna

Zdolność układu odpornościowego do odpowiedzi immunologicznej może zostać zmniejszona lub całkowicie zahamowana. Jest to tzw. **stan niedoboru odporności**, który zwiększa prawdopodobieństwo rozwoju nowotworów i sprawia, że choroby mają cięższy przebieg.

Do czynników powodujących osłabienie odpowiedzi immunologicznej należą m.in.:
- choroby genetyczne, np. ciężki złożony niedobór odporności (SCID),
- zakażenie wirusem HIV, prowadzące do nabytego zespołu niedoboru odporności (AIDS),
- niewłaściwa dieta i mała aktywność fizyczna,
- długotrwały stres i zbyt mała ilość snu,
- palenie papierosów i nadużywanie alkoholu,
- wyjałowienie organizmu (np. przez długotrwałą antybiotykoterapię).

Nadmierna odpowiedź immunologiczna

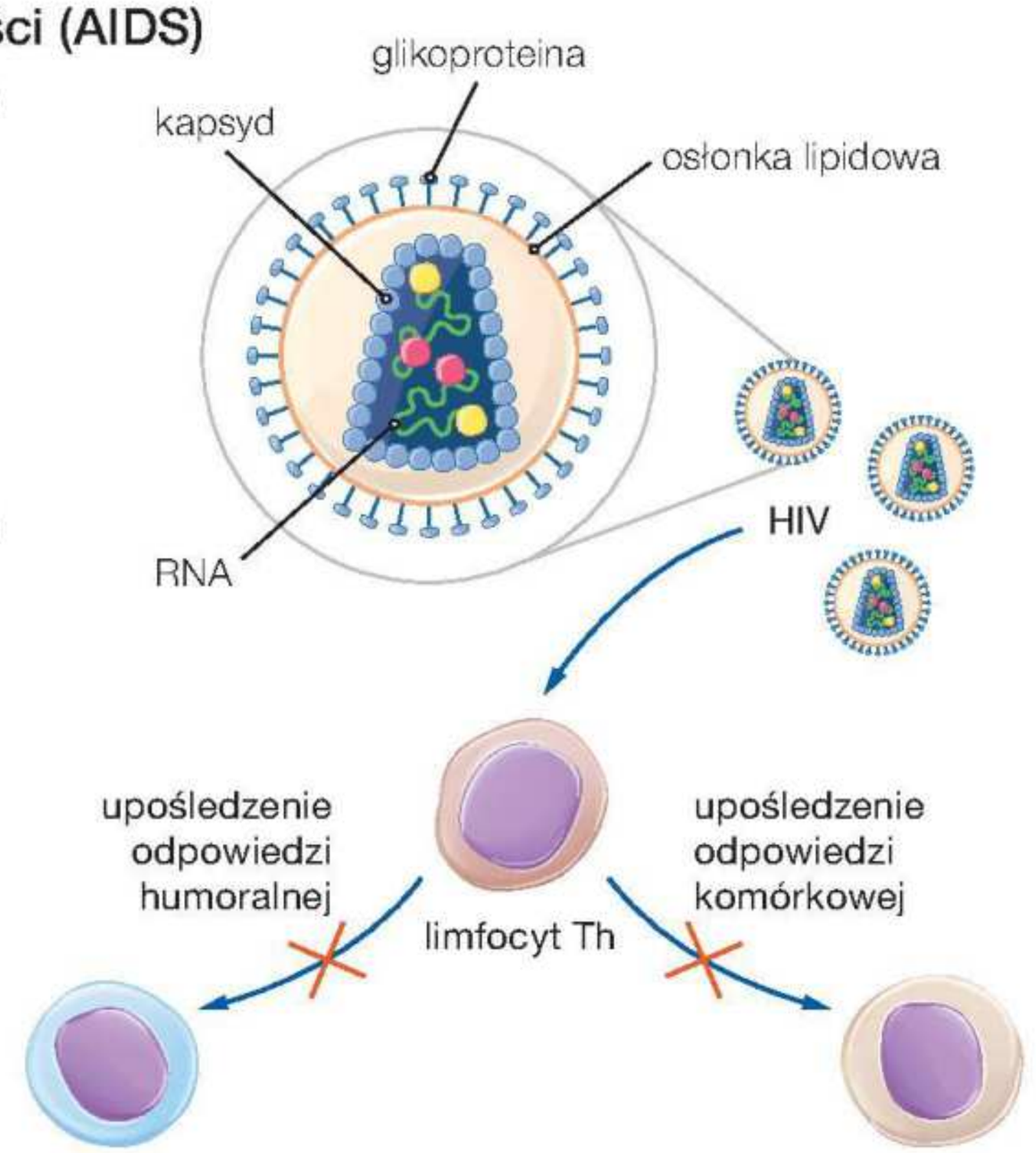
Zaburzenia działania układu odpornościowego mogą też polegać na nadmiernej reakcji na czynniki nieszkodliwe, przy czym czynniki zewnętrzne prowadzą do rozwoju alergii, a czynniki wewnętrzne – do rozwoju **chorób autoimmunizacyjnych**.



☑ Choroby układu odpornościowego

■ Nabyty zespół niedoboru odporności (AIDS)

- **Przyczyna:** zakażenie **wirusem HIV**. Atakuje on limfocyty T, które odpowiadają za rozpoznawanie antygenów. Pierwsze objawy zakażenia wirusem HIV mogą przypominać grypę lub anginę. Potem następuje kilkuletni okres utajenia. W tym czasie ciągle zmniejsza się liczba limfocytów T. Ostatecznie jest ich tak mało, że organizm nie może się bronić – wtedy rozwija się nabyty zespół niedoboru odporności, czyli **AIDS**. Dochodzi w nim do zakażeń oportunistycznych powodowanych przez takie drobnoustroje, które dla osób zdrowych są nieszkodliwe, np. przez bakterie wchodzące w skład mikrobiomu człowieka. Zakażeniom towarzyszy też rozwój nowotworów – chłoniaków i mięsaków.
- **Profilaktyka:** bezpieczne zachowania seksualne, unikanie kontaktu z zakażoną krwią.
- **Drogi zakażenia:**
  – kontakty seksualne,
  – podczas ciąży, porodu i karmienia piersią,
  – transfuzja zakażonej krwi,
  – używanie zakażonych strzykawek.



Wirus HIV infekuje głównie limfocyty Th. Spadek liczby tych limfocytów wpływa na upośledzenie zarówno odporności komórkowej, jak i odporności humoralnej.

■ Alergie

Alergia to nadwrażliwość układu odpornościowego na określony czynnik.

- **Przyczyna:** układ odpornościowy zbyt silnie reaguje na kontakt z zupełnie nieszkodliwymi antygenami, nazywanymi **alergenami**. Do najczęstszych alergenów należą: pyłki traw i drzew, roztocza kurzu domowego oraz jad niektórych owadów. Najgroźniejszą reakcją alergiczną jest **wstrząs anafilaktyczny**, który może stanowić zagrożenie dla życia. Jego objawy to m.in.:
  – wysypka,
  – swędzenie,
  – świszczący, krótki oddech,
  – niskie ciśnienie krwi,
  – bladość.
- **Profilaktyka:** unikanie czynników powodujących reakcję alergiczną.



W przypadku wstrząsu anafilaktycznego należy niezwłocznie wezwać lekarza. Konieczne jest także podanie domięśniowo zastrzyku z adrenaliną, która podnosi ciśnienie, redukuje obrzęk gardła i rozkurcza oskrzela.

Mechanizm reakcji alergicznej

Alergie są spowodowane nadmierną reakcją układu odpornościowego na **alergeny** – antygeny, które przy prawidłowym działaniu tego układu są uznawane za niegroźne. Wyróżnia się kilka **rodzajów alergenów**, które mogą wywoływać reakcję alergiczną:

- **alergeny kontaktowe** (np. nikiel, środki czystości) – prowadzą do zaczerwienienia, łuszczenia się i pękania skóry,
- **alergeny wziewne** (np. ziarna pyłku, zarodniki grzybów) – powodują kichanie, ból gardła, duszności i łzawienie,
- **alergeny pokarmowe** (np. orzechy, mleko) – wywołują bóle brzucha, wymioty i biegunkę.

Pierwszy kontakt z alergenem nie daje żadnych objawów alergii. Aktywuje jednak limfocyty B, które wytwarzają przeciwciała klasy IgE skierowane przeciw alergenowi. Wytworzone przeciwciała wiążą się z powierzchnią komórek tucznych (mastocytów) i granulocytów zasadochłonnych (bazofili). Podczas kolejnego kontaktu alergen wiąże się z przeciwciałami IgE, które znajdują się na powierzchni komórek tucznych. Następuje wówczas uruchomienie odpowiedzi immunologicznej i uwolnienie histaminy. Histamina jest jednym z mediatorów reakcji alergicznej, dlatego w leczeniu alergii stosuje się leki antyhistaminowe.

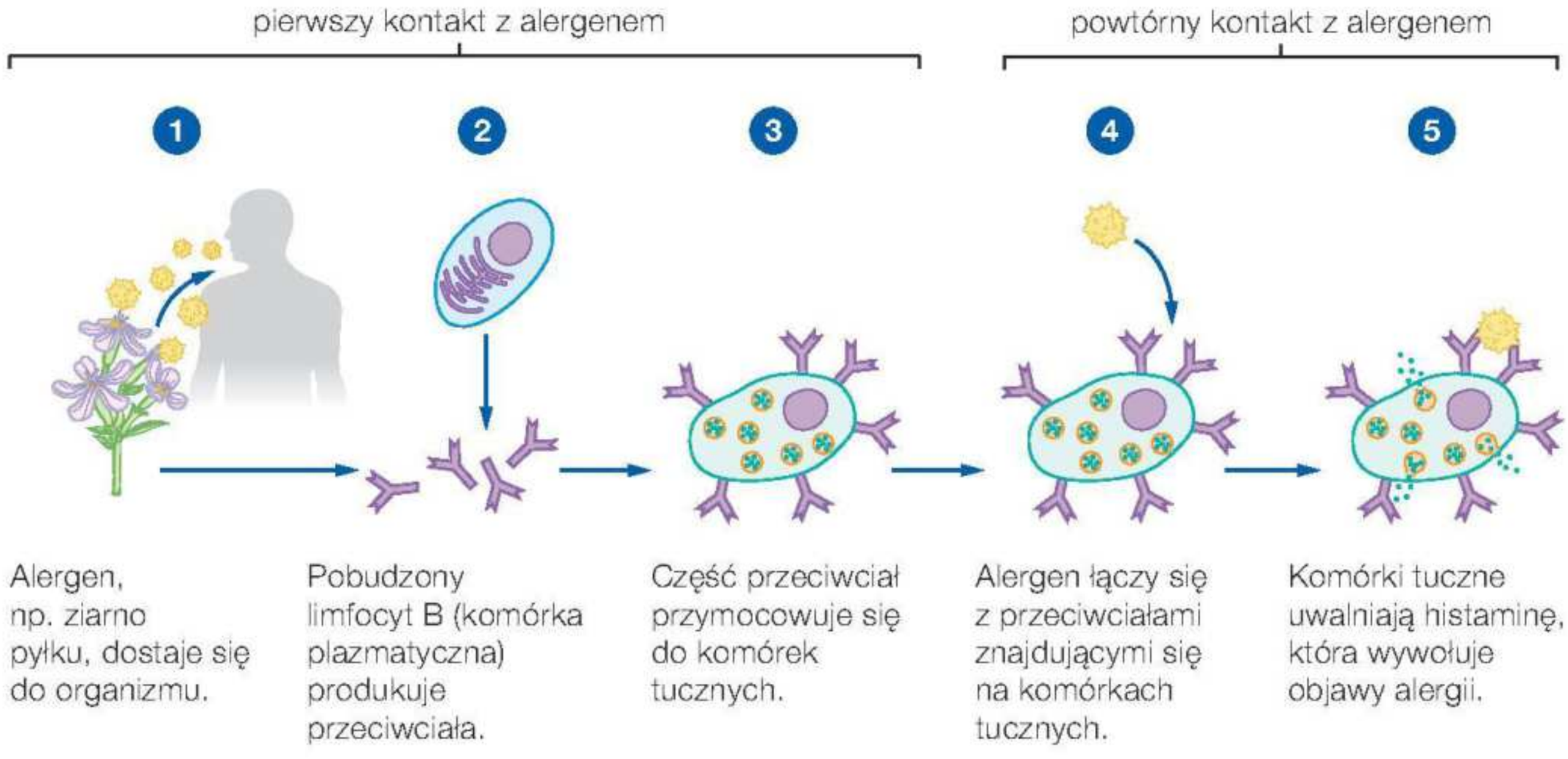
Skutki wydzielania histaminy w organizmie

Działanie histaminy	Objawy
Zwężenie dróg oddechowych	świszczący oddech, trudności w oddychaniu
Rozszerzanie naczyń krwionośnych	zaczerwienienie skóry w miejscu kontaktu z alergenem, pokrzywka
Zwiększanie przepuszczalności małych naczyń krwionośnych	obrzęk tkanek
Pobudzanie zakończeń nerwowych	swędzenie i miejscowa bolesność
Zwiększanie wydzielania śluzu w drogach oddechowych	zwężenie światła dróg oddechowych, trudności w oddychaniu

Transplantacja narządów i tkanek

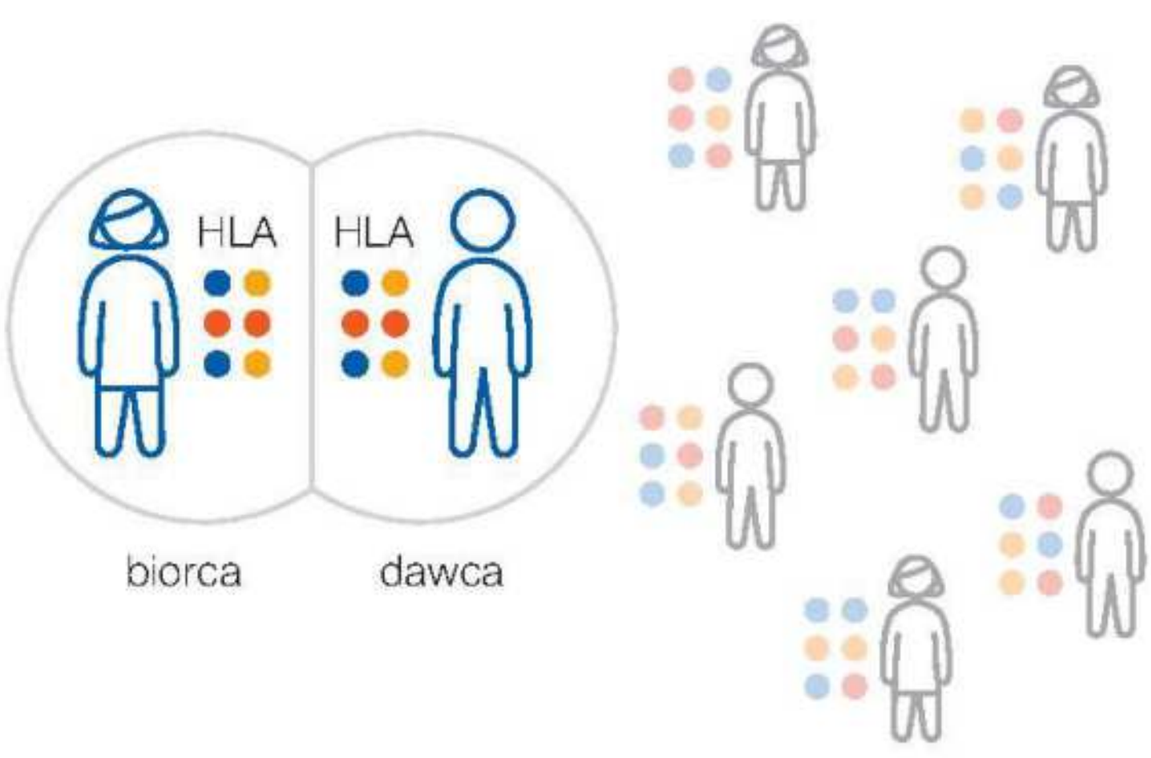
Transplantacja to przeszczepienie narządu lub tkanki z organizmu dawcy do organizmu biorcy, a także pobranie i przeniesienie narządu lub tkanki w obrębie jednego organizmu (np. przeszczep własnej skóry). Przeszczep może zostać odrzucony przez układ odpornościowy

Mechanizm powstawania reakcji alergicznej

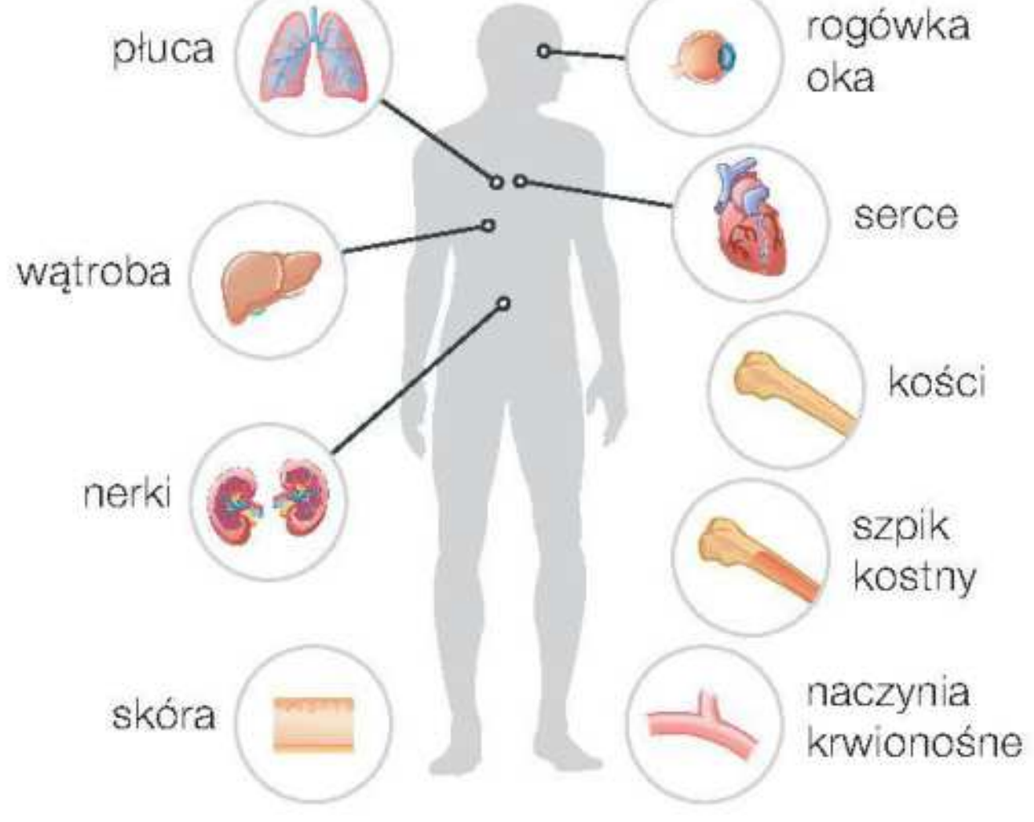


biorcy ze względu na różnice w zestawach antygenów zgodności tkankowej – MHC – które u człowieka określa się również skrótem HLA.

Aby zmniejszyć ryzyko odrzucenia przeszczepu, dawców poszukuje się najpierw w obrębie rodziny. Ponadto przed transplantacją wykonuje się testy zgodności tkankowej i oznaczenia grup krwi. Największe prawdopodobieństwo zgodności tkankowej występuje wtedy, gdy dawcą jest bliźniak jednojajowy. Dodatkowo stosuje się leki i zabiegi **immunosupresyjne**, które zmniejszają odporność i ryzyko odrzucenia przeszczepu, ale równocześnie zwiększają zagrożenie infekcją.



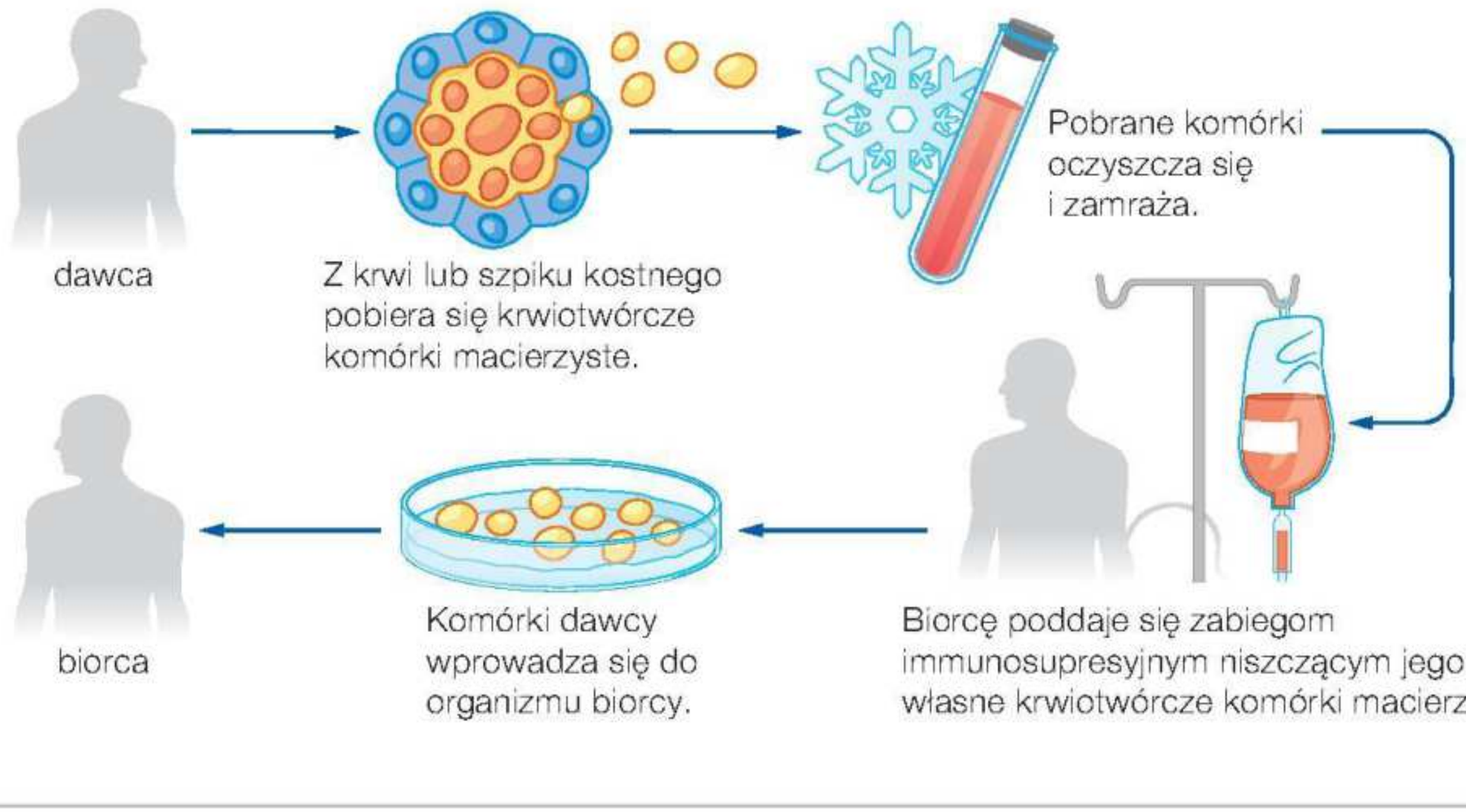
Pomiędzy dawcą a biorcą przeszczepu powinna występować jak największa zgodność antygenów HLA.



Przykłady przeszczepianych narządów i tkanek.

Znaczenie immunosupresji w transplantacji szpiku kostnego

Przy przeszczepie krwiotwórczych komórek macierzystych (np. w leczeniu białaczki) stosuje się zabieg immunosupresyjny, który polega na całkowitym zniszczeniu szpiku kostnego biorcy przez radioterapię (promieniowanie) lub chemioterapię. Immunosupresja zmniejsza ryzyko odrzucenia przeszczepu.



Choroby autoimmunizacyjne

Układ odpornościowy człowieka może się mylić i traktować komórki własnego ciała jako szkodliwe antygeny. Uruchamia wówczas reakcję odpornościową przeciwko tkankom własnego organizmu. Taka autoagresja powoduje powstanie chorób autoimmunizacyjnych, które mogą mieć różny przebieg.

Bielactwo nabyte

Bielactwo nabyte jest chorobą, w której przeciwciała uszkadzają melanocyty. W efekcie niektóre fragmenty skóry są pozbawione barwnika – melaniny – który chroni ją przed promieniowaniem UV. Osoby chore na bielactwo powinny chronić się przed słońcem, ponieważ brak melaniny w miejscu zmian skórnych zwiększa ryzyko poparzeń słonecznych i nowotworów skóry.

Na skórze osób chorych na bielactwo występują obszary pozbawione melaniny.



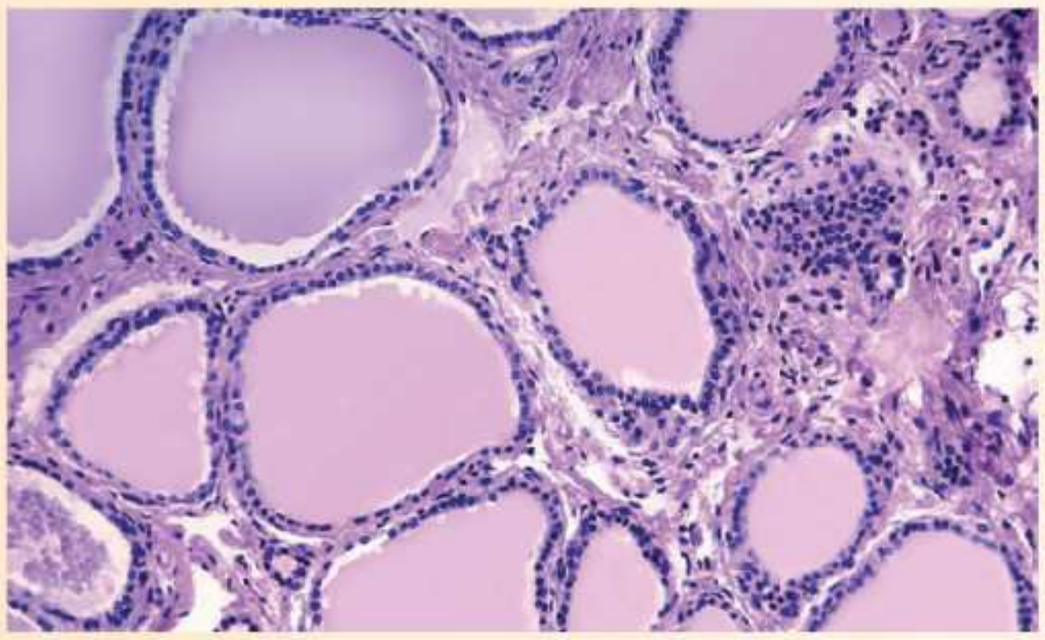
Reumatoidalne zapalenie stawów

Jest przewlekłym autoimmunologicznym stanem zapalnym symetrycznych stawów, który prowadzi do degradacji chrząstki stawowej i nasad kości. Z czasem choroba ta doprowadza do zniszczenia stawów. Następnie atakuje kolejne narządy wewnętrzne, przez co dochodzi np. do zapalenia naczyń krwionośnych i włóknienia płuc. Objawami reumatoidalnego zapalenia stawów są m.in. ból i sztywność stawów, osłabienie siły mięśniowej oraz wrażliwość na ucisk. Leczenie tej choroby obejmuje farmakoterapię i rehabilitację.

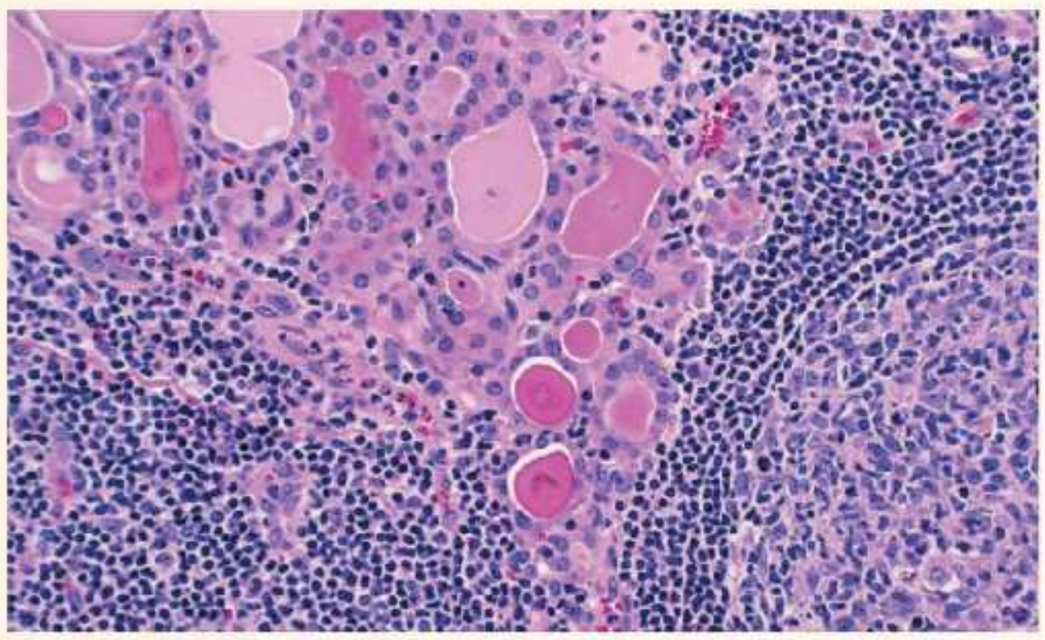
Reumatoidalne zapalenie stawów prowadzi do uszkodzenia chrząstek, więzadeł i ścięgien, zwłaszcza w mniej obciążonych stawach (np. w stawach palców).

Choroba Hashimoto

Choroba ta jest jedną z najczęstszych chorób autoimmunizacyjnych i jedną z najczęstszych przyczyn niedoczynności **tarczycy**. Polega na niszczeniu komórek tarczycy przez limfocyty. Objawami choroby Hashimoto są m.in. chroniczne zmęczenie, wzrost masy ciała, uczucie zimna, bóle stawów i mięśni oraz obecność przeciwciał anty-TG we krwi. W jej leczeniu podaje się hormony tarczycy. Bardzo duże znaczenie ma również odpowiednia dieta.



Tarczyca osoby zdrowej (obraz spod mikroskopu optycznego). Pęcherzyki tarczycy są wypełnione żelem zawierającym wydzielane przez nią hormony.



Tarczyca osoby chorującej na chorobę Hashimoto (obraz spod mikroskopu optycznego). Pęcherzyki tarczycy są niewielkie, widoczne są także liczne limfocyty.

Łuszczyca

Łuszczyca to przewlekła, uwarunkowana genetycznie choroba skórna. Jest ona spowodowana nieprawidłowym różnicowaniem się komórek naskórka. Leczenie łuszczycy obejmuje miejscowe stosowanie maści, a w poważniejszych przypadkach – przyjmowanie leków immunosupresyjnych.



Charakterystycznym objawem łuszczycy są łuszczące się wykwity skórne.

Polecenia kontrolne

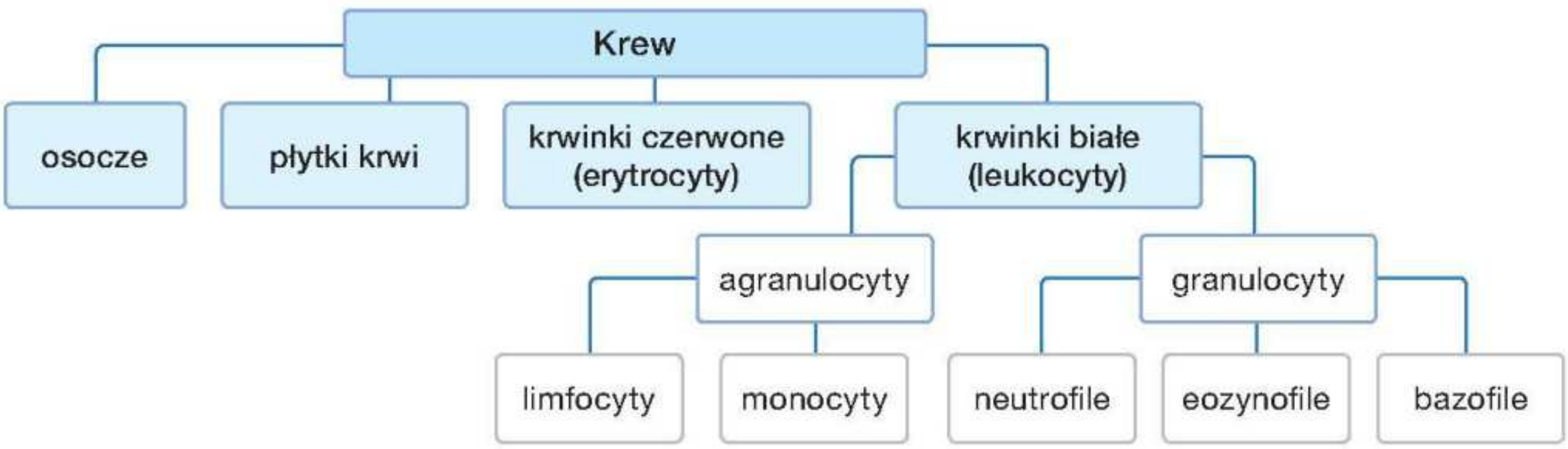
1. Wymień trzy czynniki, które mogą spowodować osłabienie odpowiedzi immunologicznej.
2. Określ, czy nadmierna odpowiedź immunologiczna może stanowić zagrożenie dla życia człowieka. Odpowiedź uzasadnij.
3. Na podstawie podręcznika i innych dostępnych źródeł przygotuj prezentację dotyczącą wybranej choroby autoimmunizacyjnej.
4. Wyjaśnij, na czym polega alergia. Podaj przykłady dwóch alergenów.
5. Wyjaśnij, dlaczego tak trudno znaleźć dawców narządów do przeszczepów spośród osób nienależących do najbliższej rodziny chorego.

Podsumowanie

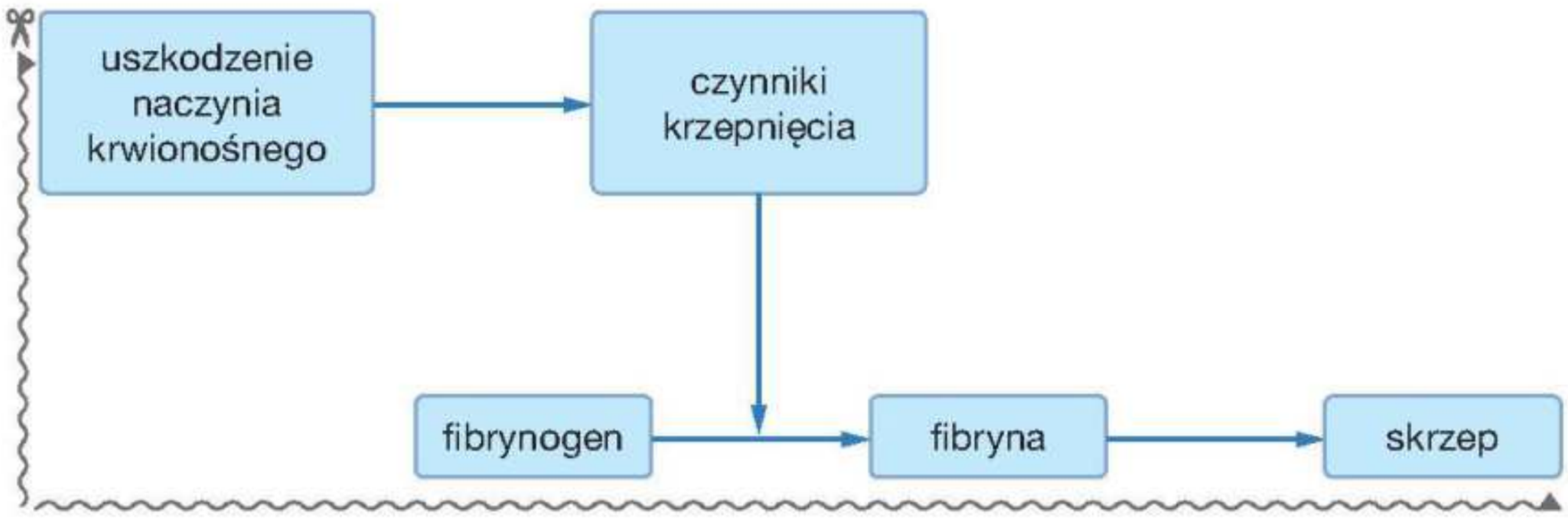
1 **Funkcje krwi:**

- **funkcja transportowa** – krew transportuje m.in. tlen, substancje pokarmowe, produkty przemiany materii oraz hormony,
- **funkcja regulacyjna** – krew utrzymuje odpowiedni poziom uwodnienia organizmu, optymalne pH i stałą temperaturę ciała,
- **funkcja obronna** – krew uczestniczy w obronie organizmu przed infekcjami.

2 **Skład krwi**



3 **Krzepnięcie krwi** – zespół reakcji prowadzących do powstania skrzepu, który zamyka uszkodzone naczynie krwionośne.



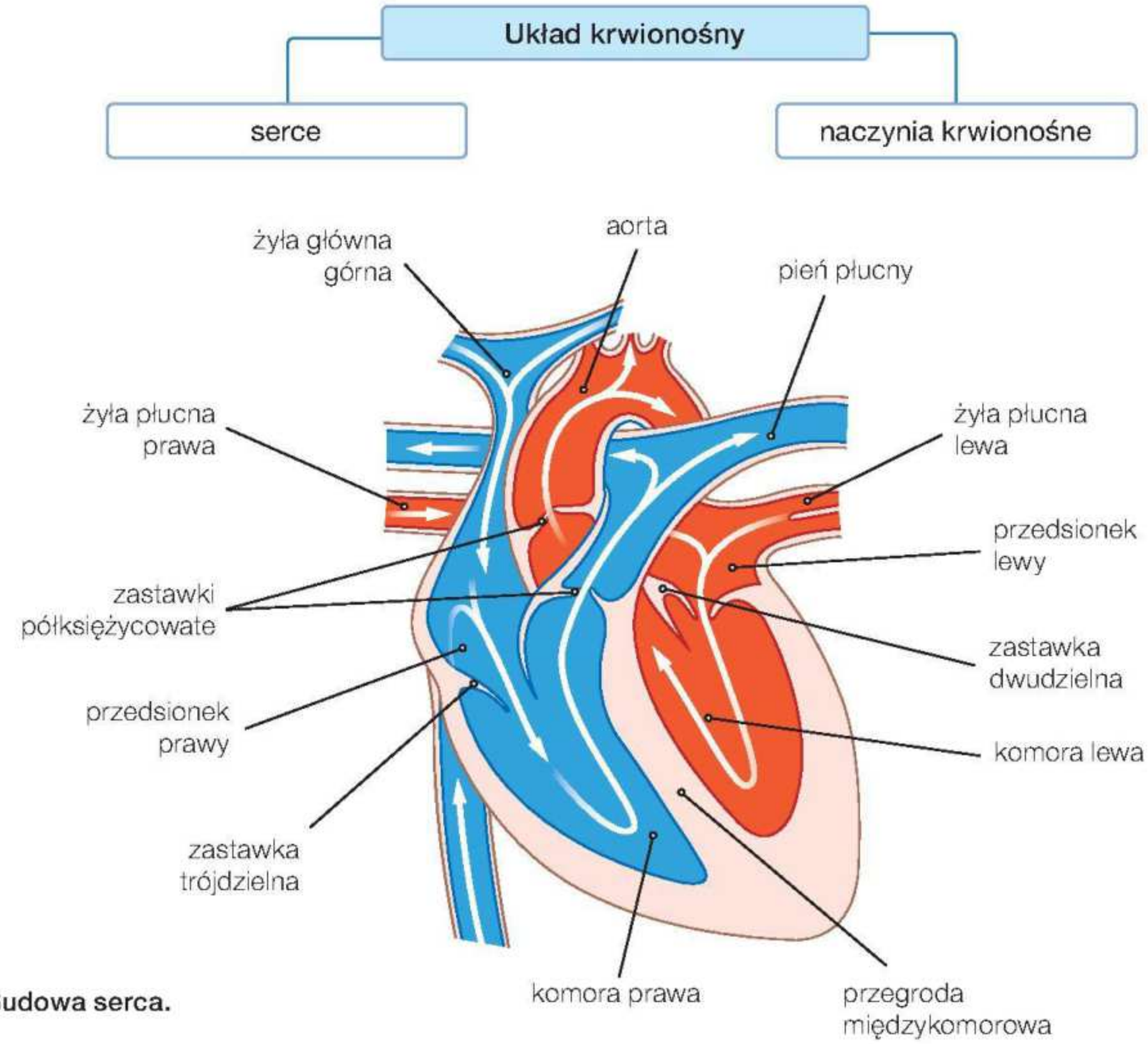
4 **Czynnik Rh**

W błonach erytrocytów występuje antygen D, nazywany czynnikiem Rh. Krew, w której stwierdza się obecność tego antygenu, określa się jako Rh+, natomiast krew pozbawioną antygenu D – jako Rh–.

5 **Konflikt serologiczny w zakresie Rh**

Konflikt serologiczny w zakresie Rh polega na atakowaniu erytrocytów płodu przez przeciwciała matki. Może on wystąpić, gdy matka ma grupę krwi Rh–, a dziecko odziedziczyło po ojcu grupę krwi Rh+.
Gdy w trakcie porodu dojdzie do kontaktu krwi matki z krwią dziecka, organizm matki wytwarza przeciwciała anty-RhD. Podczas kolejnej ciąży wytworzone wcześniej przeciwciała mogą przechodzić przez łożysko do krwi dziecka, co spowoduje aglutynację (zlepianie się) erytrocytów dziecka.

6 Budowa układu krwionośnego



Budowa serca.

7 Za automatyzm pracy serca jest odpowiedzialny **układ bodźcowo-przewodzący serca**, który zapoczątkowuje skurcze. Jest on zbudowany z:

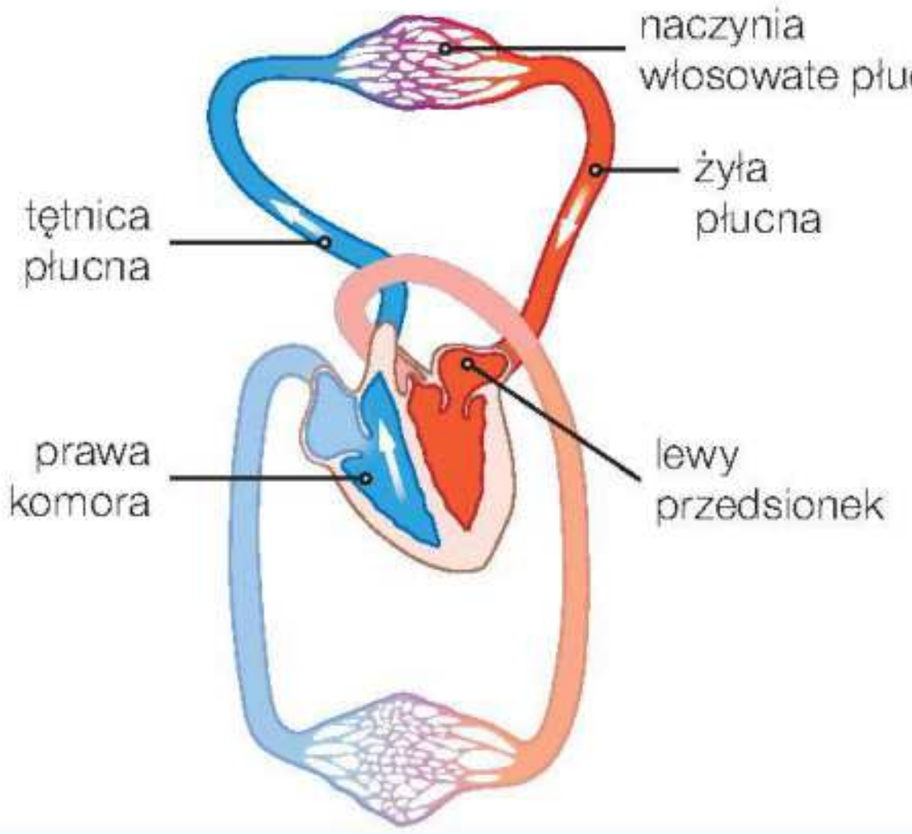
- **węzła zatokowo-przedsionkowego**, który inicjuje pracę serca przez pobudzanie do skurczu komórek mięśniowych przedsionków serca,
- **węzła przedsionkowo-komorowego**, który przekazuje pobudzenie do pęczka przedsionkowo-komorowego,
- **pęczka przedsionkowo-komorowego**, który przenosi pobudzenie do komór serca i wyzwala ich skurcz.

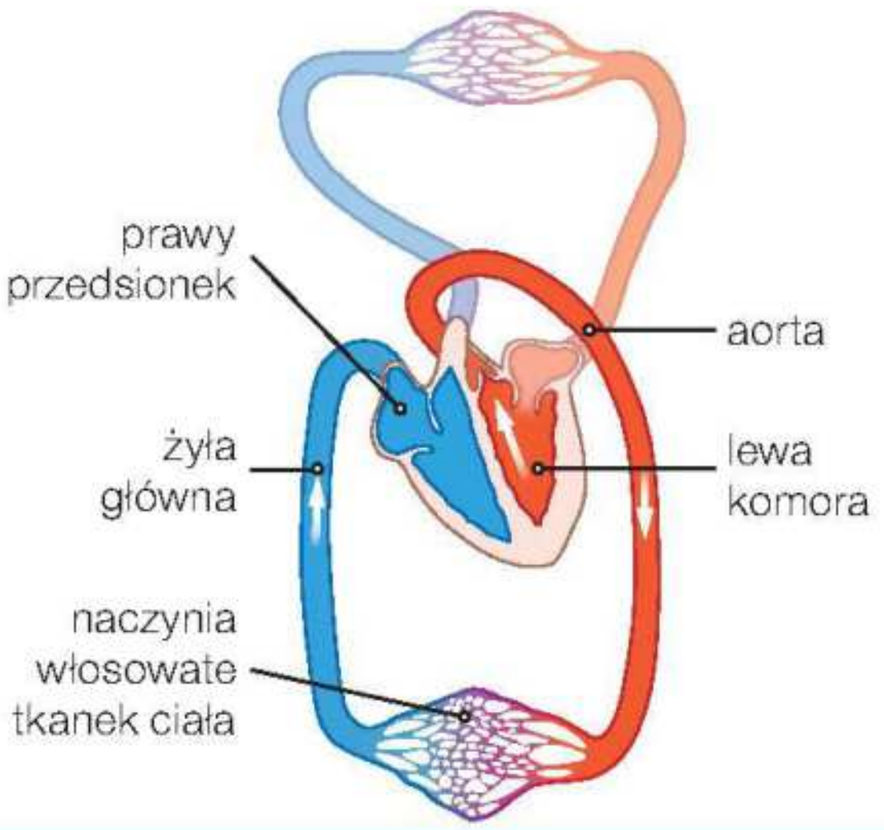
8 Porównanie budowy i funkcji naczyń krwionośnych

Cecha	Tętnice	Naczynia włosowate	Żyły
Ciśnienie krwi	duże	małe	małe
Obecność zastawek	brak	brak	obecne
Struktura ścian naczyń krwionośnych	elastyczne ściany, gruba warstwa mięśni gładkich	cienka warstwa nabłonka	wiotkie ściany, cienka warstwa mięśni gładkich
Funkcje	transport krwi z serca w kierunku tkanek	wymiana substancji między krwią a tkankami	transport krwi z tkanek do serca

9 Obiegi krwi człowieka

Płucny obieg krwi (mały obieg)	Ustrojowy obieg krwi (duży obieg)
prawa komora serca → tętnice płucne → → drobne tętnice → naczynia włosowate płuc → drobne żyły → żyły płucne → → lewy przedsionek serca	lewa komora serca → aorta → drobne tętnice → naczynia włosowate tkanek ciała → drobne żyły → żyły główne → prawy przedsionek serca





10 Funkcje układu limfatycznego:

- ochrona organizmu przed drobnoustrojami chorobotwórczymi,
- regulacja ilości płynów ustrojowych w organizmie,
- transport niektórych hormonów i tłuszczów do układu krwionośnego.

11 Limfa – płyn tkankowy, czyli przesącz osocza krwi, który wnika do naczyń limfatycznych. Ma skład podobny do osocza krwi, jednak zawiera mniej białek, a więcej limfocytów.

12 Funkcje narządów układu limfatycznego

Narząd układu limfatycznego	Funkcje
Szpik kostny czerwony	• Pełni funkcję krwiotwórczą – odpowiada za wytwarzanie wszystkich elementów morfotycznych krwi.
Grasica	• Odpowiada za kształtowanie odporności – wydziela hormony regulujące proces dojrzewania i namnażania limfocytów T.
Śledziona	• Pełni funkcję magazynującą – gromadzi i uwalnia krew, gdy organizm jej potrzebuje. • Niszczy zużyte leukocyty i starzejące się lub uszkodzone erytrocyty i płytki krwi.
Węzły chłonne	• Pełnią funkcję filtrującą – filtrują limfę, dzięki czemu zatrzymują znajdujące się w niej drobnoustroje chorobotwórcze. • Są miejscem namnażania się limfocytów T i B.
Grudki limfatyczne	• Zwalczają drobnoustroje chorobotwórcze dzięki obecności znacznej ilości leukocytów.
Migdałki podniebienne	• Tworzą pierścień wokół gardła, który chroni organizm przed infekcjami układu oddechowego.

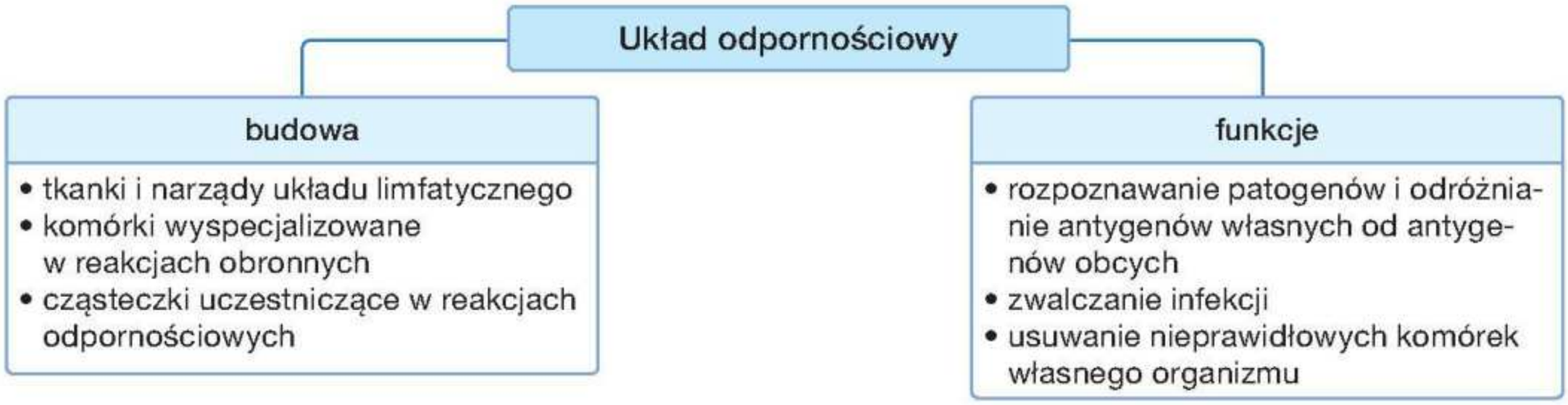
13 Metody diagnostyczne chorób układu krążenia

Metoda diagnostyczna	Opis
Echo serca (USG serca)	• Umożliwia pomiar przepływu krwi przez serce. • Pozwala na ocenę budowy i pracy serca (skurcz mięśnia i ruch zastawek).
EKG (elektrokardiografia)	• Pozwala na ocenę pracy serca.
Badanie Holtera	• Rejestruje rytm pracy serca w ciągu doby. • Pozwala na monitorowanie pracy serca w trakcie wykonywania codziennych czynności.
Angiokardiografia	• Umożliwia badanie jam serca i naczyń krwionośnych.
Pomiar ciśnienia krwi	• Pozwala na wykrycie nadciśnienia lub niedociśnienia.

14 Choroby układu krążenia

Choroby	Przyczyny	Objawy	Diagnostyka
Nadciśnienie tętnicze	• zbyt szybkie pompowanie krwi do naczyń krwionośnych • zwężenie i mała elastyczność naczyń krwionośnych wywołane np. miażdżycą	• zawroty głowy • bóle głowy • krwawienie z nosa • krótki oddech	• regularne pomiary ciśnienia krwi
Żylaki	• utrudniony przepływ krwi w żyłach, prowadzący do wiotczenia ich ścian • siedzący tryb życia, nadwaga, nadmierny wysiłek fizyczny	• opuchlizna nóg • pajęczyna żył • palący ból nóg • uczucie ciężkości nóg • skurcze mięśni nóg	• USG dopplerowskie naczyń krwionośnych • angiografia
Miażdżyca	• uszkodzenie śródbłonka naczyń krwionośnych i osadzanie się w tym miejscu złogów cholesterolu zwężających światło naczyń krwionośnych	• ból w klatce piersiowej • zadyszka • zawroty głowy • zimne ręce i stopy • problemy z pamięcią	• badania krwi • USG dopplerowskie naczyń krwionośnych • angiografia
Udar mózgu	• złożone, mogą nimi być inne choroby, np. miażdżyca, choroby serca, cukrzyca, nadciśnienie	• uczucie ciężkich kończyn • zaburzenia widzenia • asymetria twarzy • zaburzenia mowy	• rezonans magnetyczny • tomografia komputerowa • angiografia tętnic mózgu
Choroba wieńcowa i zawał serca	• niedostateczne ukrwienie serca w wyniku zwężenia naczyń wieńcowych o podłożu miażdżycowym	• ból w klatce piersiowej • skrócony oddech • nudności lub wymioty • zmęczenie • zimne poty • uczucie podobne do zgagi • uczucie mrowienia, np. w plecach, szyi, szczęce	• badanie krwi • EKG i USG serca • echokardiografia • angiokardiografia

15 Budowa i funkcje układu odpornościowego

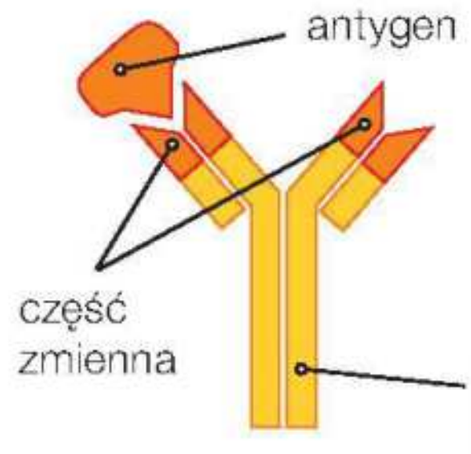


16 Elementy układu odpornościowego

Nazwa elementu	Funkcje
Tkanki i narządy układu limfatycznego	
Szpik kostny czerwony	Jest miejscem powstawania komórek układu odpornościowego i dojrzewania limfocytów B.
Grasica	Jest miejscem dojrzewania limfocytów T.
Śledziona	Niszczy zużyte krwinki i płytki krwi.
Węzły chłonne	Filtrują limfę, zatrzymują i neutralizują patogeny.
Grudki chłonne i migdałki	Zatrzymują limfocyty, są miejscem namnażania się limfocytów.
Komórki wyspecjalizowane w reakcjach obronnych	
Makrofagi	Niszczą patogeny przez fagocytozę. Prezentują antygeny.
Granulocyty:	
– neutrofile	Niszczą patogeny przez fagocytozę i uwalniają toksyczne substancje.
– eozynofile	Fagocytują obce cząsteczki oraz zwalczają pasożyty.
– bazofile	Wydzielają histaminę. Biorą udział w reakcjach alergicznych i zapalnych.
Limfocyty:	
– komórki NK	Kontrolują komórki organizmu, niszczą komórki nowotworowe i komórki zainfekowane wirusami.
– T	Regulują reakcje obronne, niszczą patogeny.
– B	Przekształcają się w komórki plazmatyczne, które produkują przeciwciała. Prezentują antygeny.
Komórki tuczne	Uwalniają histaminę i wywołują stan zapalny.
Komórki dendrytyczne	Niszczą patogeny przez fagocytozę. Prezentują antygeny.
Cząsteczki uczestniczące w reakcjach odpornościowych	
Przeciwciała (immunoglobuliny – Ig)	Łączą się z antygenami i wskazują je komórkom układu odpornościowego.
Białka ostrej fazy	Uczestniczą w reakcji zapalnej, m.in. ułatwiają makrofagom fagocytozę.
Cytokiny	Pobudzają inne komórki układu odpornościowego, wpływają na ich wzrost i podziały.

17 **Antygeny zgodności tkankowej (MHC/HLA)** – białka, które znajdują się na powierzchni większości komórek. Układ odpornościowy wykorzystuje je, aby odróżnić komórki należące do organizmu od obcych komórek. Antygeny zgodności tkankowej mają duże znaczenie w transplantologii – im większa jest ich zgodność między dawcą a biorcą, tym mniejsze jest ryzyko odrzucenia przeszczepu.

18 **Przeciwciała** – białka produkowane przez limfocyty B. Mają zwykle kształt litery Y, a końcówki ich ramion są zakończone charakterystyczną sekwencją aminokwasów, która jest dopasowana przestrzennie do konkretnego antygenu.



Budowa przeciwciała.

19 **Rodzaje odporności swoistej**

Odporność

nieswoista (wrodzona)
- jest wymierzona przeciwko wszystkim antygenom
- działa szybko, w momencie zagrożenia
- istnieje od momentu narodzin

swoista (nabyta)
- jest wymierzona przeciwko konkretnemu antygenowi
- rozwija się powoli, działa szybciej przy kolejnym kontakcie z antygenem
- rozwija się w ciągu życia

bariery obronne
- skóra, błony śluzowe i ich wydzieliny
- odruchy obronne (kichanie, kaszel)

I linia obrony

obrona komórkowa i chemiczna
- neutrofile, makrofagi, komórki NK
- cytokiny, białka ostrej fazy

II linia obrony

rozpoznanie i zlikwidowanie patogenu
- limfocyty T i B
- przeciwciała

III linia obrony

20 **Reakcja zapalna** – ciąg reakcji, które zapobiegają rozprzestrzenianiu się szkodliwych czynników do pobliskich tkanek oraz umożliwiają usuwanie resztek martwych komórek i patogenów. W reakcji zapalnej uczestniczą różne rodzaje komórek układu odpornościowego oraz cząsteczki, np. białka ostrej fazy.

21 **Rodzaje odporności wyróżniane ze względu na to, które elementy układu odpornościowego są zaangażowane w reakcję odpornościową**

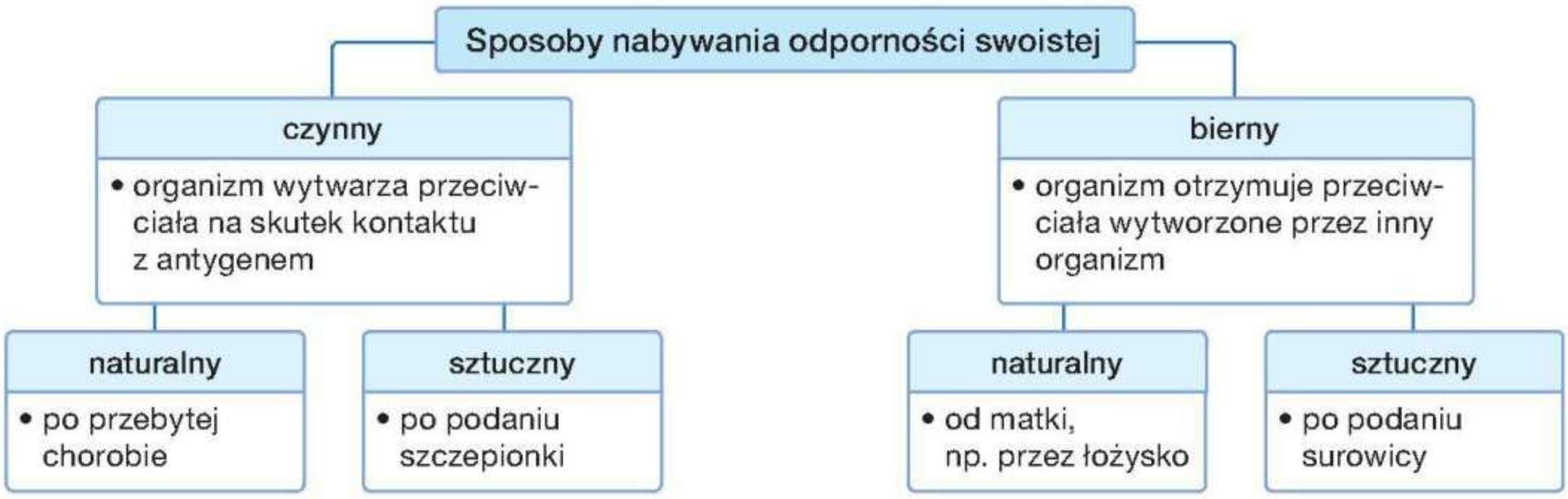
Odporność

komórkowa
- polega na niszczeniu komórek rozpoznawanych jako obce przez komórki układu odpornościowego, głównie limfocyty Tc

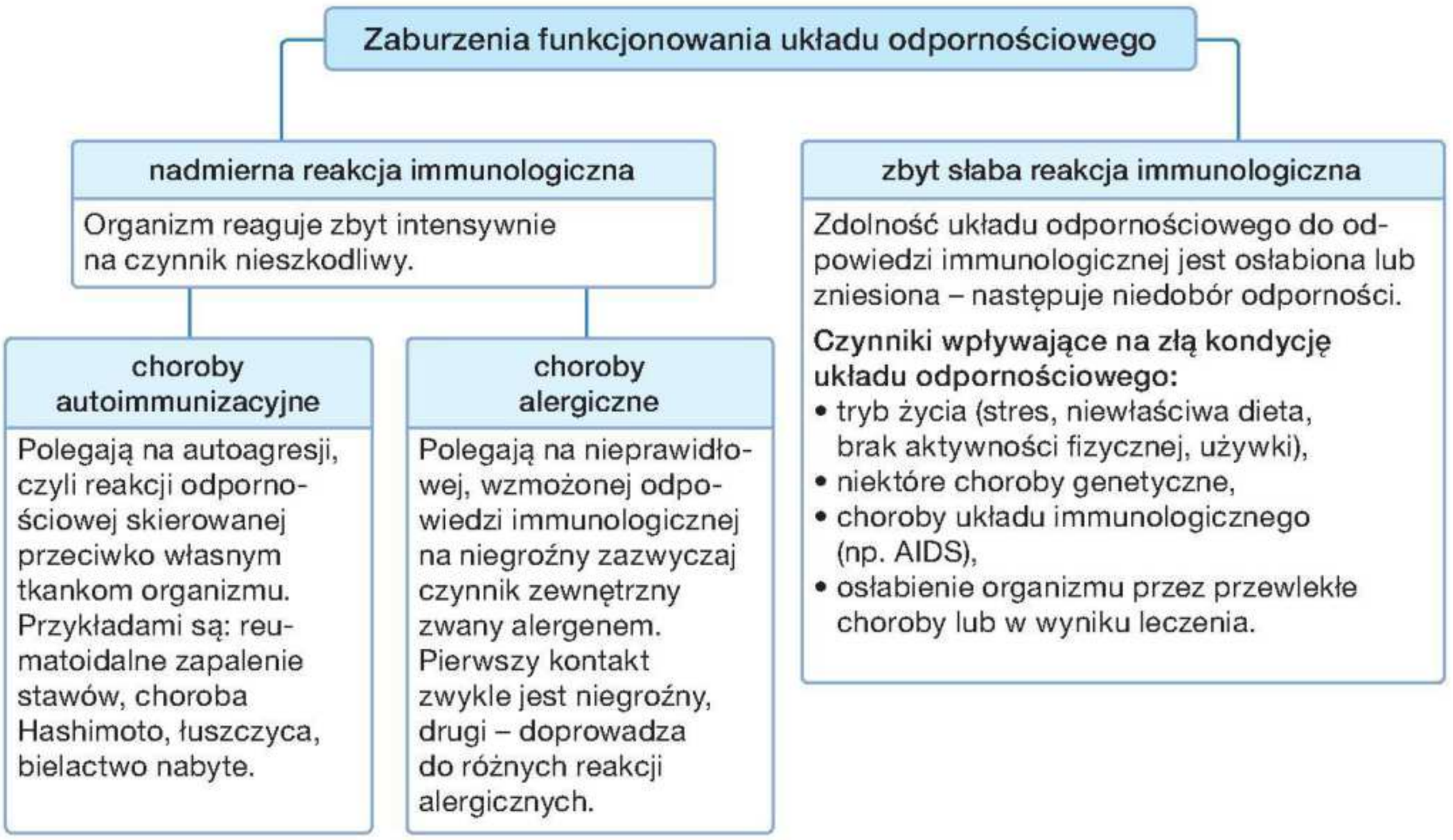
humoralna
- polega na niszczeniu antygenów przy udziale cząsteczek, głównie przeciwciał, wytwarzanych przez aktywowane limfocyty B

22 **Pamięć immunologiczną** tworzą komórki pamięci immunologicznej i przeciwciała wytworzone po pierwszym kontakcie z antygenem w czasie **pierwotnej odpowiedzi immunologicznej**. Umożliwia ona szybką reakcję układu odpornościowego przy ponownym wniknięciu antygenu, czyli **wtórną odpowiedź immunologiczną**.

23 **Rodzaje odporności**



24 **Reakcje układu odpornościowego**



25 **Immunosupresja** – zmniejszenie odporności organizmu, stosowane u pacjentów po przeszczepie, w leczeniu chorób autoimmunizacyjnych i w łagodzeniu objawów alergii.

Sposób na zadania

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Białko CRP należy do białek ostrej fazy. Jego wzmożona synteza zachodzi m.in. w reakcji zapalnej. Badanie CRP, które określa stężenie tego białka we krwi, jest stosowane w szybkiej, przesiewowej diagnostyce różnicowej infekcji – pozwala odróżnić infekcje bakteryjne od infekcji wirusowych.

a) Uzasadnij, że badanie CRP przyczynia się do ograniczenia stosowania antybiotyków. W odpowiedzi uwzględnij różnice w wynikach badań podczas infekcji bakteryjnych i infekcji wirusowych.

b) Oceń poprawność stwierdzenia: „Białka ostrej fazy biorą udział w nieswoistej reakcji odpornościowej". Odpowiedź uzasadnij, odwołując się do funkcji tych białek.

c) Podaj nazwę narządu, w którym są syntetyzowane białka ostrej fazy.

Wskazówki

Podpunkt a)

1. Przypomnij sobie wiadomości dotyczące białek ostrej fazy, a w szczególności białka CRP. Informacje na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 263.
2. Zwróć szczególną uwagę na różnicę w wyniku badań poziomu CRP w przypadku infekcji wirusowych i bakteryjnych.
3. Zastanów się, w przypadku których chorób stosowane są antybiotyki. Informacje na ten temat znajdziesz w podręczniku do klasy 2 na s. 46.
4. Powiąż informacje dotyczące interpretacji wyników badań poziomu CRP z wiadomościami na temat rodzaju infekcji, które wymagają zastosowania antybiotyków.
5. Sformułuj odpowiedź.

Podpunkt b)

1. Przypomnij sobie kryteria pozwalające na wyróżnienie rodzajów odporności. Informacje na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 265.
2. Zastanów się, jakie są różnice między poszczególnymi rodzajami odporności. Informacje te znajdują się w podręczniku na s. 265.
3. Przypomnij sobie, jakie są funkcje białek ostrej fazy. Informacje na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 263.
4. Powiąż informacje dotyczące kryterium decydującego o rodzaju odporności z wiedzą na temat funkcji białek ostrej fazy.
5. Sformułuj odpowiedź.

Podpunkt c)

1. Przypomnij sobie wiadomości dotyczące białek ostrej fazy. Informacje na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 263.
2. Zwróć szczególną uwagę na miejsce syntezy białek ostrej fazy.
3. Sformułuj odpowiedź.

Zadania powtórzeniowe

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Alergie to nadmierne, patologiczne reakcje odpornościowe na czynniki, które nie są dla organizmu szkodliwe. W ich leczeniu stosuje się m.in. leki antyhistaminowe.

a) Wyjaśnij, dlaczego w leczeniu alergii stosuje się leki antyhistaminowe. W odpowiedzi uwzględnij mechanizmy występujące w przebiegu reakcji alergicznej.

b) Określ, w jaki sposób leki antyhistaminowe zwalczają objawy ze strony układu oddechowego, które występują podczas alergii. W odpowiedzi uwzględnij dwa skutki zastosowania tych leków.

c) Podkreśl nazwę leukocytu, który nie uczestniczy w reakcji alergicznej.

limfocyty, monocyty, neutrofile, bazofile, eozynofile

2 „Malaria (zimnica) jest zakaźną chorobą spowodowaną przez zarodźce malarii należące do pięciu gatunków, z czego największe znaczenie mają: *Plasmodium falciparum* i *Plasmodium vivax*. […] Zarażenie zarodźcem malarii następuje w wyniku ukłucia przez zarażoną samicę komara widliszka (*Anopheles* spp.), która w czasie penetracji skóry człowieka w poszukiwaniu krwi uwalnia ślinę zawierającą zarodźce w postaci sporozoitów. Trafiają one do hepatocytów, w których przekształcają się w schizonty. W wyniku rozpadu zarażonych komórek wątroby następuje uwolnienie do krwiobiegu merozoitów, które następnie wnikają do erytrocytów, będących miejscem ich dalszego rozwoju […]. Gorączka i dreszcze, które są typowymi objawami malarii, są spowodowane jednoczesnym rozpadem zarażonych erytrocytów i uwalnianiem kolejnych pokoleń merozoitów. Około 10% merozoitów daje następnie początek gametocytom, które są prekursorami gamet, i po ukłuciu przez kolejnego komara przedostają się do jego przewodu pokarmowego, inicjując kolejny cykl rozwoju zarodźca […]. […] Antygeny układu AB0 nie uczestniczą bezpośrednio w procesie wnikania zarodźców malarii do komórek, ale są one wiązane przez receptor występujący na powierzchni erytrocytów zarażonych przez merozoity *P. falciparum*, nazywany PfEMP-1 (*P. falciparum* erythrocyte membrane protein-1). Białko to jest produkowane przez merozoity zarodźca i pojawia się na powierzchni zarażonych erytrocytów […]. Receptor ten rozpoznaje antygeny A i B na powierzchni komórek śródbłonka, co powoduje wychwytywanie z krwiobiegu zarażonych erytrocytów, które unikają w ten sposób zniszczenia w śledzionie […]".

Źródło: M. Czerwiński, *Grupy krwi – minusy i plusy. Czy antygeny grupowe krwi chronią nas przed chorobami zakaźnymi?*, „Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej" 2015, t. 69, s. 703–722.

a) Określ, czy komar widliszek jest żywicielem pośrednim czy żywicielem ostatecznym zarodźca malarii. Odpowiedź uzasadnij, uwzględniając informacje zawarte w treści zadania.

b) Wybierz i zaznacz nazwę tej grupy patogenów, do której należą zarodźce malarii.

A. Wirusy. B. Bakterie. C. Protisty. D. Grzyby.

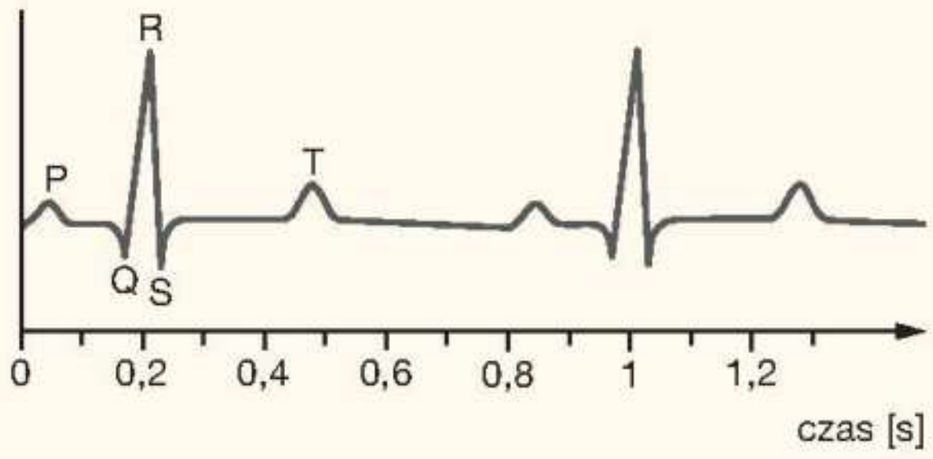
c) Uzasadnij, że osoby o grupie krwi 0 mają większe szanse na wyzdrowienie po zarażeniu zarodźcem malarii niż osoby o grupie A, B lub AB.

d) Określ różnicę w budowie antygenów A i antygenów B.

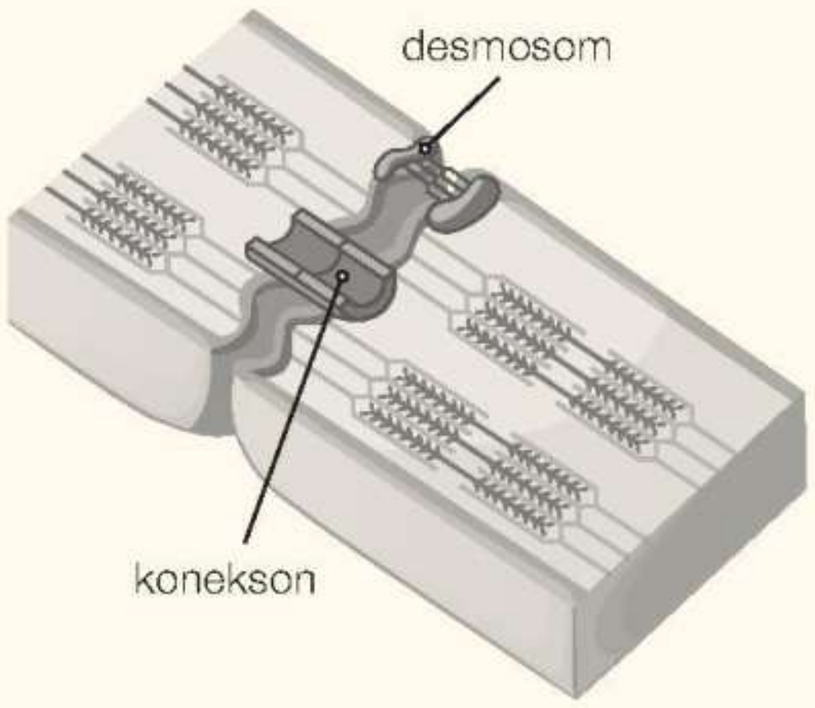
e) Podaj przykłady dwóch chorób – innych niż malaria – które są przenoszone na człowieka przez krwiopijne stawonogi.

3 Poniżej przedstawiono fragment elektrokardiogramu (A) oraz dwa rodzaje połączeń międzykomórkowych występujących między kardiomiocytami (B).

A.



B.



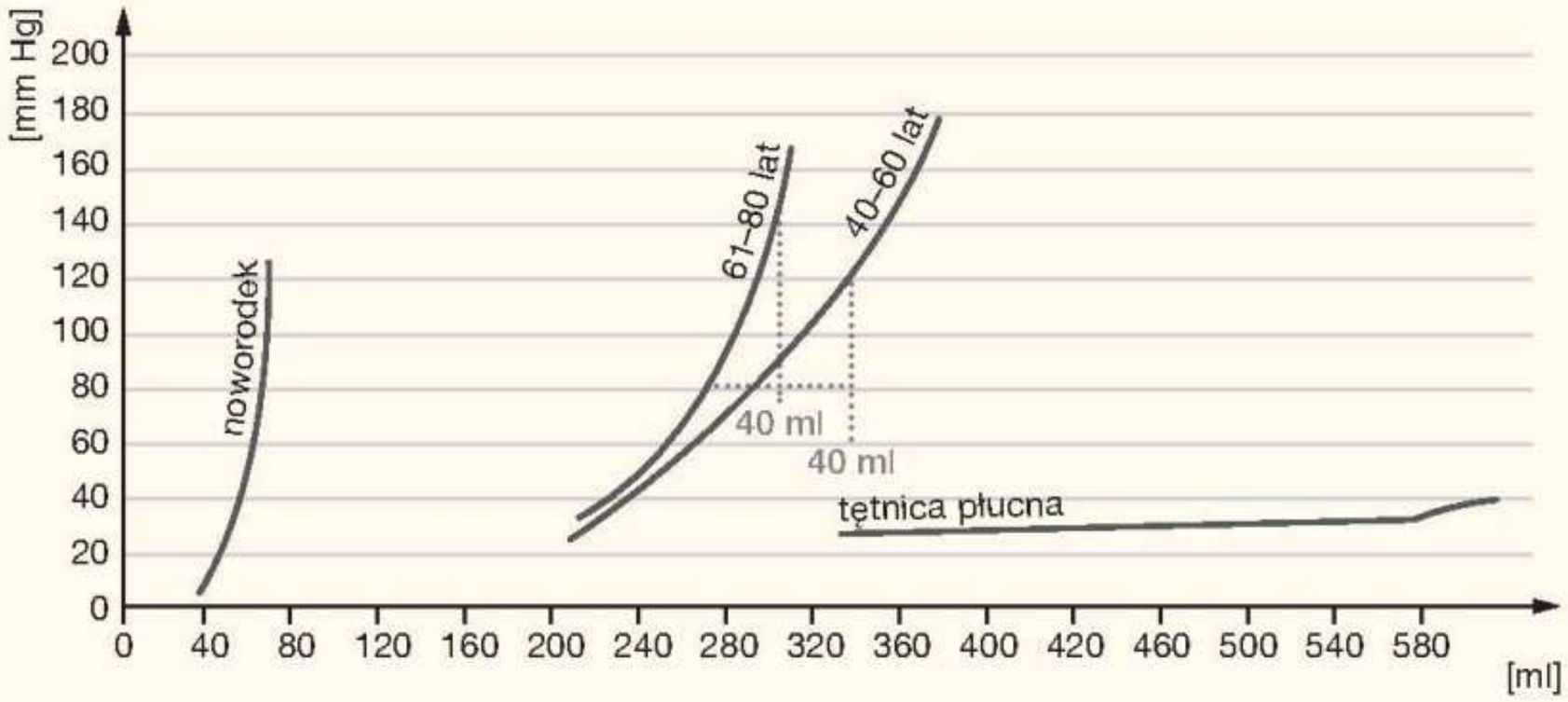
a) Określ, które z załamków elektrokardiogramu odpowiadają poniższym procesom. Wpisz oznaczenia P, QRS i T w odpowiednich miejscach tabeli.

Opis fazy	Oznaczenie fazy
Postępujący stan spoczynku w komórkach mięśniowych komór, który skutkuje rozkurczem komór.	?
Rozprzestrzenianie się stanu pobudzenia w komórkach mięśniowych przedsionka, co prowadzi do skurczu przedsionków.	?
Przejście stanu pobudzenia do mięśnia komór, co wywołuje skurcz komór.	?

b) Podaj nazwę elementu układu bodźcowo-przewodzącego serca, który generuje impulsy elektryczne inicjujące skurcz serca.

c) Określ, które połączenie międzykomórkowe – desmosom czy konekson – umożliwia szybki przepływ pobudzenia między kardiomiocytami. Odpowiedź uzasadnij, odwołując się do kontaktujących się za pośrednictwem tego połączenia elementów budowy komórki.

4 Na wykresie przedstawiono zależność między objętością krwi rozciągającą ściany aorty a ciśnieniem wewnątrz tego naczynia u noworodka, osób w średnim wieku (40–60 lat) i osób starszych (61–80 lat), a także zależność między objętością krwi rozciągającą ściany tętnicy płucnej a ciśnieniem panującym w jej wnętrzu. Ponadto na wykresie zaznaczono objętość wyrzutową serca, która wynosi 40 ml. Objętość ta powoduje zwiększenie ciśnienia z wartości rozkurczowej do wartości skurczowej.



Źródło: *Fizjologia człowieka z elementami fizjologii stosowanej i klinicznej*, red. W.Z. Traczyk, A. Trzebski, Warszawa 2019, s. 525.

a) Na podstawie wykresu oceń, czy poniższe stwierdzenia dotyczące ciśnienia i objętości krwi w naczyniach tętniczych są prawdziwe. Zaznacz P, jeśli stwierdzenie jest prawdziwe, albo F – jeśli jest fałszywe.

1.	Różnica między ciśnieniem rozkurczowym a ciśnieniem skurczowym jest większa u osób w średnim wieku niż u osób starszych.	P	F
2.	U noworodka objętość krwi rozciągającej ściany aorty jest kilkukrotnie niższa niż u osób w wieku średnim i starszym.	P	F
3.	W tętnicy płucnej panuje wyższe ciśnienie krwi niż w aorcie.	P	F

b) Podaj nazwę części serca, której skurcz tłoczy krew do aorty. Uwzględnij stronę serca, po której znajduje się ta część.

c) Wykaż związek między budową aorty a pełnioną przez nią funkcją.

5 „Toksoplazmoza może mieć […] bardzo ciężki przebieg u płodów (zarażonych drogą łożyskową) […]. Wrodzona postać choroby może się ujawnić w postaci bardzo wielu objawów, które w dużym stopniu zależą od okresu zarażenia płodu podczas ciąży […].
[…] Podstawą współczesnej diagnostyki toksoplazmozy są badania serologiczne, które polegają na wykryciu w surowicy lub płynach ustrojowych osób zarażonych pasożytem specyficznych przeciwciał anty-*T. gondii* klasy IgG, IgM oraz – w niektórych przypadkach – IgA.
[…] Jeśli w surowicy pacjentki obecne są przeciwciała klasy IgG, należy ustalić, czy jest to następstwo wcześniejszego zarażenia (toksoplazmoza przewlekła), czy skutek obecnej aktywnej inwazji pasożyta (toksoplazmoza wczesna, pierwotna). W pierwszym przypadku dzięki ochronnemu działaniu przeciwciał nie występuje zagrożenie dla rozwijającego się płodu, natomiast w przypadku toksoplazmozy wczesnej należy rozpocząć leczenie kobiety ciężarnej. Obecnie uważa się, że wczesną fazę choroby może wskazywać dynamika specyficznych przeciwciał w klasie IgG (3–4-krotny wzrost miana wykazany w kolejnych badaniach surowicy danej pacjentki), a także wykrycie przeciwciał IgM i dodatkowo IgA […]".

Ryzyko zarażenia płodu oraz rozwoju objawów klinicznych w zależności od wieku ciążowego, w którym nastąpił rozwój przeciwciał anty-*T. gondii*

Czas trwania ciąży (tyg.)	Ryzyko zarażenia płodu (%)	Ryzyko rozwoju objawów klinicznych (%)
12	6	75
16	15	55
20	18	40
24	30	33
28	45	21
32	60	18
36	70	15
40	80	12

Źródło: L. Holec-Gąsior, D. Lautenbach, D. Drapała, J. Kur, *Prawidłowe rozpoznanie toksoplazmozy u kobiet ciężarnych – ważność badań diagnostycznych oraz nowe możliwości*, „Forum Medycyny Rodzinnej" 2010, t. 4, nr 4, s. 255–262.

a) Wyjaśnij, dlaczego w diagnostyce wczesnej fazy toksoplazmozy istotne znaczenie ma wykrywanie u ciężarnej przeciwciał IgM. W odpowiedzi uwzględnij funkcję przeciwciał tej klasy.

b) Określ, dlaczego tylko przeciwciała klasy IgG chronią rozwijający się płód przed tokspolazmozą.

c) Na podstawie danych zamieszczonych w tabeli sformułuj wniosek dotyczący różnicy między ryzykiem zarażenia płodu a ryzykiem rozwoju objawów klinicznych w zależności od wieku ciążowego, w którym nastąpił rozwój przeciwciał anty-*T. gondii*.

7. Układ moczowy

7.1. Osmoregulacja i wydalanie u zwierząt
7.2. Budowa i funkcjonowanie układu moczowego
7.3. Choroby układu moczowego

Fot. Nefrony (mikrofotografia elektronowa).

7.1. Osmoregulacja i wydalanie u zwierząt

Zwróć uwagę na:

- osmoregulację u zwierząt żyjących w różnych środowiskach,
- istotę procesu wydalania,
- związek między środowiskiem życia zwierząt a rodzajem wydalanego azotowego produktu przemiany materii,
- układy wydalnicze zwierząt,
- tendencje ewolucyjne w budowie kanalików wydalniczych.

Prawidłowe funkcjonowanie organizmu zależy od stopnia jego uwodnienia oraz odpowiedniego stężenia elektrolitów, czyli zdysocjowanych w wodzie związków chemicznych. Procesy warunkujące utrzymanie równowagi wodno-elektrolitowej określa się mianem **osmoregulacji**. U zwierząt w procesy te są zaangażowane: skóra, skrzela, płuca, drogi oddechowe, niektóre gruczoły, narządy wydalnicze oraz jelito.

W wodnym środowisku ciała znajdują się także zbędne oraz szkodliwe produkty przemiany materii. Ich usuwanie z organizmu nosi nazwę **wydalania**. Za proces ten odpowiedzialne są głównie narządy wydalnicze.

Osmoregulacja

Równowaga (homeostaza) wodno-elektrolitowa jest również nazywana równowagą wodno-mineralną. **Elektrolity** to związki chemiczne, głównie sole mineralne, które w roztworze wodnym ulegają dysocjacji na jony – dodatnio naładowane kationy oraz ujemnie naładowane aniony. Wodne roztwory elektrolitów znajdują się zarówno w komórkach, jak i w płynach ustrojowych zwierząt.

Na homeostazę wodno-elektrolitową składają się:

- utrzymanie względnie stałej objętości wody w organizmie (bilans wodny),
- utrzymanie względnie stałego stężenia elektrolitów (w formie jonów),
- utrzymanie względnie stałego ciśnienia osmotycznego komórek i płynów ustrojowych (równowaga osmotyczna),
- utrzymanie względnie stałego stężenia jonów wodorowych (równowaga kwasowo-zasadowa).

Z osmoregulacją wiąże się ściśle **bilans wodny**, czyli różnica między objętością wody pobranej a objętością wody utraconej przez organizm w danej jednostce czasu (np. w ciągu doby). Zrównoważony bilans wodny organizmu powinien wynosić zero.

Osmoregulacja u zwierząt lądowych

Zwierzęta – w zależności od środowiska życia i poziomu rozwoju ewolucyjnego – wykształciły różne sposoby zachowania równowagi wodno-elektrolitowej.

Dla organizmów lądowych największym zagrożeniem jest utrata wody. W środowisku lądowym zwierzęta tracą wodę głównie na skutek jej parowania z powierzchni ciała oraz wydalania. Aby uzupełnić niedobory wody, piją ją lub pozyskują z pokarmu. Do wyjątków należą zwierzęta, które mogą chłonąć wodę dzięki przepuszczającym ją powłokom ciała (np. płazy).

Bilans wodny zwierząt lądowych	
strata wody	**zysk wody**
• parowanie z powierzchni ciała • parowanie z narządów i dróg oddechowych • wydalanie z moczem • usuwanie z kałem	• picie • pobieranie z pokarmu • wytwarzanie w procesach metabolicznych • wchłanianie z otoczenia

Wpływ warunków środowiska lądowego na osmoregulację

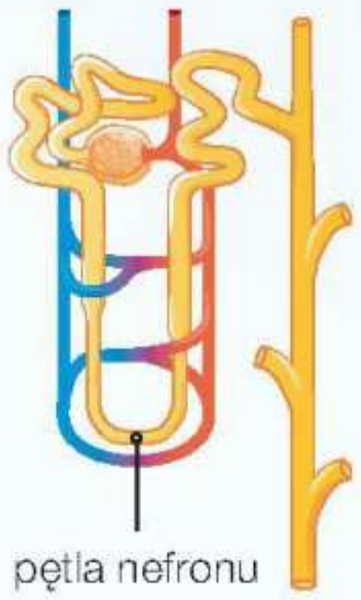
Zwierzęta zasiedlają zarówno obszary charakteryzujące się dużą dostępnością wody, jak i obszary skrajnie suche. Od dostępności wody w środowisku zależy bilans wodny zwierząt oraz budowa i funkcjonowanie narządów regulujących gospodarkę wodno-elektrolitową.

Człowiek

Gospodarka wodna człowieka nie musi być oszczędna, ponieważ jego środowisko życia jest zwykle zasobne w wodę. W optymalnych warunkach otoczenia bilans przyjmowania i utraty wody wynosi ok. 2400 cm^3 (2,4 l). Zapotrzebowanie na wodę wzrasta w sytuacjach zwiększonej utraty wody, np. podczas wysiłku fizycznego.



Organizm człowieka zawiera ok. 65% wody.



Nerki człowieka są zbudowane z nefronów o krótkich pętlach, dlatego zwrotne wchłanianie wody jest mało wydajne.

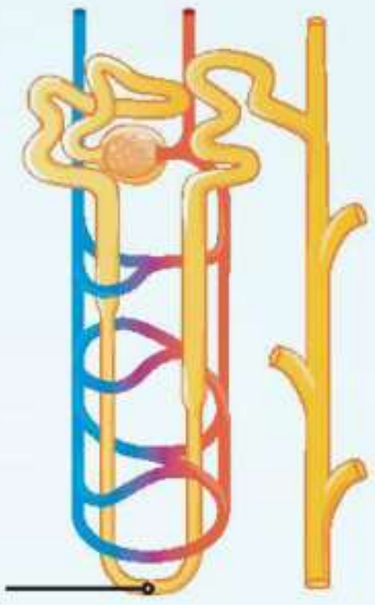
Zysk wody (cm^3/dobę)		Strata wody (cm^3/dobę)	
Picie	1200	Wydalanie z moczem	1400
Pobieranie z pokarmu	900	Usuwanie z kałem	100
Wytwarzanie w procesach metabolicznych	300	Wyparowywanie	900
Razem	**2400**	**Razem**	**2400**

Szczuroskoczek

Szczuroskoczek flagoogonowy jest zwierzęciem pustynnym, żyje więc w środowisku w zasadzie pozbawionym wody. Z tego powodu prowadzi bardzo oszczędną gospodarkę wodną – wydala mało moczu, a większość potrzebnej wody wytwarza w przemianach metabolicznych.



Organizm szczuroskoczka zawiera ok. 65% wody.



Nerki szczuroskoczka są zbudowane z nefronów o długich pętlach, dlatego zwrotne wchłanianie wody jest bardzo wydajne.

Zysk wody (cm^3/dobę)		Strata wody (cm^3/dobę)	
Picie	0	Wydalanie z moczem	13,5
Pobieranie z pokarmu	6	Usuwanie z kałem	2,6
Wytwarzanie w procesach metabolicznych	54	Wyparowywanie	43,9
Razem	**60**	**Razem**	**60**

Osmoregulacja u zwierząt wodnych

Zwierzęta wodne są narażone na osmotyczny napływ wody ze środowiska do wnętrza organizmu lub osmotyczny odpływ wody w przeciwnym kierunku. O tym, w którą stronę dyfunduje woda, decyduje stężenie płynów wewnątrz organizmu w stosunku do stężenia jonów soli w środowisku. W związku z tym wyróżnia się zwierzęta:

- **izoosmotyczne** względem otoczenia, u których stężenie płynów ustrojowych jest takie samo jak stężenie soli w wodzie. Należą do nich wszystkie bezkręgowce wodne oraz niektóre kręgowce z grupy bezszczękowców;
- **hiperosmotyczne**, u których stężenie płynów ustrojowych jest wyższe niż stężenie soli w wodzie. Należą do nich głównie ryby słodkowodne;
- **hipoosmotyczne**, u których stężenie płynów ustrojowych jest niższe niż stężenie soli w wodzie. Należy do nich większość ryb słonowodnych (morskich).

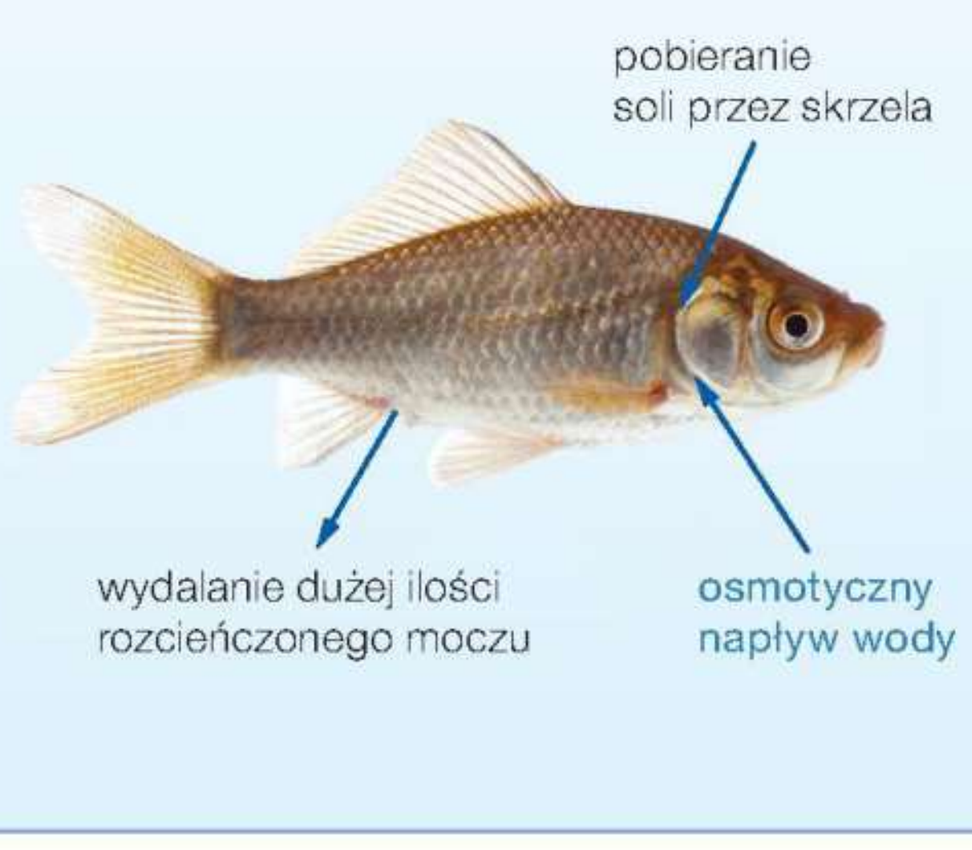
Wydalanie

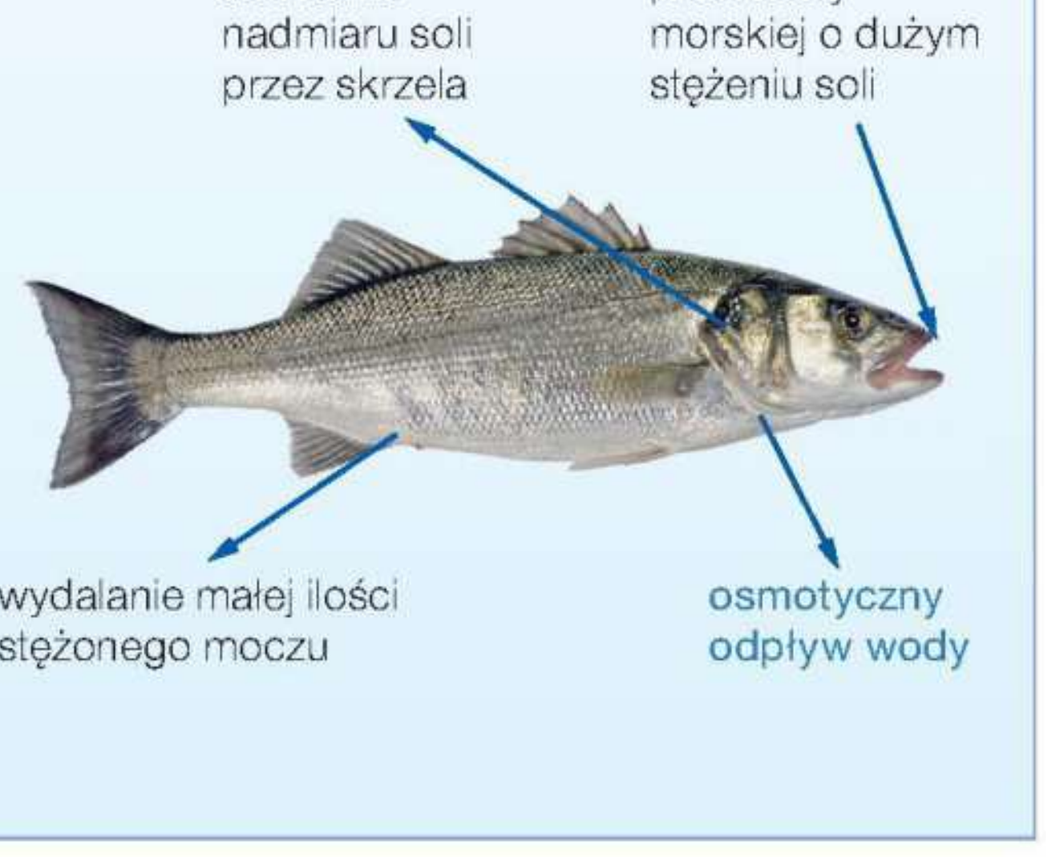
W wyniku przemian metabolicznych powstają produkty uboczne. Niektóre z nich są zbędne lub szkodliwe dla organizmów, dlatego muszą zostać wydalone do środowiska zewnętrznego. Produktami ubocznymi utleniania sacharydów i tłuszczów są **dwutlenek węgla** oraz **woda**, usuwane na zewnętrz przez układ oddechowy. Z kolei w wyniku rozkładu białek i kwasów nukleinowych powstają (oprócz dwutlenku węgla i wody) szkodliwe dla organizmu **związki azotowe**: amoniak, mocznik i kwas moczowy. Produkty te są wydalane za pośrednictwem układu wydalniczego. Ze względu na rodzaj wydalanego związku azotowego zwierzęta dzieli się na:

- amonioteliczne – wydalają silnie toksyczny amoniak,
- ureoteliczne – wydalają słabo toksyczny mocznik,
- urikoteliczne – wydalają słabo toksyczny kwas moczowy.

Osmoregulacja u ryb

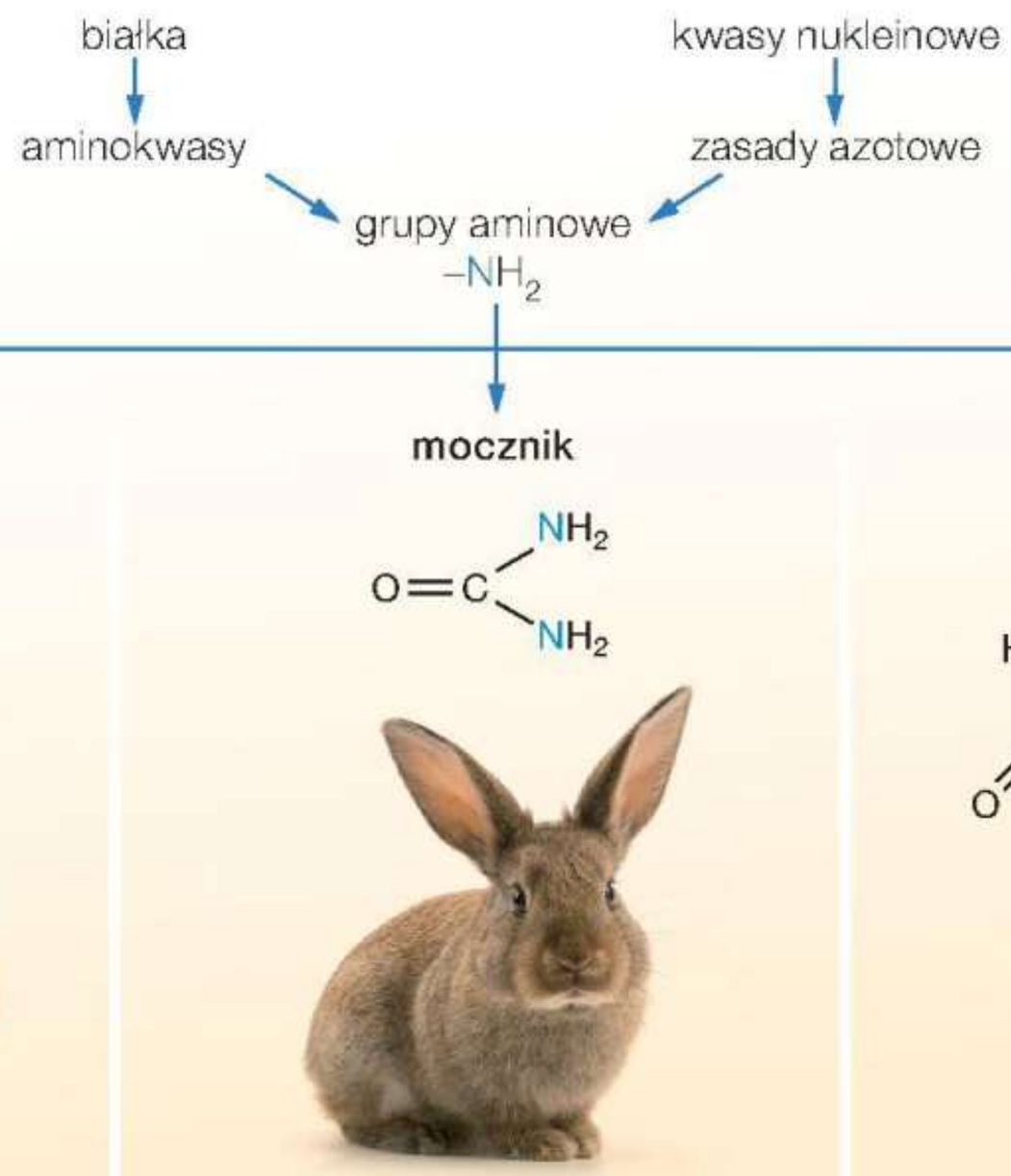
słodkowodnych (hiperosmotycznych)	słonowodnych (hipoosmotycznych)
Płyny ustrojowe ryb słodkowodnych są hipertoniczne w stosunku do środowiska. W rezultacie ciało ryb nieustannie pobiera wodę na drodze osmozy. Aby zapobiec pękaniu komórek, ryby te nie piją wody i usuwają jej nadmiar w postaci dużej ilości silnie rozcieńczonego moczu. Jednocześnie uzupełniają ubytek soli mineralnych przez skrzela.	Płyny ustrojowe większości ryb słonowodnych są hipotoniczne w stosunku do środowiska. W rezultacie ciało ryb nieustannie traci wodę na drodze osmozy. Aby zapobiec odwodnieniu, ryby te piją wodę morską i wydalają niewielkie ilości silnie stężonego moczu. Jednocześnie usuwają nadmiar soli mineralnych przez skrzela.





Azotowe produkty przemiany materii

Rodzaj wydalanego azotowego produktu przemiany materii zależy od dostępności wody w środowisku oraz od trybu życia zwierzęcia. Większość zwierząt wodnych wydala amoniak w dużej ilości rozcieńczonego moczu. Liczne zwierzęta lądowe przekształcają amoniak w mocznik, usuwany w niewielkiej ilości stężonego moczu. Z kolei zwierzęta zasiedlające środowiska suche, a także te, które wykształciły zdolność lotu, wytwarzają z amoniaku nierozpuszczalny kwas moczowy, wydalany w postaci kryształów lub gęstej zawiesiny.



Do zwierząt amoniotelicznych należą ryby o kostnym szkielecie, krokodyle, larwy płazów oraz większość bezkręgowców wodnych (np. skorupiaki).

Do zwierząt ureotelicznych należą ssaki, żółwie, dorosłe płazy, ryby chrzęstnoszkieletowe oraz niektóre bezkręgowce lądowe (m.in. skąposzczety).

Do zwierząt urikotelicznych należą ptaki, niektóre gady (węże i jaszczurki) oraz większość bezkręgowców lądowych (m.in. owady).

Narządy wydalnicze bezkręgowców

Każda komórka budująca ciało gąbek i parzydełkowców kontaktuje się bezpośrednio ze środowiskiem zewnętrznym. Dlatego usuwanie zbędnych i szkodliwych produktów przemiany materii odbywa się u nich na zasadzie dyfuzji bezpośrednio przez błonę komórkową. Jednak większość zwierząt bezkręgowych ma bardziej złożoną budowę ciała niż gąbki i parzydełkowce, a także – w związku z poruszaniem się – zwiększone tempo przemian metabolicznych. W wyniku tych przemian powstają większe ilości zbędnych produktów przemiany materii, których usunięcie nie byłoby możliwe bez wykształcenia narządów wydalniczych. Do podstawowych narządów wydalniczych bezkręgowców należą:

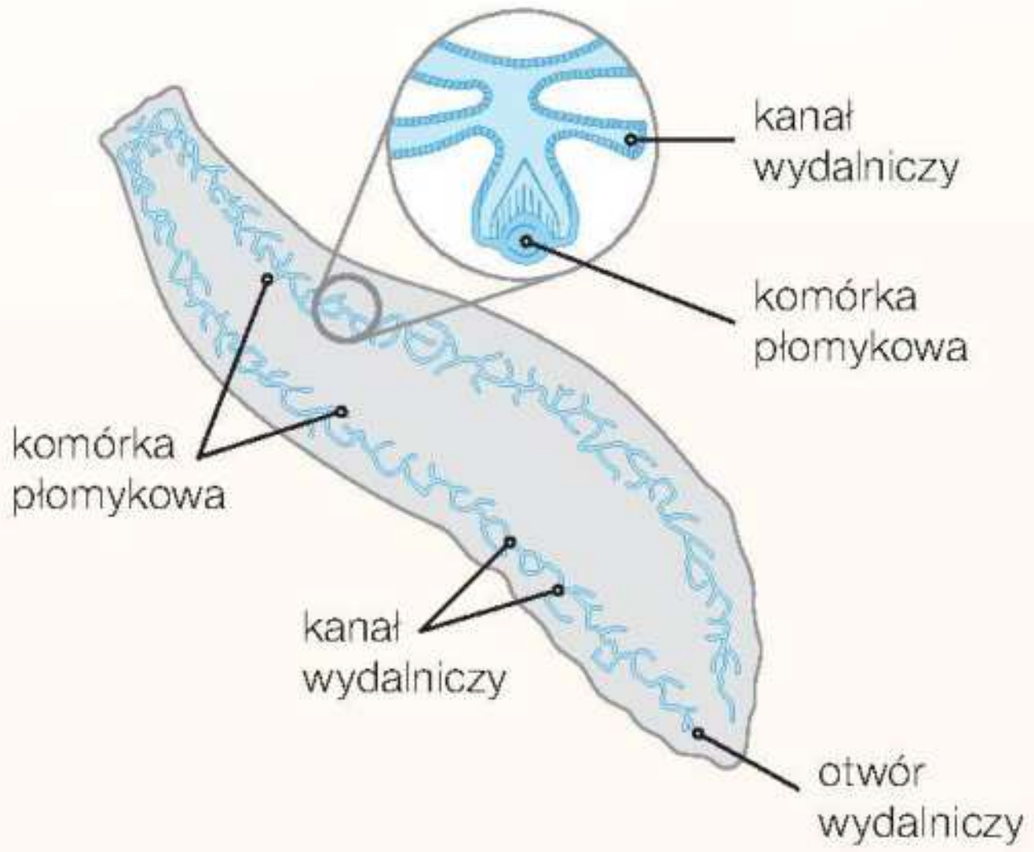
- **protonefrydia** – występują u płazińców, wrotków, niektórych wieloszczetów oraz larw mięczaków,
- **metanefrydia** – występują u większości pierścienic oraz w formie przekształconej u skorupiaków (gruczoły wydalnicze) i mięczaków (nerki),
- **cewki Malpighiego** – występują u pajęczaków, wijów i owadów.

Wpływ warunków środowiska lądowego na osmoregulację

Narządy wydalnicze, oprócz funkcji wydalniczej, pełnią również funkcję osmoregulacyjną. Usuwają z organizmu nadmiar wody oraz elektrolitów.

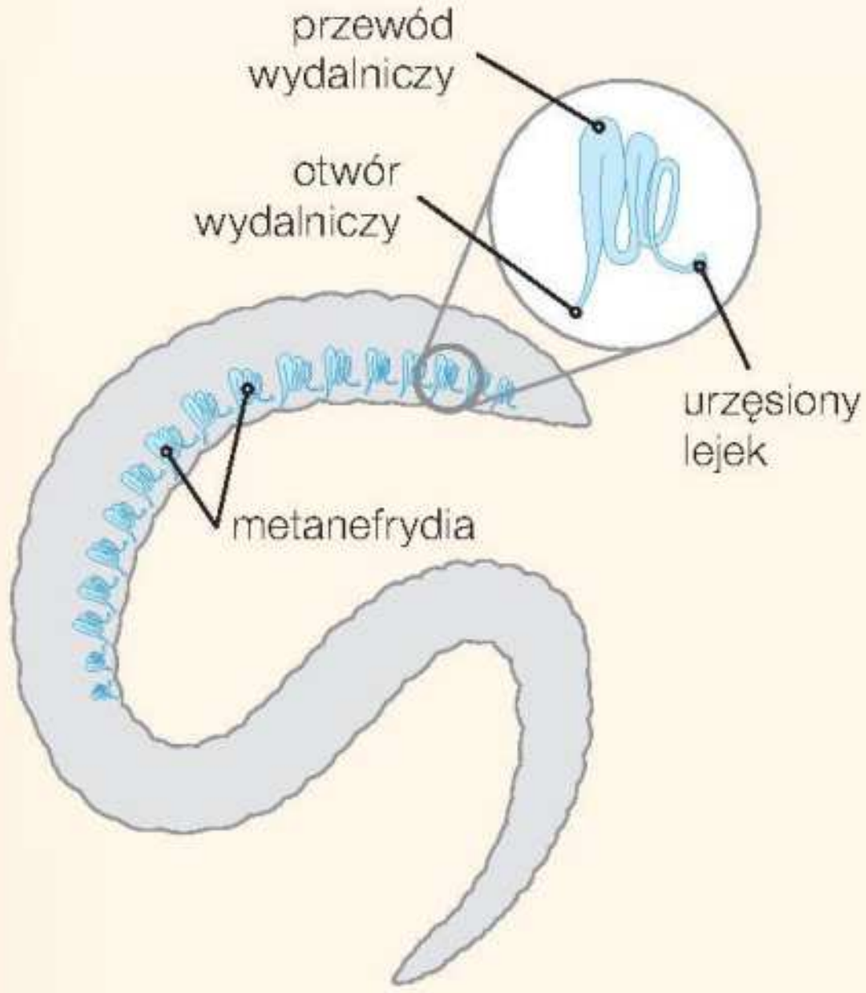
Protonefrydia

Protonefrydia występują np. u płazińców. Mają one postać biegnących wzdłuż ciała rozgałęzionych kanałów, które z jednej strony otwierają się na zewnątrz otworami wydalniczymi, a z drugiej strony są zakończone komórkami płomykowymi. Od każdej z tych komórek do światła kanalika wydalniczego odchodzi pęczek stale poruszających się wici. Komórki płomykowe odprowadzają z parenchymy nadmiar wody i produkty przemiany materii, a ruch wici powoduje przemieszczanie się tych związków w kierunku otworów wydalniczych.



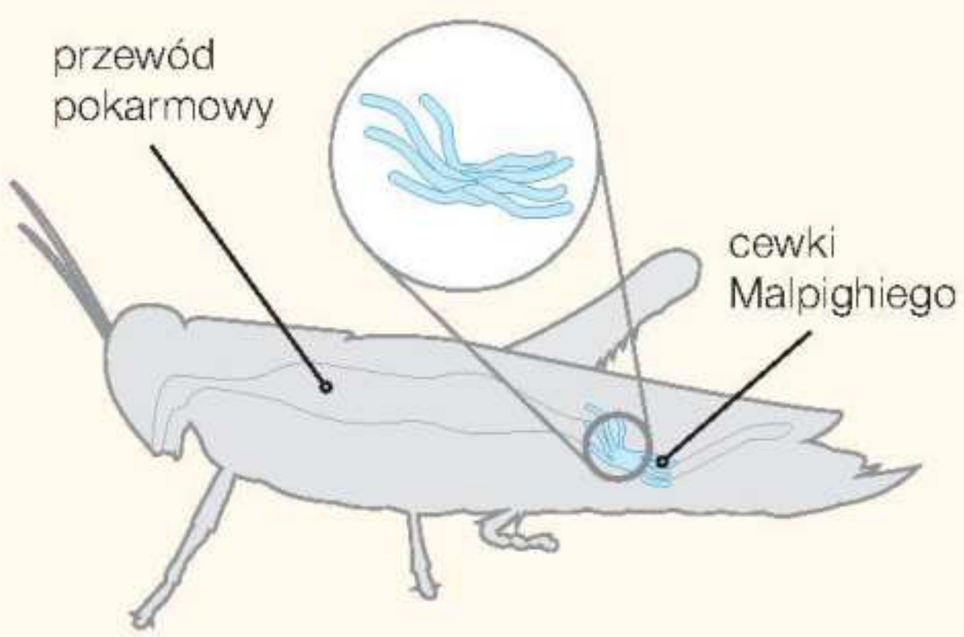
Metanefrydia

Metanefrydia występują np. u większości pierścienic, przy czym w każdym segmencie znajduje się zazwyczaj jedna ich para. Pojedyncze metanefrydium składa się z urzęsionego lejka i przewodu wydalniczego. Otwór lejka jest skierowany do jamy ciała segmentu, natomiast przewód tworzy kilka pętli, po czym uchodzi na zewnątrz w następnym segmencie.



Cewki Malpighiego

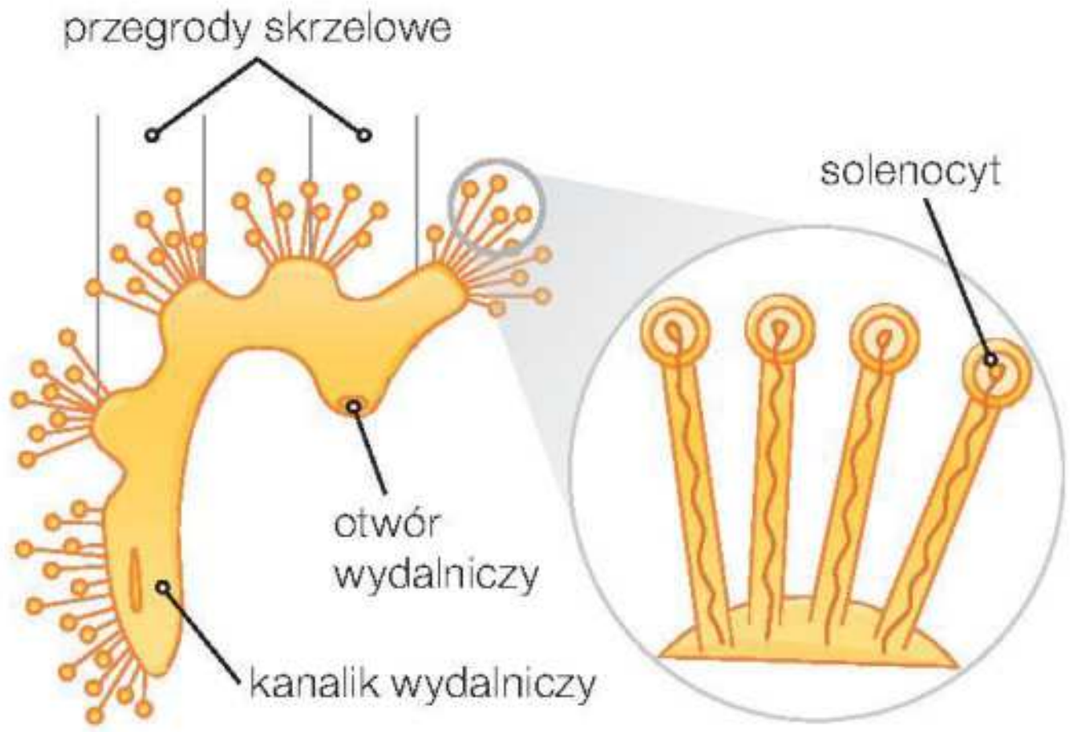
Cewki Malpighiego występują np. u owadów. Mają one postać ślepo zakończonych, rurkowatych uwypukleń przewodu pokarmowego, które wyrastają na granicy między jelitem środkowym a jelitem tylnym w liczbie od jednej do kilkuset par. Cewki Malpighiego zbierają zbędne produkty przemiany materii z jamy ciała, a następnie przekazują je do wnętrza przewodu pokarmowego. Stamtąd są one usuwane przez otwór odbytowy wraz z niestrawionymi resztkami pokarmu.



Narządy wydalnicze strunowców

Jedynymi strunowcami pozbawionymi narządów wydalniczych są osłonice, które wydalają zbędne substancje całą powierzchnią ciała lub magazynują je w specjalnych komórkach. U bezczaszkowców narządami wydalniczymi są **protonefrydia**, które mają postać ślepo zakończonych kanalików uchodzących do jamy okołoskrzelowej. Protonefrydia zaczynają się **solenocytami** – komórkami podobnymi do komórek płomykowych, ale wyposażonymi w pojedynczą wić.

Fragment protonefrydialnego układu wydalniczego lancetników



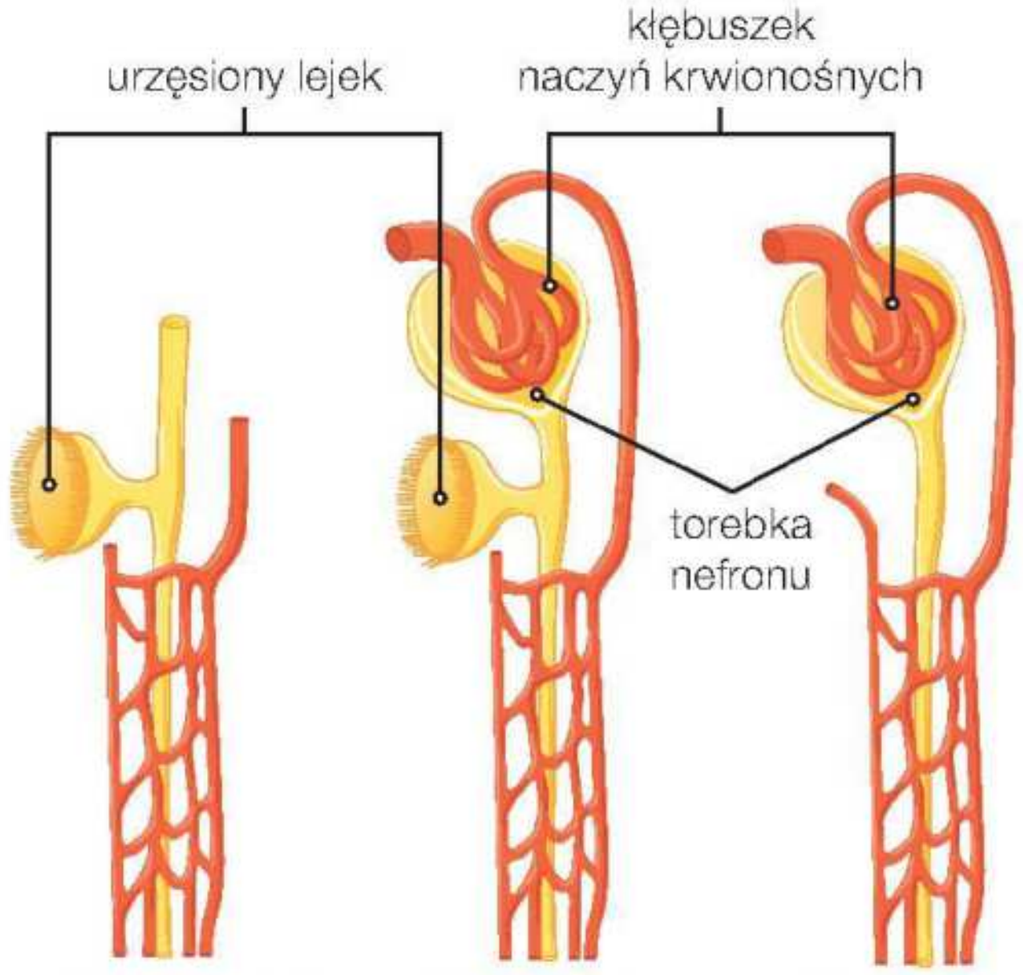
Narządami wydalniczymi kręgowców są **nerki**. Wytwarzany w nich mocz jest usuwany z organizmu moczowodami do pęcherza moczowego, a stamtąd – cewką moczową na zewnątrz ciała lub do kloaki (u ptaków moczowody prowadzą bezpośrednio do kloaki).

U kręgowców funkcjonują trzy typy nerek: **przednercze**, **pranercze** i **zanercze**, czyli nerka właściwa. Najprostszą budowę ma przednercze zbudowane z **urzęsionych lejków**. Lejki, podobnie jak metanefrydia pierścienic, otwierają się do jamy ciała i pobierają z niej zbędne produkty przemiany materii. Ten typ nerki występuje w rozwoju zarodkowym bezowodniowców (bezżuchwowców, ryb i płazów).

W budowie pranercza, oprócz **orzęsionego lejka**, pojawia się **ciałko nerkowe**, w którym znajduje się kłębuszek włosowatych naczyń krwionośnych. Tak zbudowana nerka zbiera zbędne produkty przemiany materii z jamy ciała i krwi. Pranercze występuje u dorosłych bezowodniowców i w rozwoju zarodkowym owodniowców.

W zanerczu, czyli nerce właściwej, występują wyłącznie **ciałka nerkowe**. Elementami funkcjonalnymi są tu nefrony zbudowane z dwóch elementów: ciałka nerkowego oraz kanalika nerkowego. Zanercza pobierają więc produkty przemiany materii wyłącznie z krwi. Ten typ nerki występuje u dorosłych owodniowców.

Porównanie budowy przednercza, pranercza i zanercza



Polecenia kontrolne

1. Wymień i krótko scharakteryzuj związki azotowe wydalane przez zwierzęta.
2. Wyjaśnij, dlaczego parzydełkowce nie mają narządów wydalniczych.
3. Wyjaśnij, dlaczego amoniak jest wydalany przede wszystkim przez zwierzęta wodne.
4. Wymień grupy zwierząt wydalających kwas moczowy. Określ, jaki ma to związek z ich trybem życia.
5. Omów budowę metanefrydium pierścienic.
6. Scharakteryzuj budowę narządów wydalniczych kręgowców.

7.2. Budowa i funkcjonowanie układu moczowego

Zwróć uwagę na:

- istotę procesu wydalania, produkty wydalania i narządy wydalnicze,
- budowę i funkcje narządów układu moczowego,
- przebieg cyklu mocznikowego,
- proces tworzenia się moczu i znaczenie regulacji hormonalnej w tym procesie.

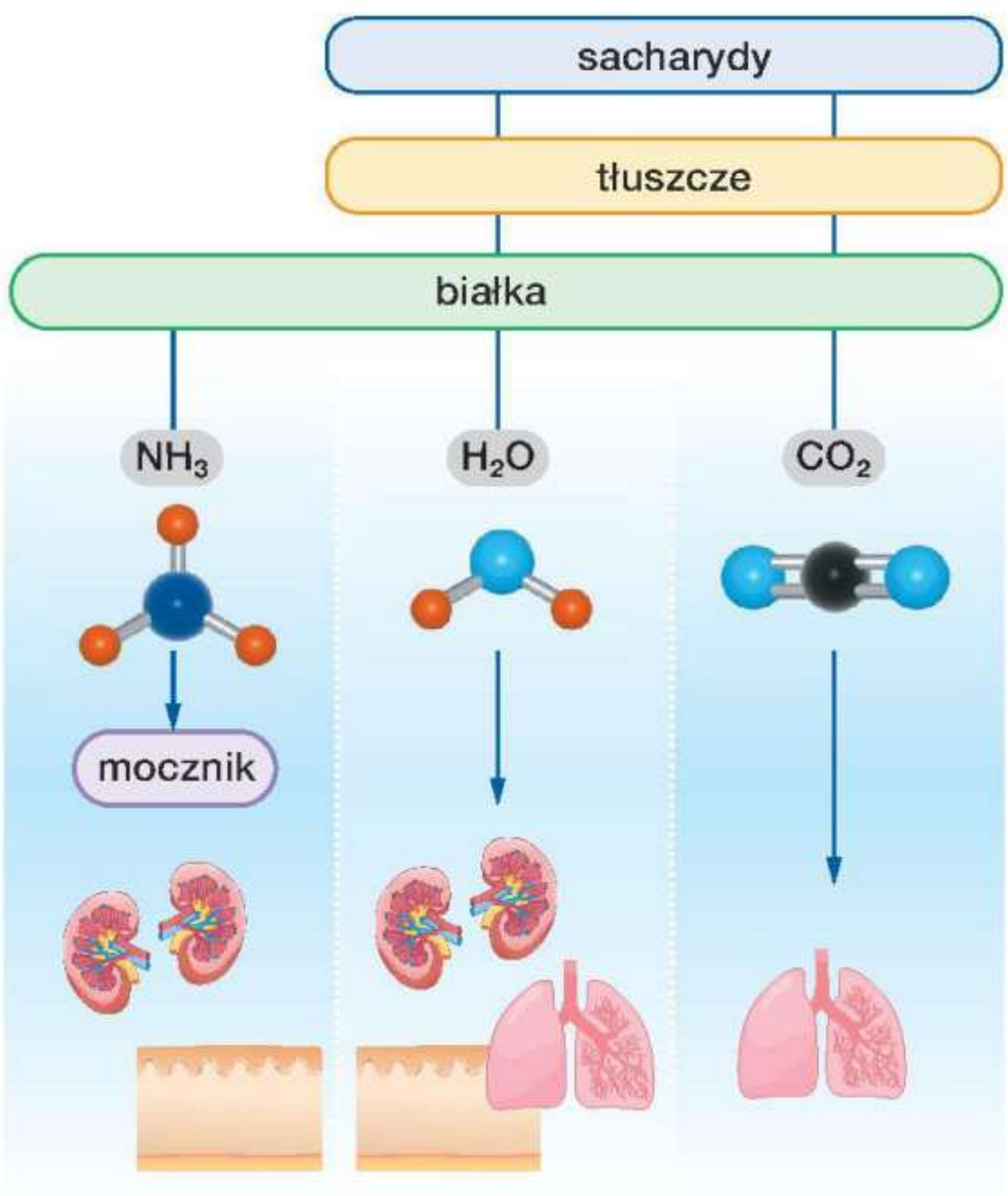
Wydalanie to proces fizjologiczny, który polega na usuwaniu z organizmu zbędnych oraz szkodliwych produktów przemiany materii. Powstają one m.in. w wyniku: oddychania komórkowego, degradacji aminokwasów i kwasów nukleinowych oraz rozkładu obumarłych komórek. Proces wydalania obejmuje również usuwanie ksenobiotyków, czyli substancji obcych, niewytwarzanych przez organizm i niebędących naturalnymi składnikami pokarmu (np. leków). Podstawowym układem narządów odpowiadającym za wydalanie jest układ moczowy, który składa się z nerek, moczowodów, pęcherza moczowego i cewki moczowej. Układ moczowy, oprócz pełnienia funkcji wydalniczej, reguluje też gospodarkę wodno-elektrolitową organizmu (objętość wody, stężenie elektrolitów, ciśnienie osmotyczne płynów ustrojowych, stężenie jonów H^+). Dzięki temu utrzymuje względnie stały skład płynów ustrojowych, m.in. krwi i limfy. Układ moczowy pełni także funkcję wewnątrzwydzielniczą, ponieważ nerki wytwarzają niektóre hormony, m.in. erytropoetynę, która pobudza procesy krwiotwórcze.

Wydalanie zbędnych produktów przemiany materii

Głównymi produktami metabolizmu są dwutlenek węgla, woda oraz mocznik. Powstają one w wyniku przemian sacharydów, tłuszczów i białek.

Sacharydy i tłuszcze to związki zbudowane z węgla, wodoru i tlenu (np. glukoza: $C_6H_{12}O_6$). Ostatecznymi produktami ich przemian są: dwutlenek węgla (CO_2) oraz woda (H_2O).

Białka są zbudowane z aminokwasów. W ich skład wchodzi azot, dlatego jeden z produktów przemian białek stanowi amoniak (NH_3). Amoniak jest związkiem toksycznym, przekształcanym w wątrobie w mniej toksyczny mocznik.



Mocznik jest usuwany przez nerki i skórę.

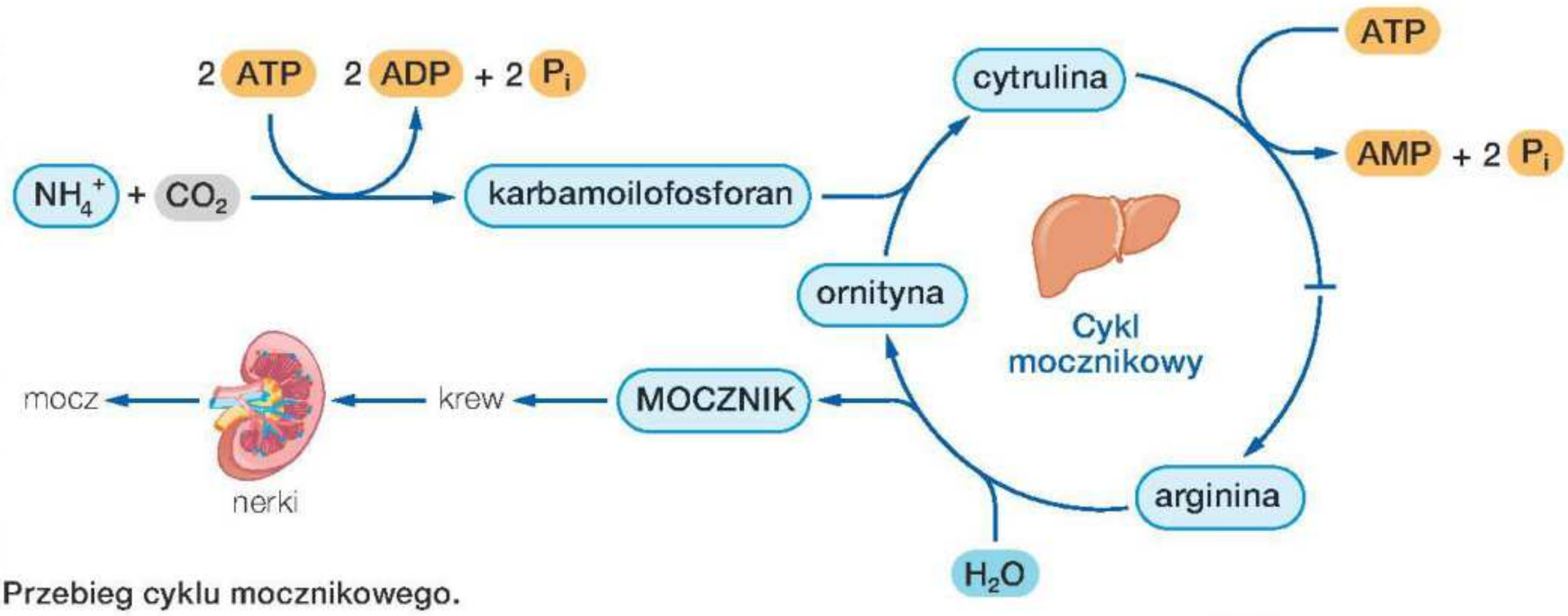
Woda jest usuwana przez nerki, skórę i płuca.

Dwutlenek węgla jest usuwany przez płuca.

Cykl mocznikowy

Mocznik jest jednym z końcowych produktów rozkładu aminokwasów (wolnych oraz powstałych w wyniku hydrolizy białek). Pierwszym etapem rozkładu aminokwasów jest deaminacja, która polega na odłączeniu grupy aminowej ($-NH_2$). W efekcie powstają ketokwasy oraz **amoniak** w postaci jonów amonowych – NH_4^+.

Amoniak jest związkiem silnie toksycznym, dlatego musi być na bieżąco usuwany z komórek. U człowieka i innych ssaków jest on transportowany z krwią do wątroby i przekształcany w słabo toksyczny, rozpuszczalny w wodzie **mocznik**. Następnie mocznik wędruje z krwią do nerek i – jako składnik moczu – jest usuwany drogami moczowymi na zewnątrz ciała.



Przebieg cyklu mocznikowego.

Budowa układu moczowego

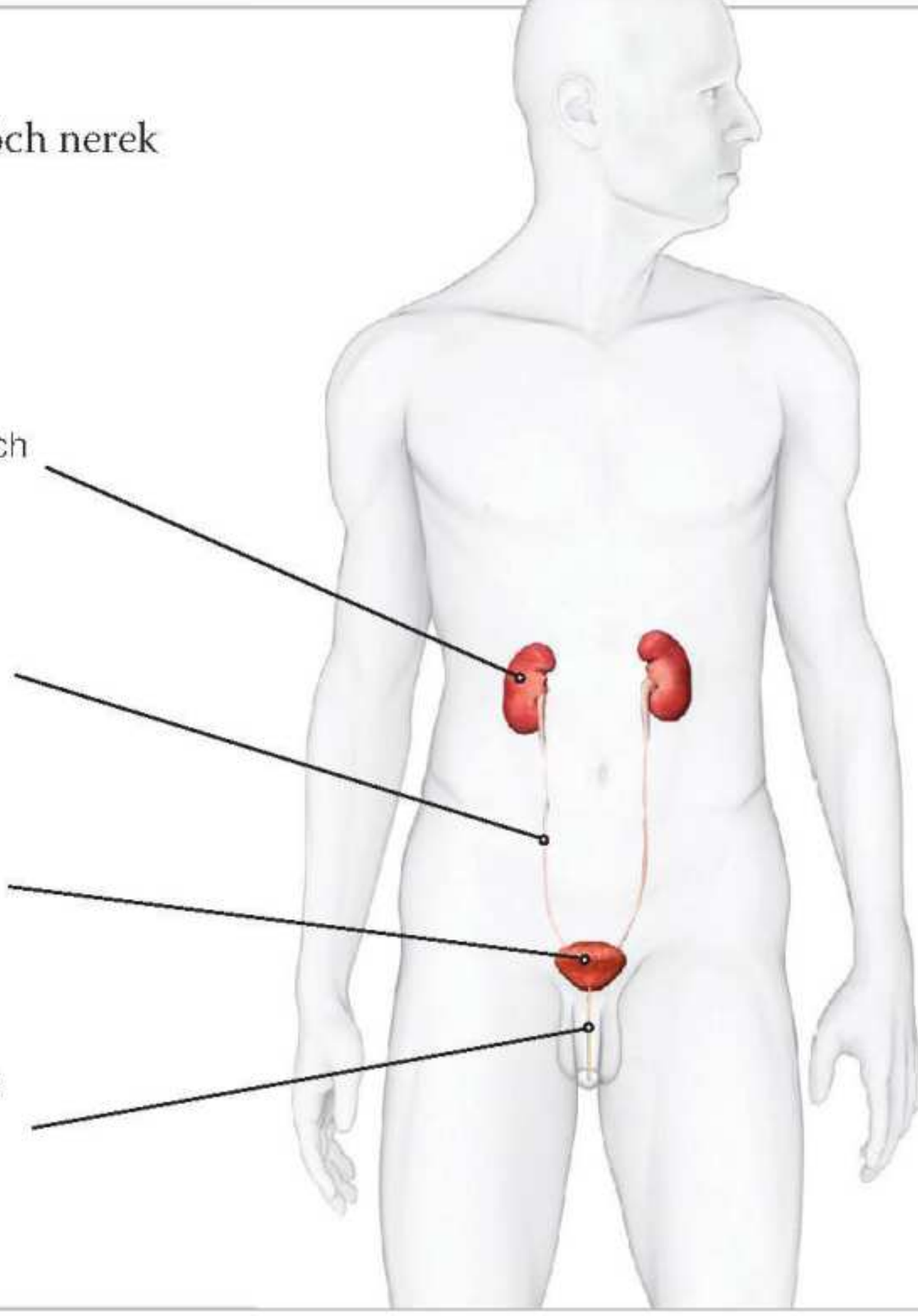
Układ moczowy człowieka składa się z dwóch nerek oraz dróg moczowych, do których należą: dwa moczowody, pęcherz moczowy i cewka moczowa.

Nerki – parzyste narządy, które oczyszczają krew z niepotrzebnych lub szkodliwych substancji oraz produkują **mocz**.

Moczowody – parzyste przewody o długości ok. 25–30 cm, które odprowadzają mocz z nerek do pęcherza moczowego.

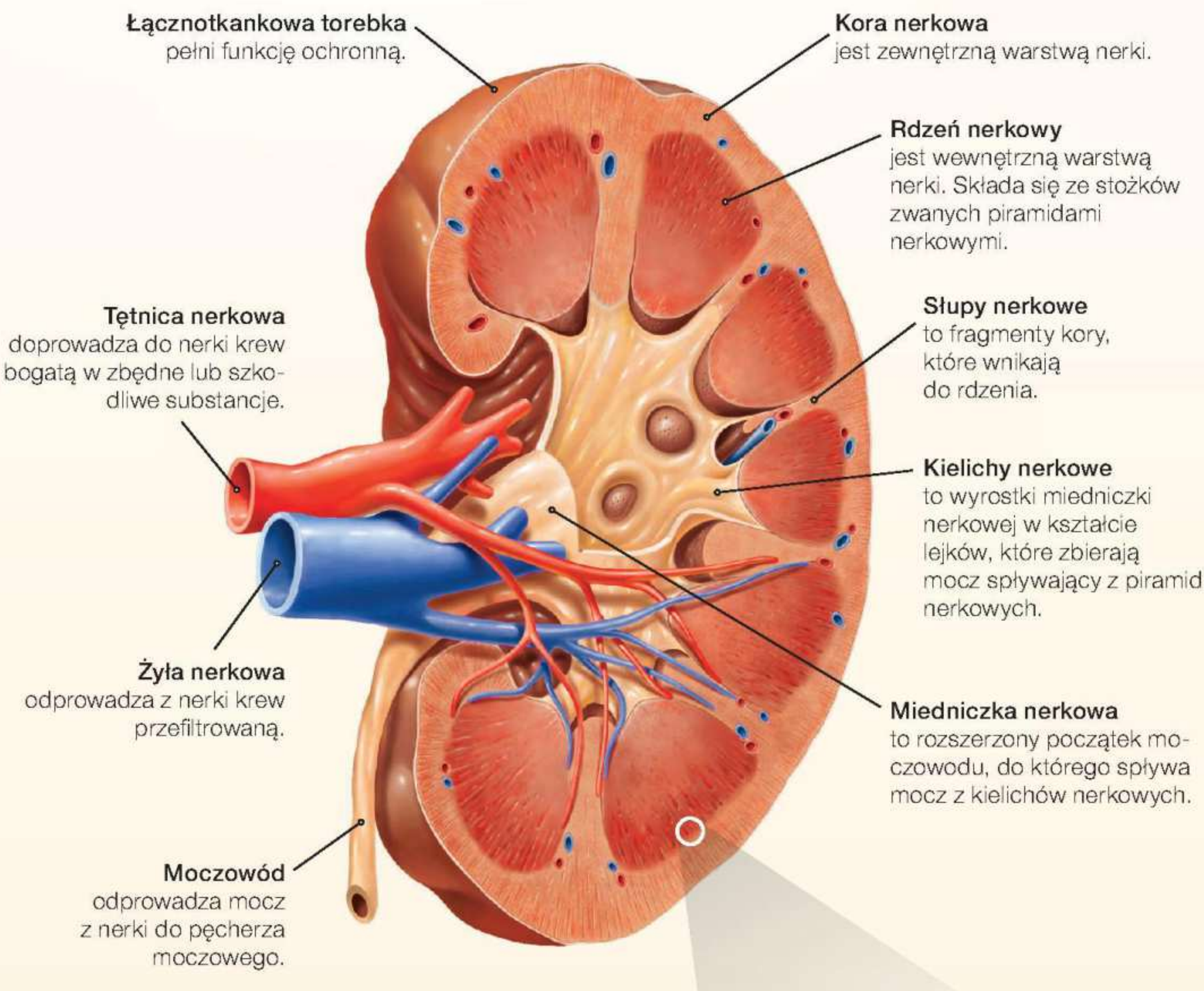
Pęcherz moczowy – narząd, który gromadzi mocz spływający moczowodami z nerek. Ma elastyczne ściany, dzięki którym może zwiększać swoją objętość. Jego pojemność wynosi ok. 1 dm^3.

Cewka moczowa – wyprowadza mocz na zewnątrz ciała. U mężczyzn jest dłuższa niż u kobiet i służy także do wyprowadzania nasienia.

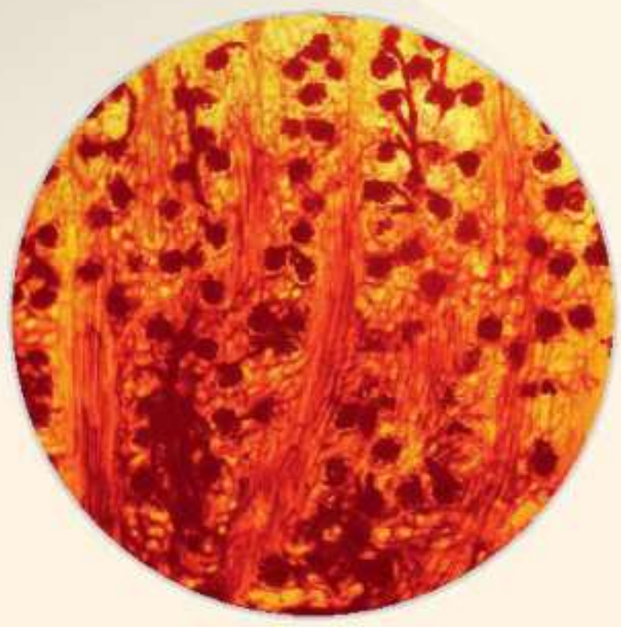


Budowa nerki

Nerka jest otoczona z zewnątrz łącznotkankową torebką. W jej budowie wyróżnia się dwie warstwy: położoną powierzchniowo korę nerkową i leżący głębiej rdzeń nerkowy. Fragmenty kory wnikają do rdzenia w postaci słupów nerkowych i dzielą go na piramidy nerkowe. Podstawowymi elementami strukturalnymi i funkcjonalnymi nerki są nefrony, w których powstają mocz pierwotny oraz mocz ostateczny. Mocz ostateczny spływa do kielichów nerkowych, skąd przedostaje się do miedniczki nerkowej, a następnie do dróg moczowych.

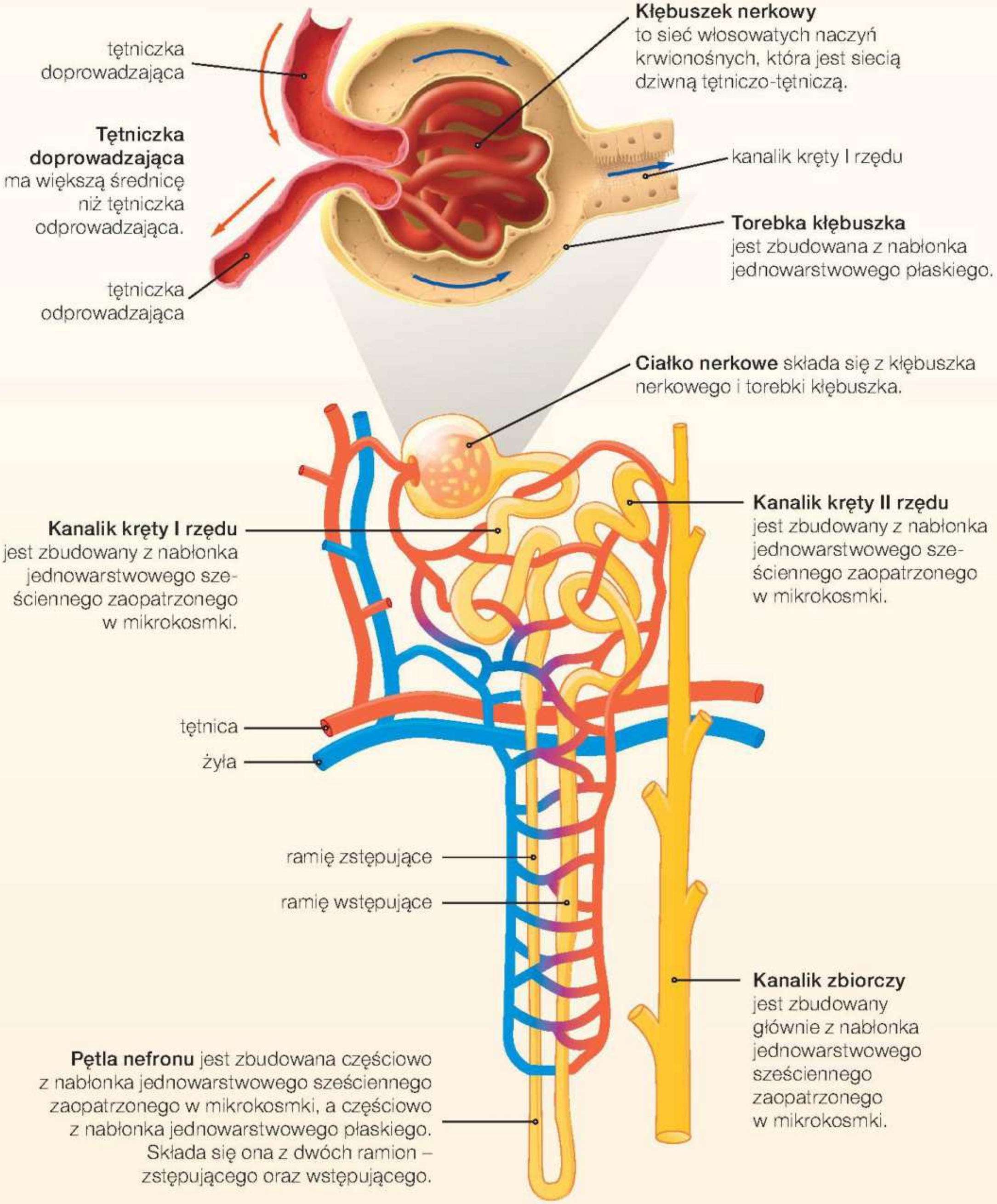


Zarówno kora nerkowa, jak i rdzeń nerkowy są zbudowane głównie z miąższu nerki oraz ze zrębu nerki. Miąższ nerki tworzą nefrony, natomiast zrąb nerki tworzy tkanka łączna włóknista luźna.



Budowa nefronu

Nefron to podstawowa jednostka funkcjonalna i strukturalna nerki. W jednej nerce znajduje się ponad milion nefronów. Pojedynczy nefron składa się z ciałka nerkowego i kanalika nerkowego. Ciałko nerkowe jest zbudowane z kłębuszka nerkowego i torebki kłębuszka (torebki Bowmana). Z kolei kanalik nerkowy składa się z trzech odcinków: kanalika krętego I rzędu (kanalika proksymalnego), pętli nefronu (pętli Henlego) i kanalika krętego II rzędu (kanalika dystalnego). Kanalik nerkowy uchodzi do kanalika zbiorczego.



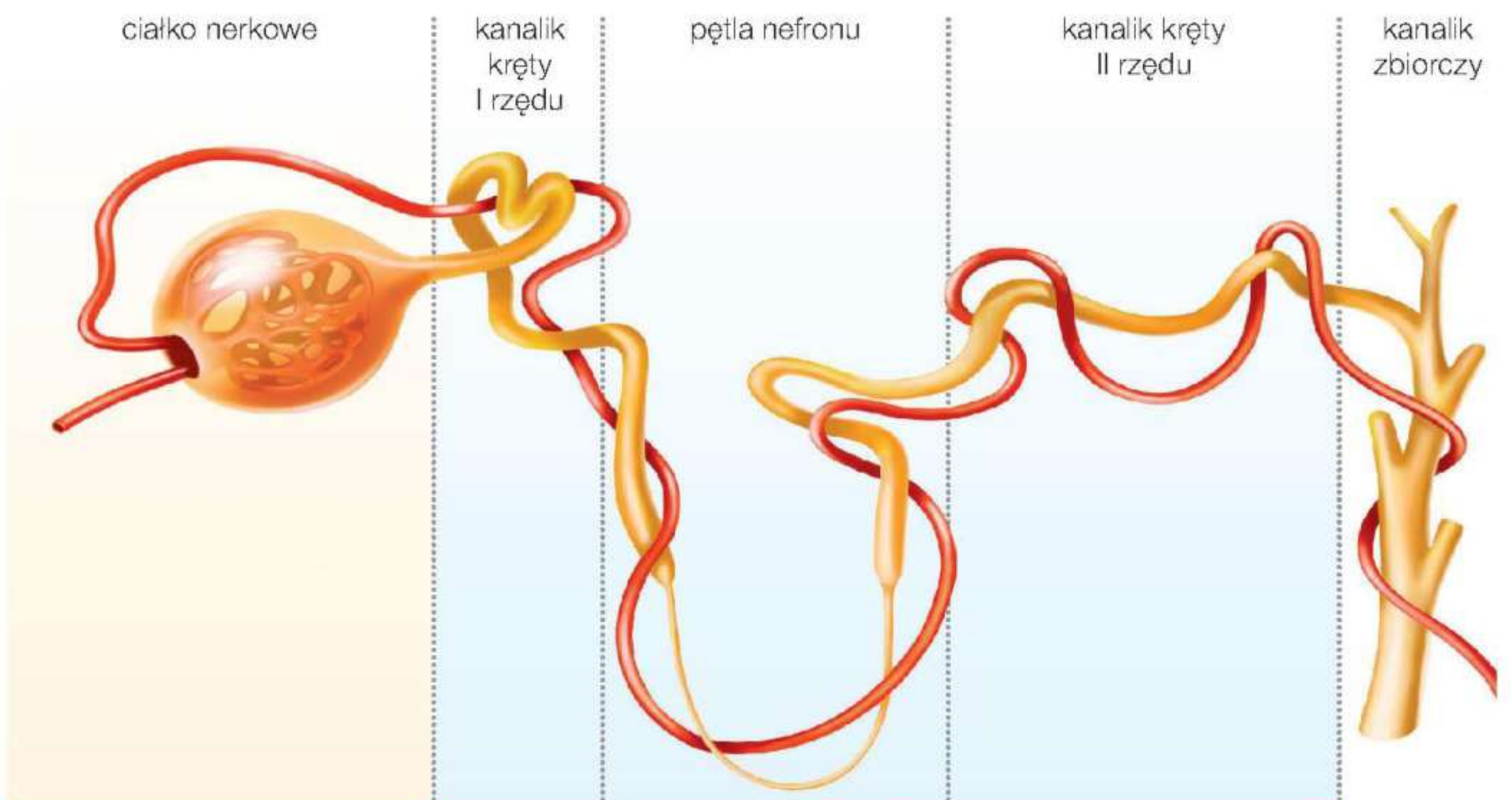
Powstawanie moczu

Na powstawanie moczu składają się trzy procesy fizjologiczne: filtracja, resorpcja (wchłanianie zwrotne) i sekrecja (wydzielanie).

Filtracja polega na przenikaniu niektórych substancji z osocza krwi do torebki kłębuszka. Proces filtracji jest uwarunkowany:

- wyższym ciśnieniem hydrostatycznym krwi w kłębuszku nerkowym od ciśnienia płynu w torebce kłębuszka; dzięki temu powstaje **ciśnienie filtracyjne**, które umożliwia ruch substancji między krwią a płynem,
- dużą powierzchnią filtracji, wynikającą z silnie rozbudowanej sieci włosowatych naczyń krwionośnych kłębuszka,
- dużą przepuszczalnością ścian naczyń włosowatych kłębuszka, związaną z występowaniem licznych porów (okienek) między komórkami śródbłonka naczyniowego.

Z krwi przepływającej przez włosowate naczynia krwionośne kłębuszka do wnętrza torebki kłębuszka przenika ok. 20% objętości osocza. W ten sposób tworzy się **mocz pierwotny,** który gromadzi się w torebce kłębuszka, a następnie spływa do kanalika nefronu. W ciągu doby powstaje 160–180 dm^3 moczu pierwotnego. Jest on **izotoniczny** w stosunku do osocza, a także zbliżony do niego pod względem składu chemicznego. Zawiera substancje, które pokonały barierę filtracyjną, czyli ścianę naczynia włosowatego oraz ścianę torebki kłębuszka. Do substancji tych należą: woda, jony soli mineralnych (m.in. sodu, potasu, chlorkowe, wodorowęglanowe), a także drobnocząsteczkowe związki organiczne (np. aminokwasy, witaminy, glukoza, mocznik). Bariery filtracyjnej nie pokonują: białka, substancje związane z białkami oraz kwasy tłuszczowe.



FILTRACJA	RESORPCJA	
	SEKRECJA	
Polega na przenikaniu substancji – m.in. wody, jonów soli mineralnych, glukozy, mocznika i aminokwasów – z krwi do torebki kłębuszka. W wyniku filtracji powstaje mocz pierwotny, którego skład jest zbliżony do składu osocza krwi.	**Resorpcja** polega na transporcie związków z kanalika nerkowego do krwi. Ulegają jej m.in. woda, jony soli mineralnych, witaminy, aminokwasy oraz glukoza.	**Sekrecja** polega na wydzielaniu substancji do wnętrza kanalika nerkowego. Wydzielane są m.in. jony potasu, jony wodorowe, hormony steroidowe oraz leki.

Resorpcja zachodzi w kanalikach krętych oraz w pętli nefronu. Proces ten polega na wchłanianiu wielu substancji z moczu pierwotnego z powrotem do krwi. Jest to możliwe, ponieważ zarówno kanaliki kręte, jak i pętla nefronu są otoczone gęstą siecią włosowatych naczyń krwionośnych. Procesy resorpcji przebiegają z dużą intensywnością, gdyż nabłonek kanalików nerkowych i kanalików zbiorczych wytwarza na swojej powierzchni liczne mikrokosmki zwiększające powierzchnię chłonną. Ponadto w ścianach kanalików znajduje się wiele białek błonowych, które transportują jony i cząsteczki związków chemicznych. W ciągu doby kanaliki nefronów wchłaniają zwrotnie ok. 178 dm^3 wody, 1200 g soli mineralnych i prawie 250 g glukozy. Większość substancji (np. glukoza czy jony Na^+ i K^+) jest wchłaniana na drodze **transportu czynnego**, czyli wbrew gradientowi stężeń. Transport czynny zachodzi za pośrednictwem białek nośnikowych oraz pomp jonowych. Pozostałe substancje (np. H_2O) są **wchłaniane biernie**, czyli zgodnie z gradientem stężeń. Transport bierny odbywa się na drodze dyfuzji prostej, przez białka kanałowe (np. akwaporyny) oraz białka nośnikowe.

Znaczna część składników moczu pierwotnego (ok. 65%) zostaje zwrotnie wchłonięta w kanalikach krętych I rzędu (m.in. glukoza, aminokwasy, witaminy i niektóre jony soli mineralnych). Wchłanianie pozostałych składników zachodzi w pętli nefronu, kanalikach krętych II rzędu oraz kanalikach zbiorczych. Resorpcja niektórych związków pozostaje pod kontrolą hormonów i zależy od aktualnego zapotrzebowania organizmu.

Sekrecja to proces wydzielania substancji do wnętrza kanalików nerkowych. Dzięki niej do moczu przedostają się np. jony potasu, jony amonowe i wodorowe, hormony steroidowe, a także niektóre leki, np. penicylina.

Resorpcja oraz sekrecja to procesy prowadzące do **zagęszczenia moczu** oraz znacznej modyfikacji jego składu. W ich wyniku w ciągu doby ze 160–180 dm^3 izotonicznego moczu pierwotnego powstaje ok. 1,5 dm^3 **hipertonicznego** moczu zwanego **moczem ostatecznym**.

Skład moczu ostatecznego

Człowiek wydala w ciągu doby 1–2 dm^3 moczu ostatecznego. Zawiera on ok. 96% wody, 1,5% soli mineralnych oraz 2,5% związków organicznych. Wśród soli mineralnych dominuje chlorek sodu, pozostałe sole to chlorki, fosforany(V), wodorowęglany, a także siarczany(VI): potasu, magnezu, wapnia, sodu i amonu. Głównymi składnikami organicznymi moczu są: mocznik, kreatynina (związek azotowy powstający w czasie przemian metabolicznych w mięśniach), kwas moczowy (końcowy produkt metabolizmu kwasów nukleinowych) oraz barwniki (np. urobilinogen – produkt rozkładu hemu).

Porównanie składu osocza krwi ze składem moczu pierwotnego i moczu ostatecznego

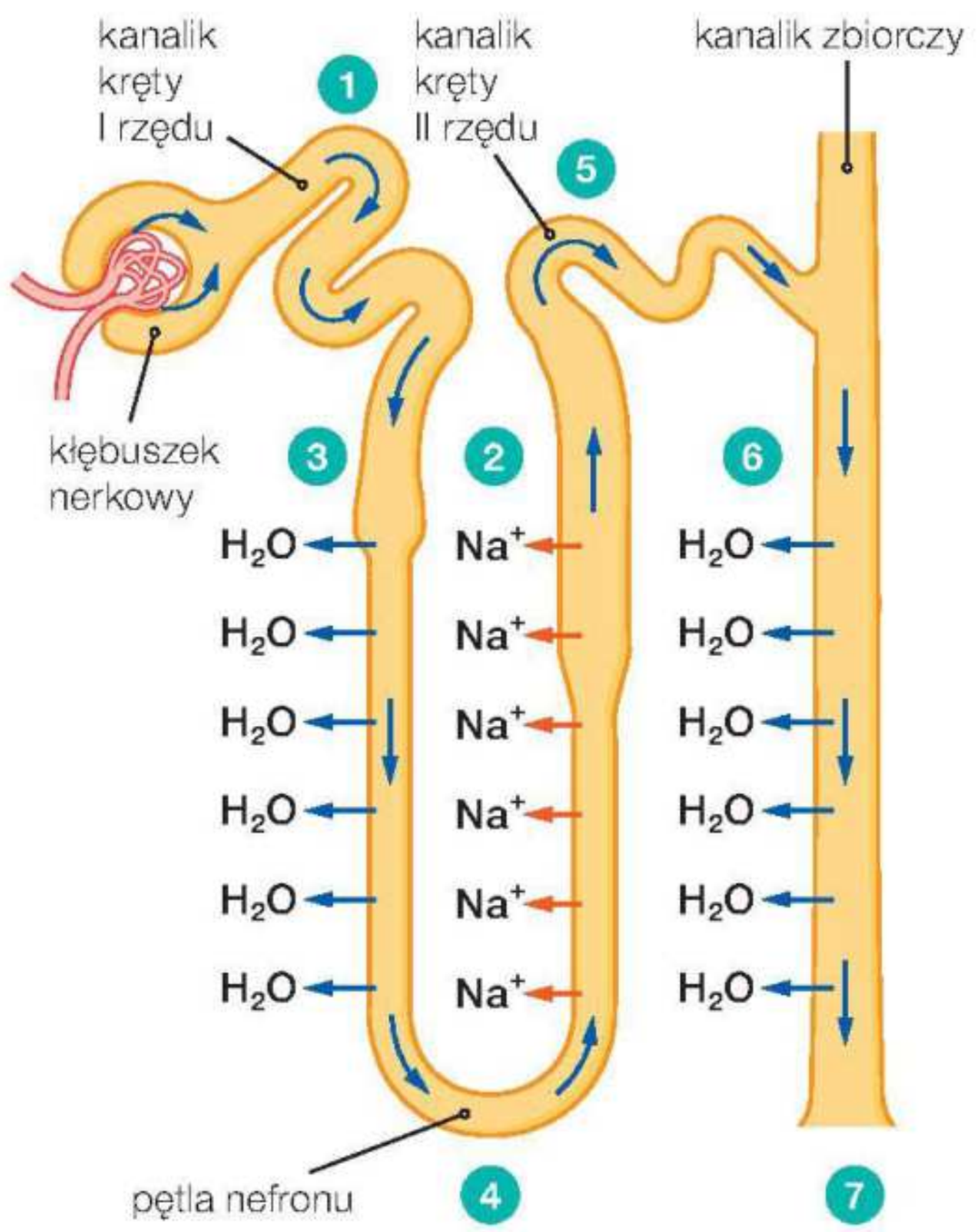
Składniki	Zawartość składników w g/cm^3 płynu		
	osocze krwi	mocz pierwotny	mocz ostateczny
Woda	90,00–93,00	97,00–99,00	96,00–97,00
Glukoza	0,10	0,10	0,00
Białka	7,00–9,00	0,00	0,00
Mocznik	0,03	0,03	2,00
Sole mineralne	0,72	0,72	1,50

Dowiedz się więcej

Jak powstaje hipertoniczny mocz?

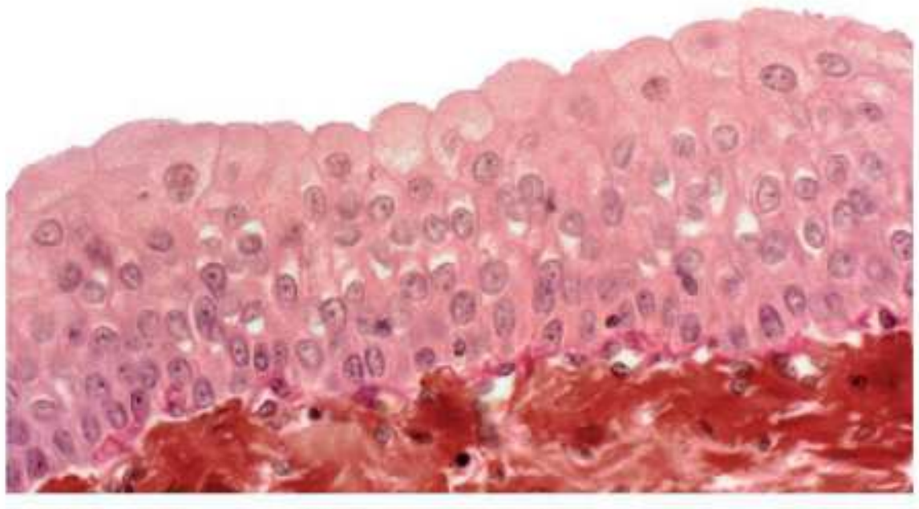
Wytwarzanie hipertonicznego moczu odbywa się m.in. dzięki mechanizmowi wzmacniacza przeciwprądowego, który jest związany z właściwościami obu ramion pętli nefronu. Ramię zstępujące jest dobrze przepuszczalne dla wody i słabo przepuszczalne dla jonów sodu. Natomiast ramię wstępujące jest nieprzepuszczalne dla wody i dobrze przepuszczalne dla jonów sodu. Jony sodu transportowane aktywnie z ramienia wstępującego pętli nefronu do zrębu nerki powodują osmotyczny odpływ wody z ramienia zstępującego, co skutkuje zagęszczeniem moczu.

1. Mocz zawierający m.in. jony sodu przechodzi z ciałka nefronu do kanalika krętego I rzędu. Mocz ten jest izotoniczny w stosunku do zrębu nerki.
2. Jony sodu są aktywnie transportowane z ramienia wstępującego pętli nefronu do zrębu nerki.
3. Stężenie jonów sodu w zrębie nerki znacznie wzrasta, co pociąga za sobą osmotyczny odpływ wody z ramienia zstępującego pętli nefronu.
4. Wskutek intensywnego odpływu wody mocz w dolnej części pętli nefronu staje się silnie hipertoniczny w stosunku do zrębu nerki.
5. Wskutek odpływu jonów sodu z ramienia wstępującego pętli nefronu mocz wpływający do kanalika krętego II rzędu jest lekko hipotoniczny w stosunku do zrębu nerki.
6. W błonie komórkowej kanalika zbiorczego otwierają się kanały wodne (akwaporyny), przez które zachodzi przepływ wody do zrębu nerki.
7. Mocz ostateczny opuszczający kanalik zbiorczy jest hipertoniczny w stosunku do zrębu nerki.



Drogi moczowe

Drogi moczowe – moczowody, pęcherz moczowy i cewka moczowa – odprowadzają mocz z nerek na zewnątrz ciała. Ich ściany buduje m.in. nabłonek przejściowy, który jest nabłonkiem wielowarstwowym sześciennym. Powierzchniowe komórki tego nabłonka zawierają specjalne białka, które zabezpieczają przed osmotycznym przepływem wody z tkanek do hipertonicznego moczu.



Nabłonek przejściowy pęcherza moczowego (obraz spod mikroskopu optycznego).

Rola nerek w osmoregulacji

W nerkach zachodzi resorpcja soli mineralnych, które są odzyskiwane z moczu pierwotnego. Proces ten umożliwia utrzymanie stałego poziomu soli mineralnych we krwi. Pośrednio resorpcja soli wpływa również na objętość wody we krwi, ponieważ niektóre jony (np. sodu czy potasu) są osmotycznie czynne, dlatego ich nadmiar zatrzymuje wodę we krwi. Z kolei zbyt duża objętość krwi może wpływać na podwyższenie ciśnienia w naczyniach krwionośnych.

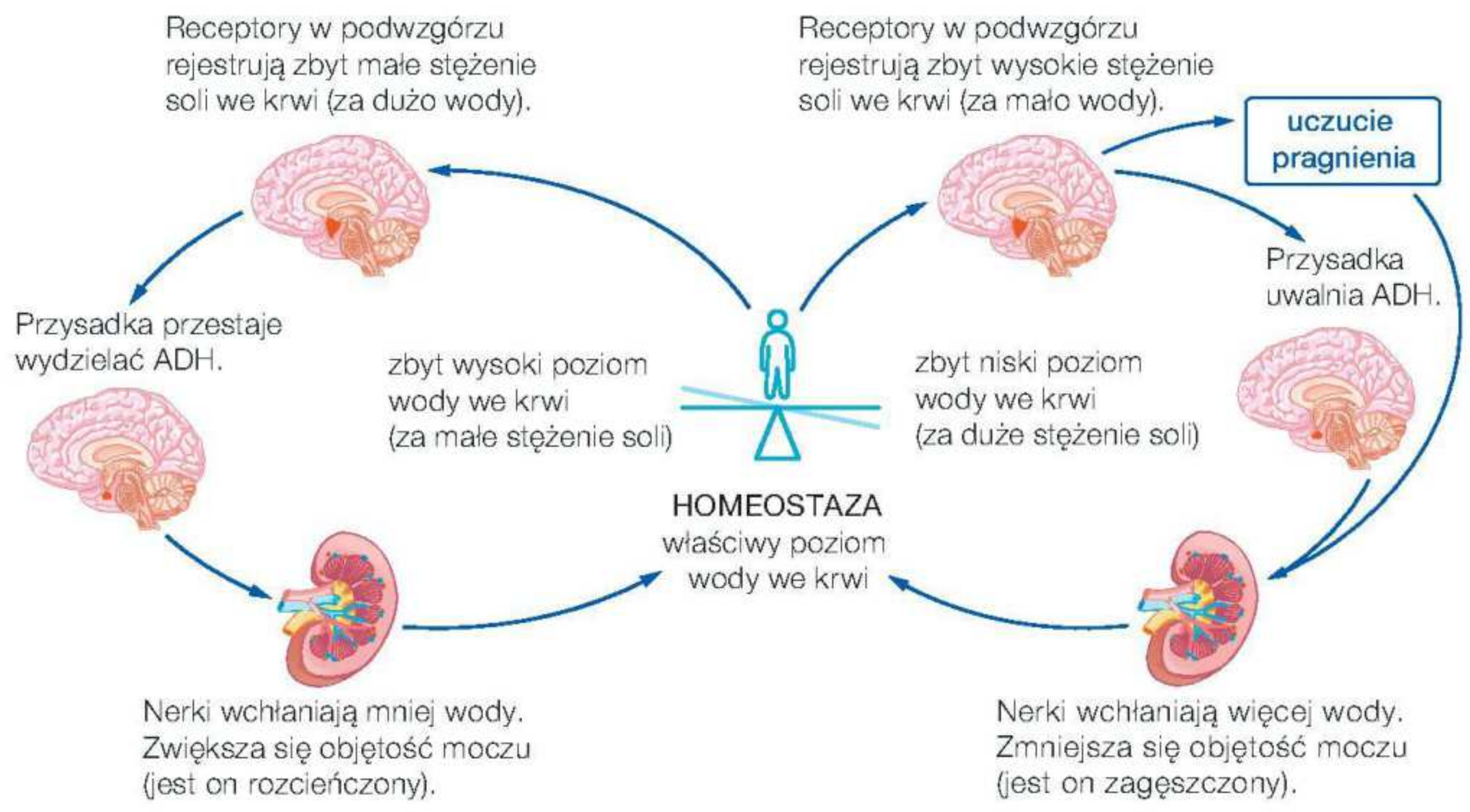
Regulacja hormonalna wytwarzania moczu

Ilość i stężenie moczu podlegają regulacji hormonalnej i zależą m.in. od stopnia uwodnienia organizmu. Najważniejsza w procesie regulacji wytwarzania moczu jest **wazopresyna** (hormon antydiuretyczny) – ADH – produkowana przez podwzgórze, a uwalniana przez przysadkę. Hormon ten powoduje otwieranie się kanałów wodnych w kanalikach zbiorczych nerek, co zwiększa wchłanianie zwrotne wody. Innym hormonem regulującym pracę nerek jest **aldosteron**, produkowany i wydzielany przez korę nadnerczy. Pobudza on wchłanianie zwrotne jonów sodu. Z kolei **parathormon** – PTH – wytwarzany i wydzielany przez przytarczyce, pobudza wchłanianie zwrotne jonów wapnia.

Wydalanie moczu

Wypływający z kanalików zbiorczych mocz spływa poprzez kielichy nerkowe do miedniczki nerkowej, a następnie do moczowodów i pęcherza moczowego. Wypełnianie pęcherza moczowego powoduje rozciąganie jego ścian, co z kolei pobudza odpowiednie receptory. Informacja o wypełnieniu pęcherza dociera do ośrodka wydalania, znajdującego się w części krzyżowej rdzenia kręgowego. Dochodzi wówczas do rozluźnienia mięśni zwieraczy cewki moczowej, a następnie do skurczu pęcherza i wydalenia moczu (mikcji).

Regulacja poziomu wody we krwi i objętości wydalanego moczu



Regulacja nerwowa wydalania moczu

Odruch wydalania moczu jest kontrolowany przez ośrodki nerwowe, zlokalizowane m.in. w **korze mózgowej** oraz w **rdzeniu kręgowym**. Świadomym hamowaniem lub pobudzaniem wydalania moczu sterują ośrodki nerwowe **płata czołowego kory mózgowej**. Z tego powodu dzieci uczą się kontrolowania oddawania moczu dopiero między pierwszym a trzecim rokiem życia, kiedy kora mózgowa jest wystarczająco rozwinięta. Główny ośrodek niezależnego od woli wydalania moczu znajduje się w **krzyżowym odcinku rdzenia kręgowego**. Wypełnienie pęcherza moczowego powoduje rozciągnięcie jego ścian i pobudzenie receptorów nerwowych. Informacja o wypełnieniu pęcherza płynie do rdzeniowego ośrodka wydalania moczu. Dochodzi do rozluźnienia mięśni zwieraczy cewki moczowej, a następnie do skurczu pęcherza i wydalenia moczu. Uszkodzenia rdzeniowego ośrodka wydalania moczu skutkują zaburzeniami oddawania moczu lub całkowitym brakiem kontroli nad tą czynnością.

> **Czy wiesz, że...**
>
> Oddawanie moczu jest przykładem działania sprzężenia zwrotnego dodatniego. Mięśnie odpowiadające za opróżnianie się pęcherza kurczą się coraz bardziej, aż do całkowitego opróżnienia pęcherza moczowego. Z tego powodu wstrzymywanie moczu w trakcie jego oddawania jest bolesne.

Hormony wydzielane przez nerki

Nerki pełnią funkcję wewnątrzwydzielniczą, ponieważ produkują i wydzielają hormony, m.in. erytropoetynę i reninę.

Erytropoetyna jest wytwarzana i wydzielana przez nerki (80%) oraz przez wątrobę (20%). Funkcją tego hormonu jest pobudzanie syntezy hemoglobiny oraz wytwarzania erytrocytów w czerwonym szpiku kostnym, co skutkuje lepszym zaopatrzeniem tkanek w tlen. Głównym bodźcem do syntezy i wydzielania erytropoetyny jest **niedotlenienie organizmu,** np. w warunkach wysokogórskich. Niewydolność nerek może więc prowadzić do niedokrwistości. Preparaty farmaceutyczne zawierające erytropoetynę podaje się głównie w przypadku anemii. Hormon ten jest także stosowany przez sportowców jako forma niedozwolonego dopingu. Umożliwia on długotrwałą pracę mięśni bez zaciągania długu tlenowego i produkcji mleczanu.

Renina to hormon o charakterze enzymu proteolitycznego. Uczestniczy w regulowaniu filtracji kłębuszkowej oraz wchłaniania zwrotnego wody i jonów sodu. Renina katalizuje przemianę nieaktywnego angiotensynogenu w aktywny hormon – **angiotensynę II**. Angiotensyna II powoduje skurcz naczyń krwionośnych, co podnosi ciśnienie krwi i zwiększa wydajność filtracji. Ponadto reguluje wydzielanie wazopresyny, która wzmaga wchłanianie zwrotne wody, oraz aldosteronu, który wzmaga wchłanianie zwrotne jonów sodu.

Polecenia kontrolne

1. Porównaj sposoby wydalania trzech głównych zbędnych produktów przemiany materii: amoniaku, dwutlenku węgla i nadmiaru wody.
2. Określ, czy cykl mocznikowy jest procesem anabolicznym czy procesem katabolicznym. Uzasadnij odpowiedź dwoma argumentami.
3. Wymień główne funkcje układu moczowego. Wskaż przystosowania w budowie układu moczowego do pełnienia tych funkcji.
4. Podaj różnicę między resorpcją a sekrecją.
5. Wyjaśnij terminy: *mocz pierwotny* i *mocz ostateczny*, a następnie omów mechanizmy powstawania tych rodzajów moczu.
6. Opisz rolę wazopresyny w utrzymaniu równowagi wodnej organizmu.
7. Podaj dwa przykłady sytuacji, w których objętość wydalanego moczu jest zmniejszona.
8. Scharakteryzuj wewnątrzwydzielniczą funkcję nerek.

7.3. Choroby układu moczowego

Zwróć uwagę na:
- znaczenie badań diagnostycznych w profilaktyce chorób układu moczowego,
- dializę jako metodę postępowania medycznego przy niewydolności nerek.

W ciągu doby przez nerki przepływa ok. 1500 dm^3 krwi, która zostaje w nich oczyszczona ze zbędnych i szkodliwych produktów przemiany materii. Nieprawidłowości w funkcjonowaniu układu moczowego powodują kumulowanie się szkodliwych substancji we krwi, co może prowadzić do zatrucia całego organizmu. Dlatego tak istotne jest wczesne wykrywanie i leczenie chorób tego układu.

Diagnostyka chorób układu moczowego

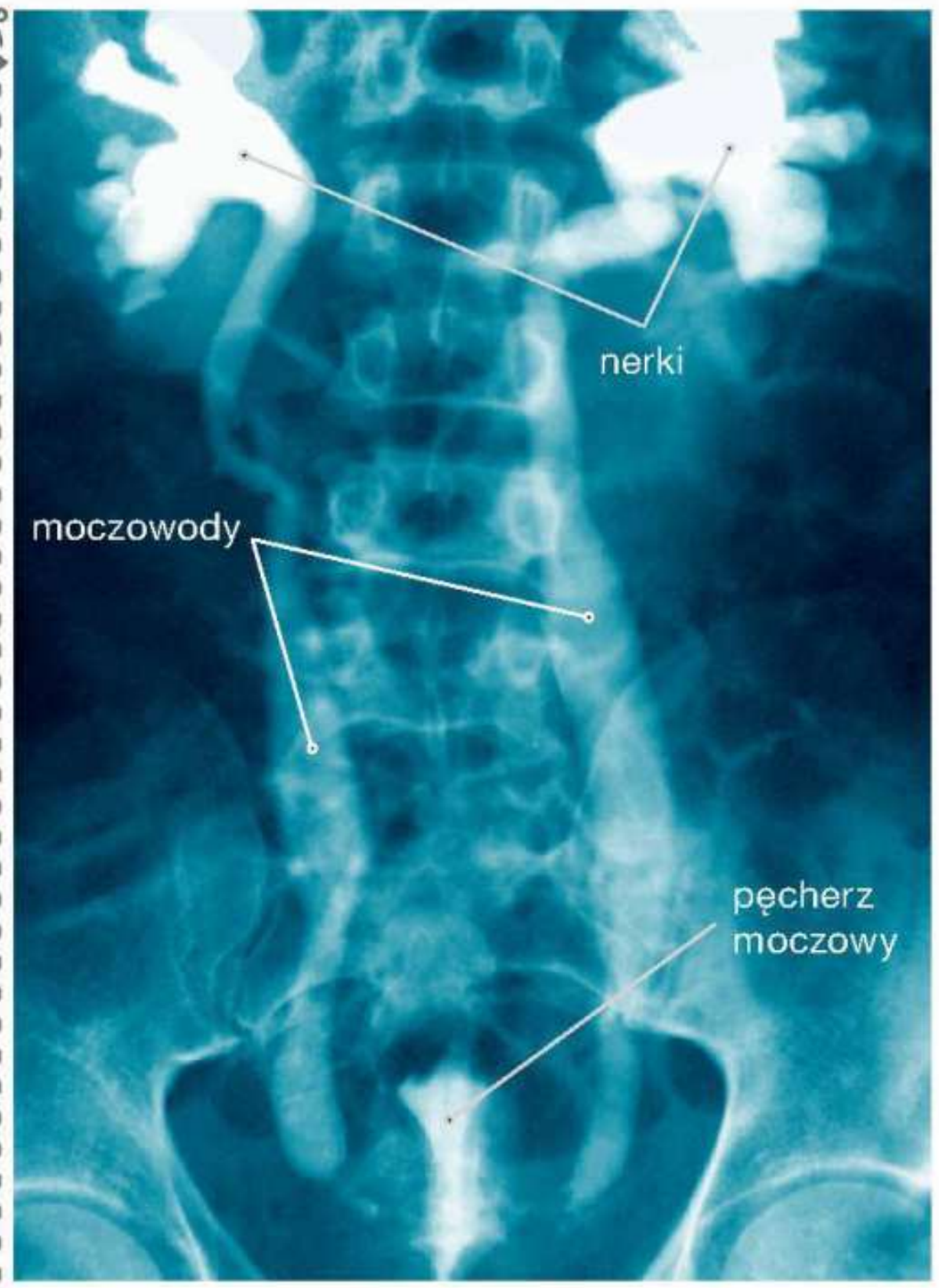
Choroby układu moczowego rozpoznaje się na podstawie **badań laboratoryjnych moczu** oraz innych metod diagnostycznych, m.in. **USG jamy brzusznej** i **urografii**.

USG jamy brzusznej

Wykorzystanie aparatu USG umożliwia obrazową ocenę nieprawidłowości w budowie narządów układu moczowego. USG pozwala wykryć guzy i torbiele, a także złogi, czyli kamienie nerkowe. Ponadto metoda ta pomaga ocenić stan dróg wyprowadzających mocz oraz przepływ krwi w tętnicach nerkowych.

Urografia

Urografia jest badaniem rentgenowskim, podczas którego do żył pacjenta wprowadza się **środek cieniujący** (kontrast) w celu zwiększenia widoczności narządów na zdjęciu RTG. Środek ten przemieszcza się razem z krwią do nerek i jest wydalany wraz z moczem. W trakcie badania wykonuje się serię zdjęć, które umożliwiają obserwację nieprawidłowości w budowie narządów lub trudności w przepływie moczu albo krwi. Pierwsze zdjęcie wykonuje się przed podaniem kontrastu, a następne – po jego podaniu, w kilkuminutowych odstępach.



Zdjęcie rentgenowskie układu moczowego z zastosowaniem środka cieniującego, które wykonano podczas urografii.

Czy wiesz, że...

Analiza składu moczu umożliwia m.in. ustalenie, czy kobieta jest w ciąży. Test ciążowy opiera się na wykryciu w moczu gonadotropiny kosmówkowej – hormonu produkowanego przez zarodek i łożysko.



Jak odczytać wyniki badania ogólnego moczu?

Analiza składu moczu dostarcza informacji nie tylko o samym układzie moczowym, lecz także o ogólnym stanie zdrowia.

Parametry fizykochemiczne

- **Barwa moczu** powinna być jasnożółta lub słomkowa. Zmienia się ona pod wpływem chorób, przyjmowanych lekarstw, a także diety.
- **Przejrzystość** – mocz powinien być klarowny (przejrzysty). Zmętnienia świadczą o występowaniu w nim komórek, śluzów czy kryształków nieorganicznych.
- **Ciężar właściwy** zależy od stopnia zagęszczenia moczu. Na przykład bardzo duży ciężar właściwy może świadczyć o odwodnieniu organizmu, a zbyt mały – o niewydolności nerek.
- **pH** powinno wynosić 5–8. Jego wartość zależy w dużej mierze od diety.

Związki chemiczne

- **Białko** nie powinno być obecne w moczu. Jego występowanie w znacznej ilości może świadczyć o poważnych chorobach, np. o niewydolności nerek.
- **Glukoza** nie powinna występować w moczu. Jej obecność może świadczyć np. o cukrzycy.
- **Ciała ketonowe** w moczu występują po długotrwałej głodówce albo w anoreksji, czasami również w cukrzycy.
- **Bilirubina** i **urobilinogen** poza granicami normy mogą wskazywać na stan zapalny wątroby.

Analityka		
Nazwa badania	**Wynik badania**	**Zakres referencyjny**
Materiał: mocz; data i godzina pobrania: nie podano; data i godzina przyjęcia: 18-01-2020, 12:50		
[A01] Badanie ogólne moczu		
Barwa	j. żółta	
Przejrzystość	przejrzysty	
Ciężar właściwy	1,014 g/ml	1,015–1,025
pH	6,0	5,0–8,0
Białko	nieobecne	
Glukoza	nieobecna	
Ciała ketonowe	nieobecne	0,0–5,0
Urobilinogen	w normie	0,0–1,0
Bilirubina	nieobecna	
Osad		
Nabłonki	pojedyncze	
Leukocyty	nie wykryto	
Erytrocyty	nie wykryto	
Bakterie	nieliczne	

Osad moczu

Uzyskuje się go po odwirowaniu próbki i ocenia się go mikroskopowo. Dopuszczalna jest obecność w nim kilku erytrocytów, leukocytów czy komórek nabłonków. Większa ich ilość może świadczyć o nieprawidłowościach. W osadzie nie powinny się również znajdować bakterie.

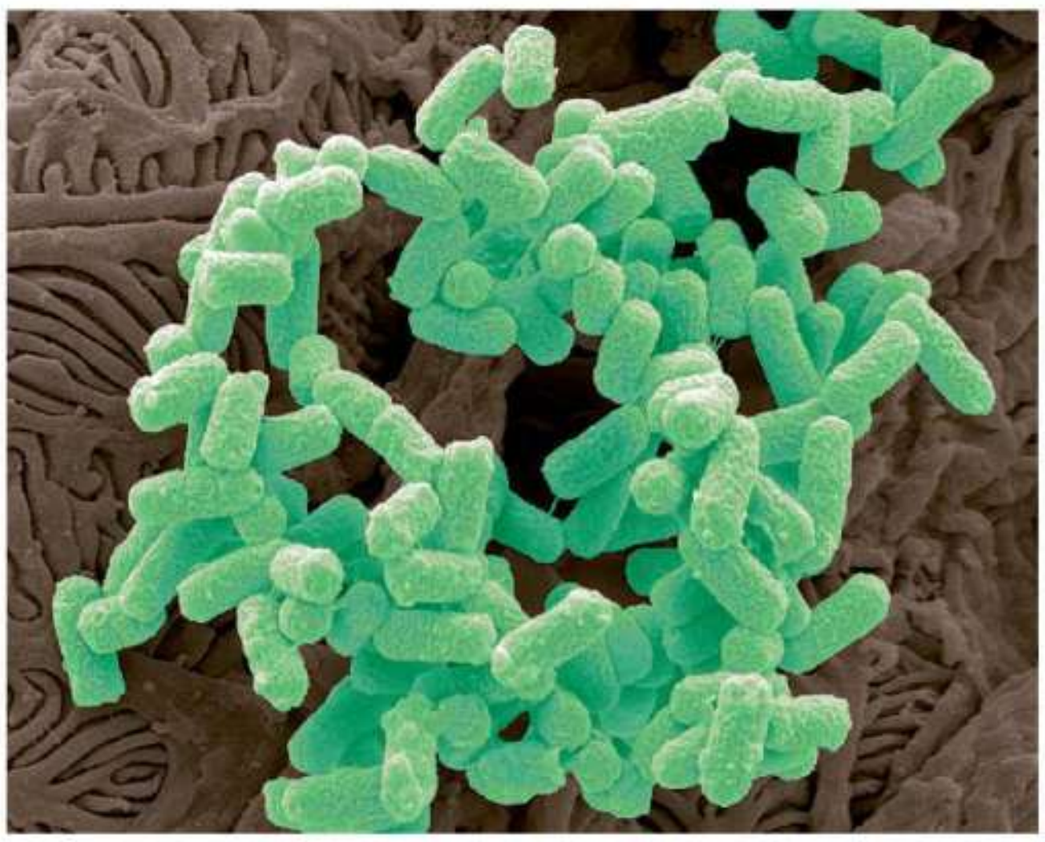
Badanie ogólne moczu pozwala na ocenę jego właściwości chemicznych i fizycznych, np. barwy.

☑ Choroby układu wydalniczego

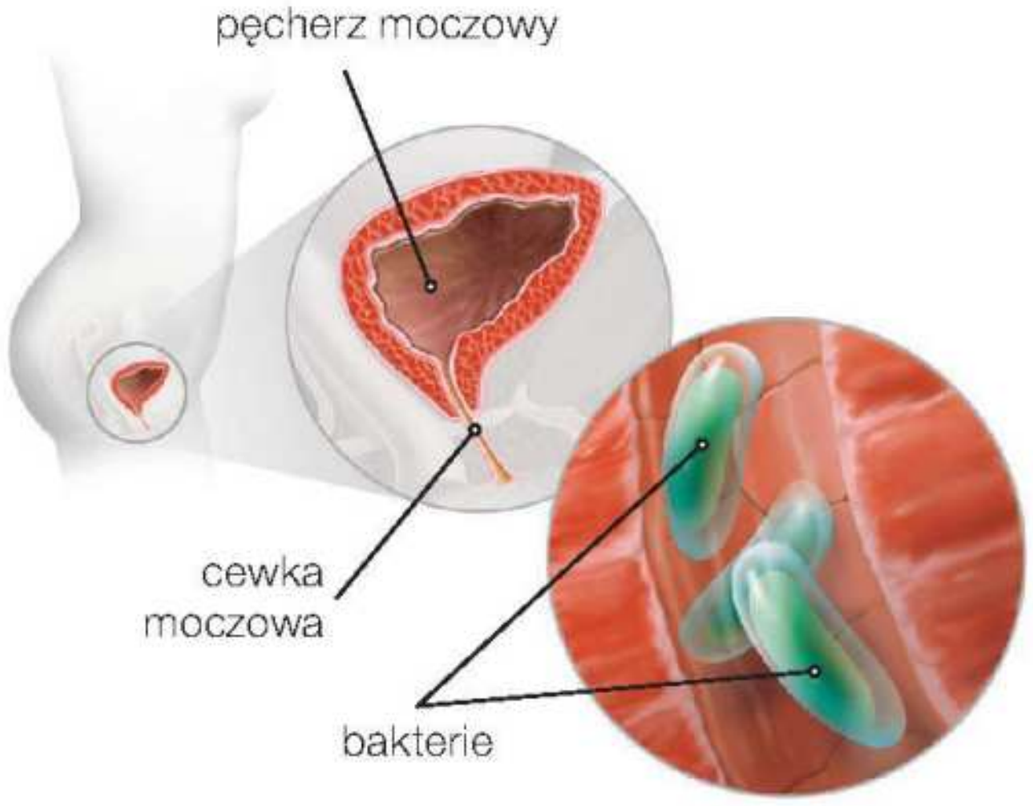
Zakażenia dróg moczowych

Zakażenie dróg moczowych dotyka częściej kobiet niż mężczyzn, ponieważ mają one krótszą cewkę moczową. Nieleczone zakażenie może doprowadzić do licznych powikłań, m.in. do odmiedniczkowego zapalenia nerek, w wyniku którego może dojść do niewydolności nerek.

- **Przyczyny:** z reguły zakażenie bakteryjne, rzadziej wirusowe lub grzybicze.
- **Droga zakażenia:** najczęściej bakterie przedostają się do cewki moczowej z powierzchni skóry lub z odbytnicy.
- **Profilaktyka:** przestrzeganie zasad higieny, szczególnie miejsc intymnych, picie odpowiedniej ilości wody.



Bakterie *Escherichia coli* na powierzchni kłębuszków nerkowych (obraz spod SEM).

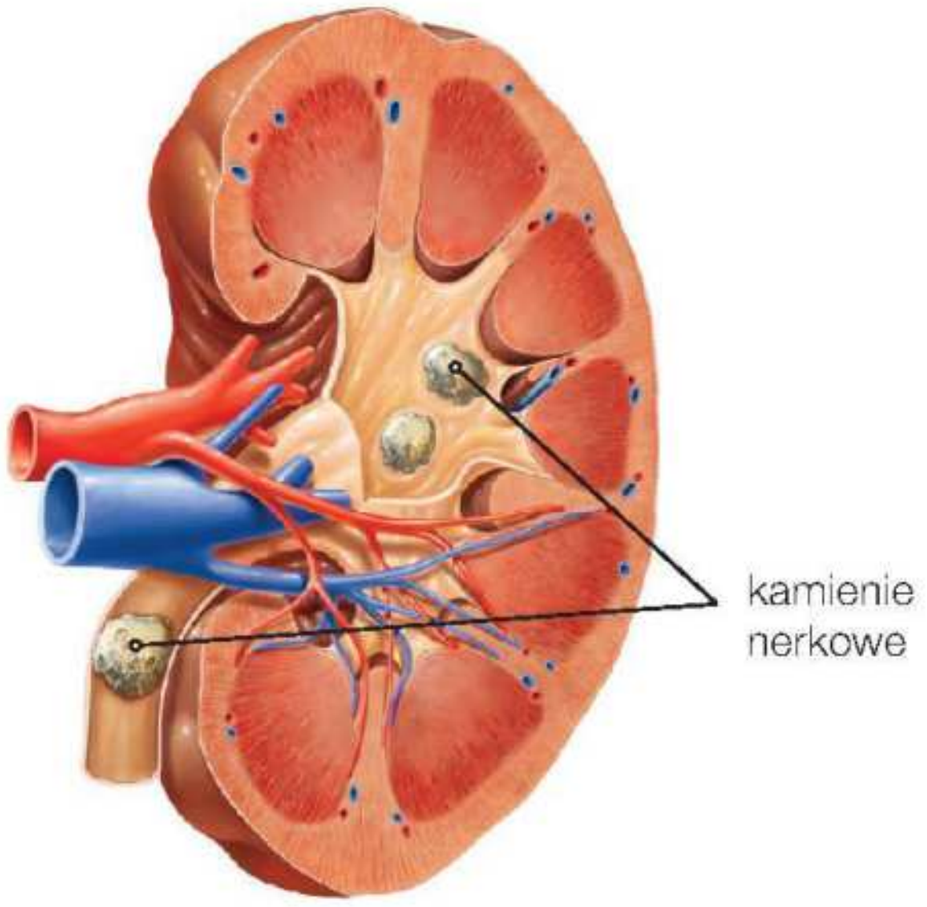


Bakterie do dróg moczowych dostają się najczęściej przez cewkę moczową.

Kamica nerkowa

Kamica nerkowa powstaje wtedy, gdy w nerkach lub w drogach moczowych tworzą się złogi mineralne nazywane kamieniami nerkowymi. Powstają one w wyniku wytrącania się substancji, które występują w moczu zwykle w postaci rozpuszczonej. Najczęściej są one zbudowane ze szczawianów lub fosforanów wapnia, rzadziej np. z kwasu moczowego. Usunięcie dużych kamieni nerkowych może wymagać interwencji chirurgicznej.

- **Przyczyny:**
  - przetrzymywanie moczu,
  - picie zbyt małej ilości wody.
- **Profilaktyka:** picie odpowiedniej ilości wody, unikanie siedzącego trybu życia, odpowiednia dieta bogata w błonnik, ograniczenie spożycia soli.



Kamienie nerkowe mogą zablokować drogi moczowe i wywołać silny ból (tzw. kolkę nerkową).

Niewydolność nerek. Dializa

Niewydolność nerek to stan chorobowy, w którym praca nerek jest zaburzona i ograniczona. W przypadku zaawansowanej niewydolności nerek stosuje się terapię nerkozastępczą – dializę albo przeszczep nerki.

Niewydolność nerek

Do wystąpienia niewydolności nerek przyczyniają się głównie:

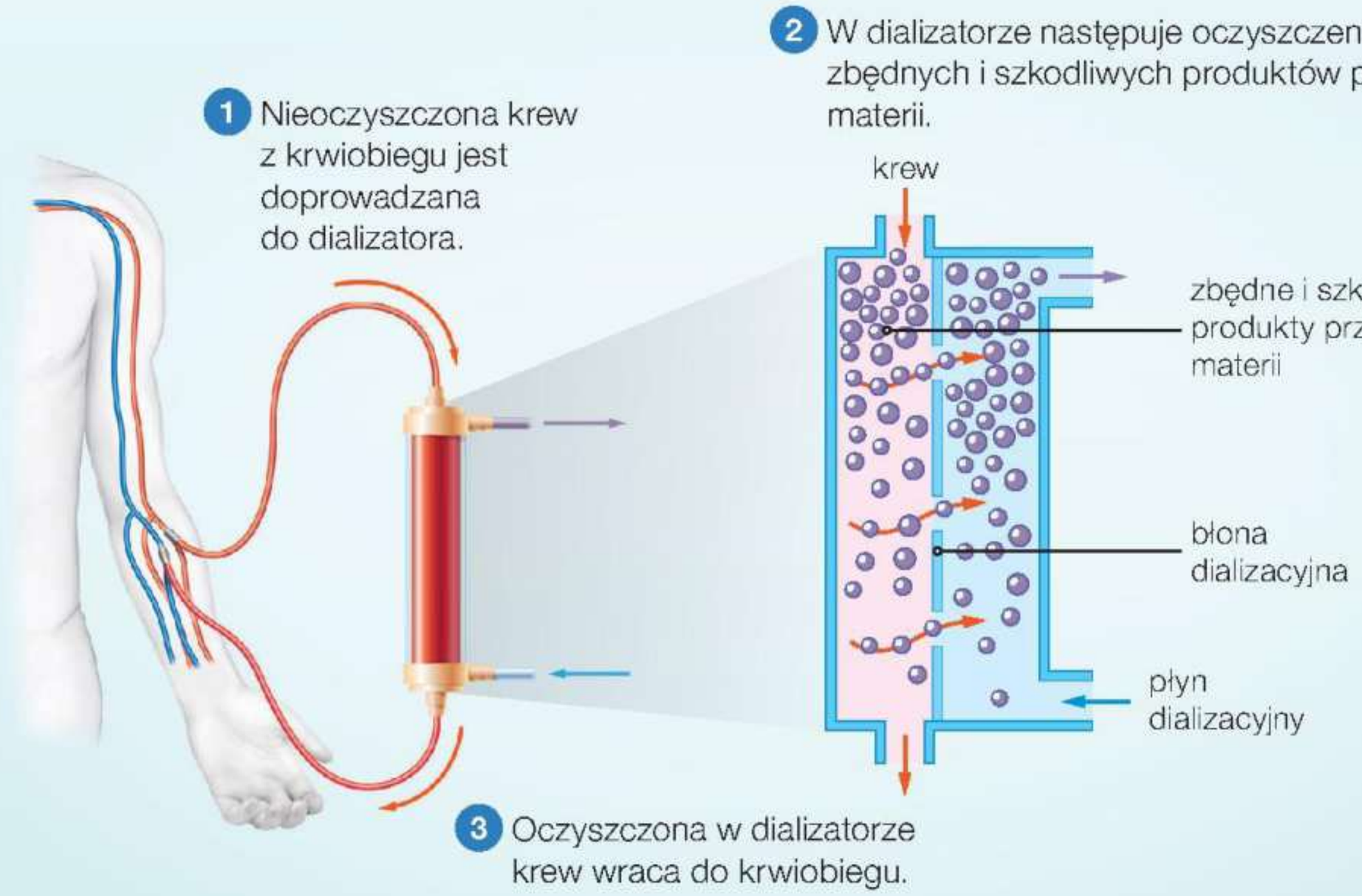
- choroby nerek (np. kamica nerkowa, odmiedniczkowe zapalenie nerek),
- uszkodzenia nerek na skutek innych chorób (np. nadciśnienia tętniczego, cukrzycy).



Hemodializa

Hemodializa jest najczęściej stosowanym rodzajem dializy. Polega na przepompowaniu krwi pacjenta przez sztuczną błonę półprzepuszczalną (błonę dializacyjną), która znajduje się w urządzeniu zwanym **dializatorem**. Wewnątrz dializatora zbędne i szkodliwe produkty przemiany materii z krwi przenikają przez błonę do płynu dializacyjnego. Cały proces trwa kilka godzin i przeprowadza się go w specjalnym ośrodku kilka razy w tygodniu.

Przebieg hemodializy

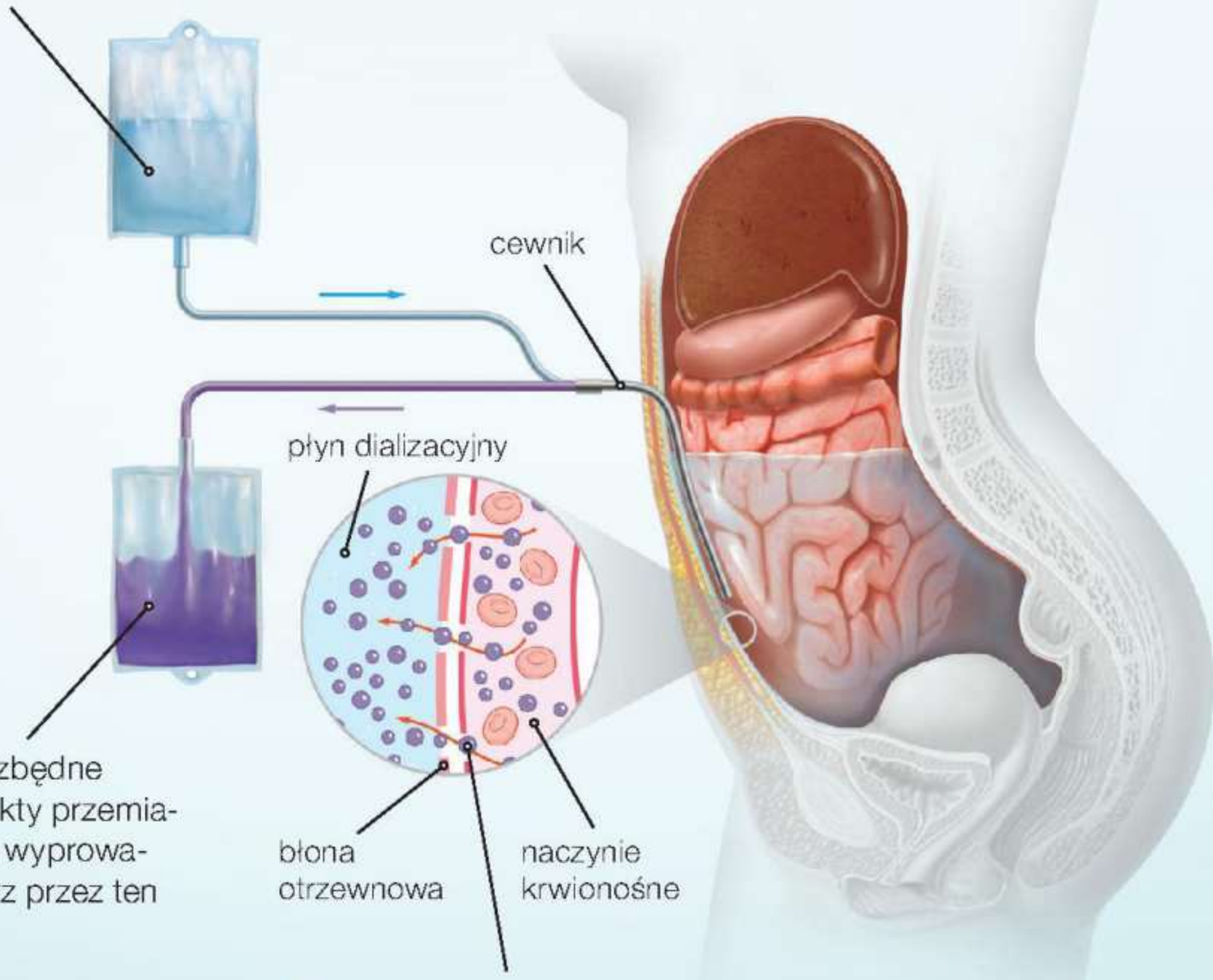


Dializa otrzewnowa

Ten rodzaj dializy polega na wprowadzaniu i usuwaniu płynu dializacyjnego z jamy otrzewnowej. Wymaga wprowadzenia do organizmu na stałe specjalnego cewnika, którym podaje się płyn dializacyjny. Funkcje błony dializacyjnej pełni półprzepuszczalna **błona otrzewnowa**, która otacza jamę brzuszną. Dializa otrzewnowa odbywa się w domu, zwykle w nocy.

Przebieg dializy otrzewnowej

1. Płyn dializacyjny jest wprowadzany do jamy brzusznej przez cewnik.



2. Zbędne i szkodliwe produkty przemiany materii przenikają z krwi do płynu dializacyjnego przez błonę otrzewnową w jamie brzusznej.

3. Płyn zawierający zbędne i szkodliwe produkty przemiany materii zostaje wyprowadzony na zewnątrz przez ten sam cewnik.

Polecenia kontrolne

1. Podaj prawdopodobne przyczyny występowania w moczu:
   a. glukozy,
   b. erytrocytów,
   c. bakterii.
2. Wyjaśnij różnicę pomiędzy dializą otrzewnową a hemodializą.
3. Opisz wybraną metodę diagnostyki chorób układu moczowego.
4. Podaj trzy działania profilaktyczne, które zapobiegają rozwojowi chorób układu moczowego.

Podsumowanie

1 **Funkcje układu wydalniczego:**

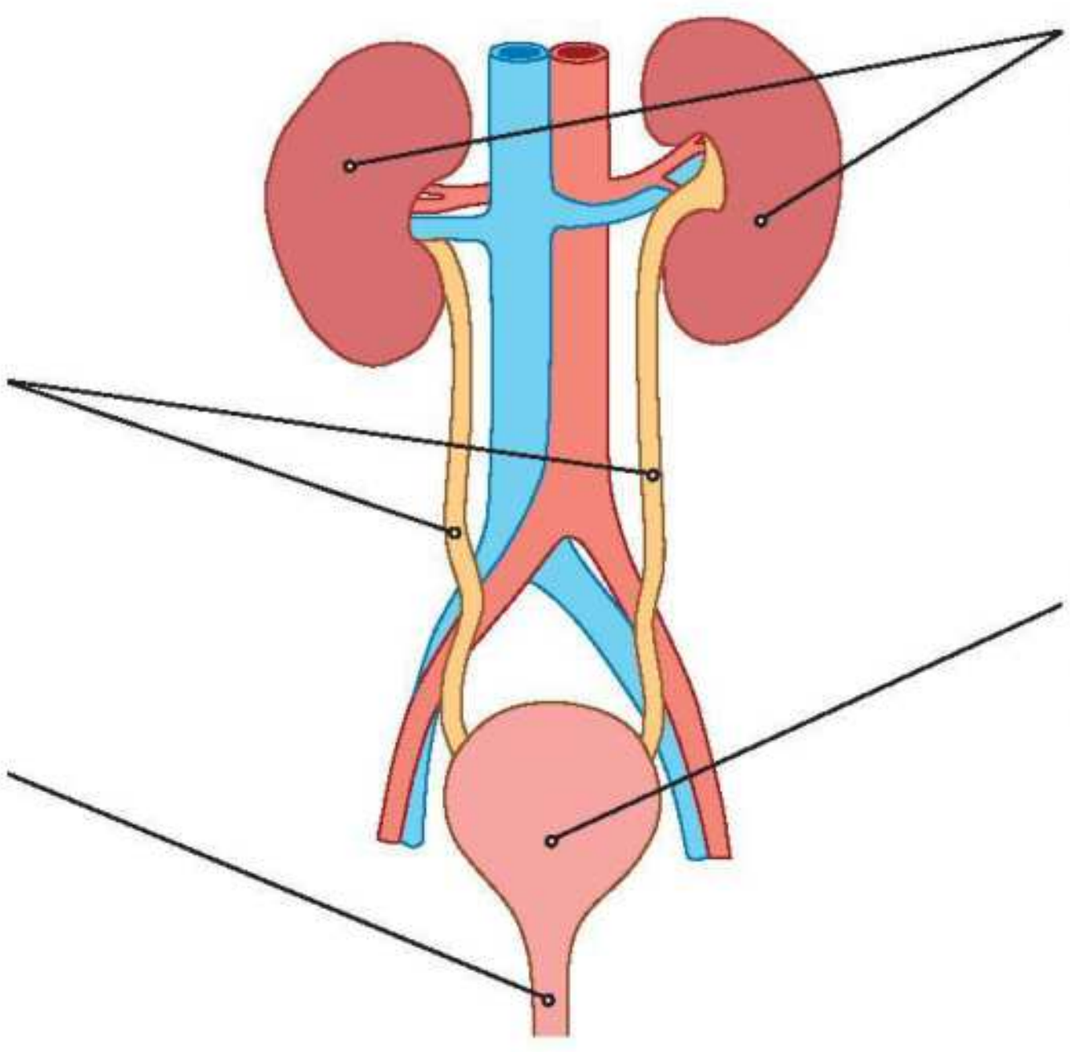
- **wydalanie** – usuwanie z organizmu zbędnych oraz szkodliwych produktów przemiany materii,
- **osmoregulacja** – regulacja ilości wody i elektrolitów (soli mineralnych) w organizmie.

2 **Sposoby i drogi wydalania zbędnych oraz szkodliwych produktów przemiany materii**

Wydalane produkty przemiany materii	Sposób wydalania	Drogi wydalania
Dwutlenek węgla	w wydychanym powietrzu	płuca
Woda i sole mineralne	w moczu, w pocie, w wydychanym powietrzu	nerki, skóra, płuca
Mocznik	w pocie, w moczu	skóra, nerki

3 **Cykl mocznikowy** – cykl reakcji enzymatycznych zachodzących w **wątrobie**. Substratami w cyklu mocznikowym są **jony amonowe** i **dwutlenek węgla**, a produktem jest mocznik. Energia potrzebna do zachodzenia cyklu mocznikowego pochodzi z ATP.

4 **Budowa układu wydalniczego**



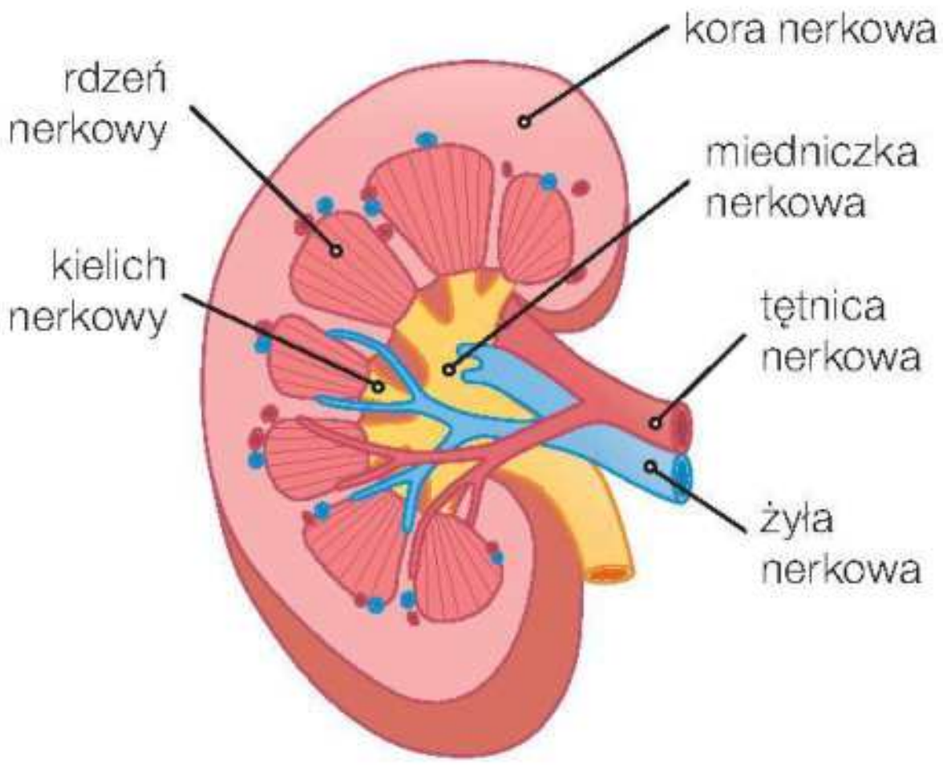
Nerki – oczyszczają krew z niepotrzebnych i szkodliwych substancji oraz produkują mocz. Wydzielają również hormony, m.in. erytropoetynę i reninę.

Moczowody – odprowadzają mocz z nerek do pęcherza moczowego.

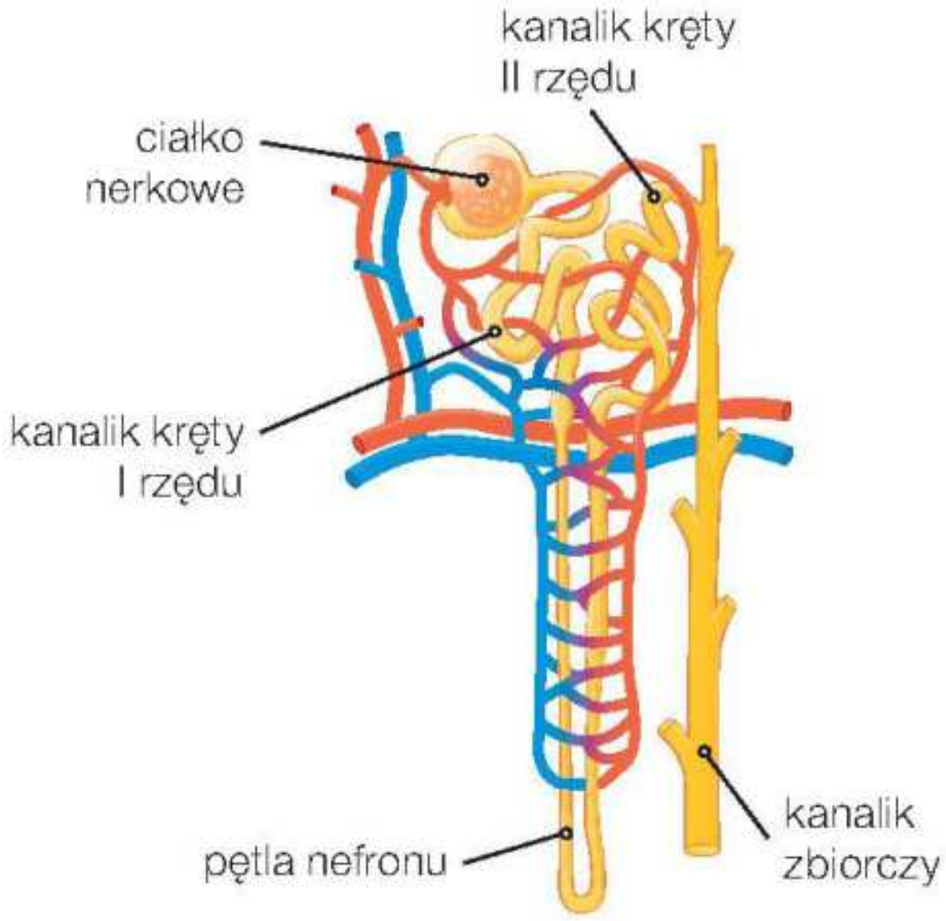
Pęcherz moczowy – gromadzi mocz spływający moczowodami z nerek.

Cewka moczowa – wyprowadza mocz na zewnątrz ciała.

5 Budowa nerki i budowa nefronu



Budowa nerki.



Budowa nefronu.

6 Etapy produkcji moczu

Etap	Miejsce	Opis
Filtracja	ciałko nerkowe	Substancje przenikają z krwi do torebki kłębuszka. W efekcie powstaje mocz pierwotny, który ma skład zbliżony do osocza.
Resorpcja	kanalik nerkowy	Następuje resorpcja, czyli wchłanianie zwrotne potrzebnych organizmowi substancji (głównie wody, jonów soli mineralnych i glukozy) z moczu pierwotnego do krwi.
Sekrecja	kanalik nerkowy	Z krwi do kanalików są wydzielane np. jony potasu, jony wodorowe, hormony steroidowe i leki. Powstaje mocz ostateczny.

7 Produkcja moczu jest regulowana m.in. przez **wazopresynę** (hormon antydiuretyczny) syntetyzowaną przez podwzgórze, a uwalnianą przez przysadkę. ADH powoduje zwiększenie wchłaniania zwrotnego wody w kanalikach nerkowych.

8 **Podstawowe badania diagnostyczne** układu wydalniczego to:

- **badanie ogólne moczu** – analiza jego właściwości fizykochemicznych i mikroskopowa ocena osadu,
- **USG jamy brzusznej** – badanie obrazowe z użyciem aparatu USG,
- **urografia** – seria zdjęć rentgenowskich z użyciem kontrastu.

9 Chorobami związanymi z układem wydalniczym są m.in. **zakażenia dróg moczowych**, **kamica nerkowa** i **niewydolność nerek**.

10 **Dializa** – leczenie nerkozastępcze, stosowane w stanach niewydolności nerek. Polega na oczyszczaniu krwi z wykorzystaniem błony półprzepuszczalnej. Najczęściej stosowanym rodzajem dializy jest **hemodializa**.

Sposób na zadania

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 „Ze względu na charakter zakażenia dróg moczowych na drodze wstępującej, duże znaczenie na utrzymanie jałowości moczu ma budowa anatomiczna układu moczowego. Szczelne rozmieszczenie komórek nabłonka wyścielającego drogi moczowe ma za zadanie tworzenie mechanicznej bariery chroniącej przed patogenami. Jeśli ciągłość nabłonka zostaje przerwana w wyniku kontaktu z fimbriami bakterii jest wydzielane białko – klaudyna 4 [...], która odpowiada za zachowanie integralności i funkcji błony komórkowej".

Źródło: E. Okrągła, K. Szychowska, L. Wolska, *Mechanizmy utrzymania sterylności układu moczowego*, „Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej" 2014, 68, s. 684–694.

a) Podaj nazwę głównej tkanki nabłonkowej wyścielającej drogi moczowe.

b) Określ, czy wydzielanie białka – klaudyny 4 – jest przejawem odporności swoistej czy odporności nieswoistej. Odpowiedź uzasadnij.

c) Określ, która płeć – żeńska czy męska – jest bardziej narażona na zakażenia dróg moczowych. Odpowiedź uzasadnij, odnosząc się do różnic płciowych w budowie anatomicznej układu moczowego człowieka.

Wskazówki

Podpunkt a)

1. Przypomnij sobie wiadomości dotyczące budowy układu moczowego. Informacje na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 299–301 i 304.
2. Zwróć szczególną uwagę na narządy składające się na drogi moczowe. Zastanów się, jaki rodzaj nabłonka buduje ich ściany. Informacje na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 304.
3. Sformułuj odpowiedź.

Podpunkt b)

1. Zastanów się, jakie są różnice między odpornością swoistą a odpornością nieswoistą. Informacje te znajdziesz w podręczniku na s. 265–267.
2. Określ kryterium, które pozwala odróżnić odporność swoistą od odporności nieswoistej.
3. Przeczytaj uważnie tekst dołączony do zadania.
4. Zastanów się, czy białko wymienione w poleceniu bierze udział w mechanizmie odporności swoistej czy w mechanizmie odporności nieswoistej.
5. Sformułuj odpowiedź.

Podpunkt c)

1. Przypomnij sobie wiadomości dotyczące ogólnej budowy układu moczowego. Informacje na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 299.
2. Zwróć szczególną uwagę na narządy składające się na drogi moczowe oraz na różnice w ich budowie anatomicznej u kobiet i u mężczyzn.
3. Zastanów się, w jaki sposób różnice w budowie anatomicznej mogą wpływać na łatwość przedostawania się do dróg moczowych patogenów ze środowiska zewnętrznego.
4. Sformułuj odpowiedź.

Zadania powtórzeniowe

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Tabela przedstawia porównanie składu osocza krwi ze składem moczu pierwotnego i moczu ostatecznego.

Składniki	Zawartość składników w g/cm^3 płynu		
	osocze krwi	mocz pierwotny	mocz ostateczny
Woda	90,00–93,00	97,00–99,00	96,00–97,00
Glukoza	0,10	0,10	0,00
Białka	7,00–9,00	0,00	0,00
Mocznik	0,03	0,03	2,00
Sole mineralne	0,72	0,72	1,50

a) Na podstawie danych zawartych w tabeli oceń prawdziwość stwierdzenia: „Mocz pierwotny jest hipertoniczny w stosunku do osocza krwi". Odpowiedź uzasadnij.

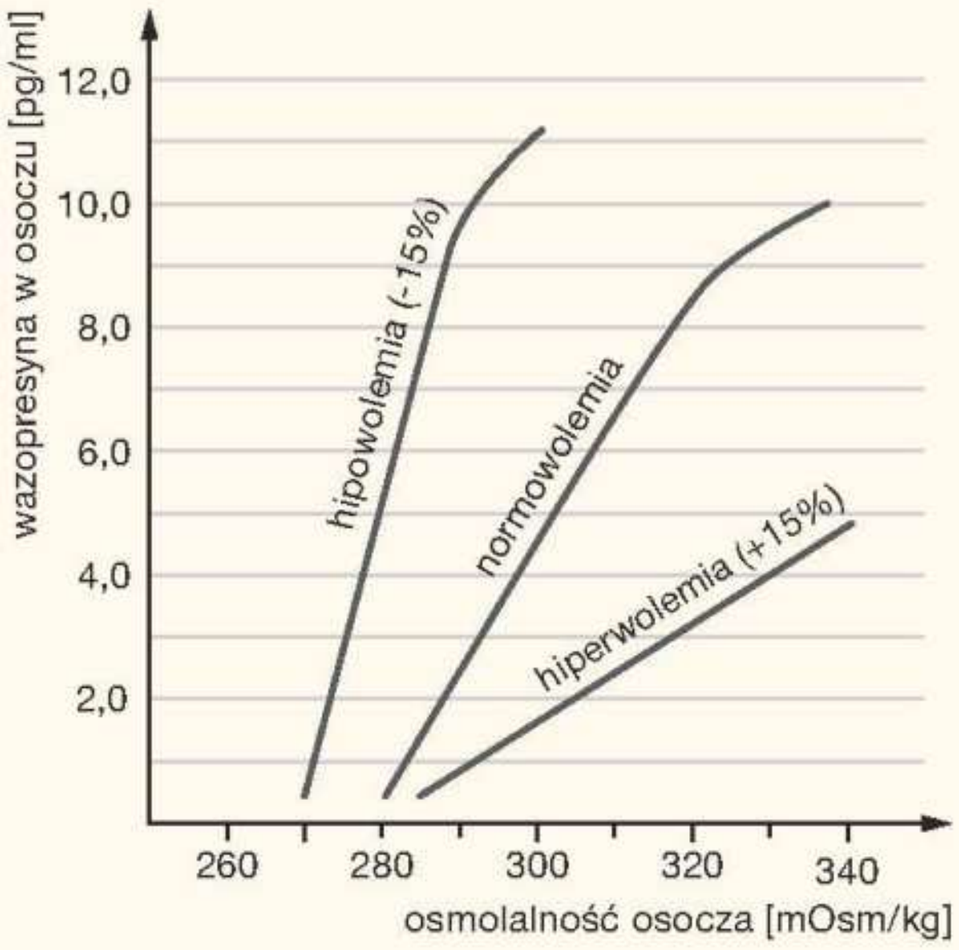
b) Wyjaśnij, dlaczego w moczu pierwotnym nie są obecne białka. W odpowiedzi uwzględnij proces prowadzący do powstania moczu pierwotnego.

c) Określ, dlaczego glukoza, która jest obecna w moczu pierwotnym, nie wchodzi w skład moczu ostatecznego. Odpowiedź uzasadnij, odnosząc się do przebiegu jednego z procesów prowadzących do powstania moczu ostatecznego.

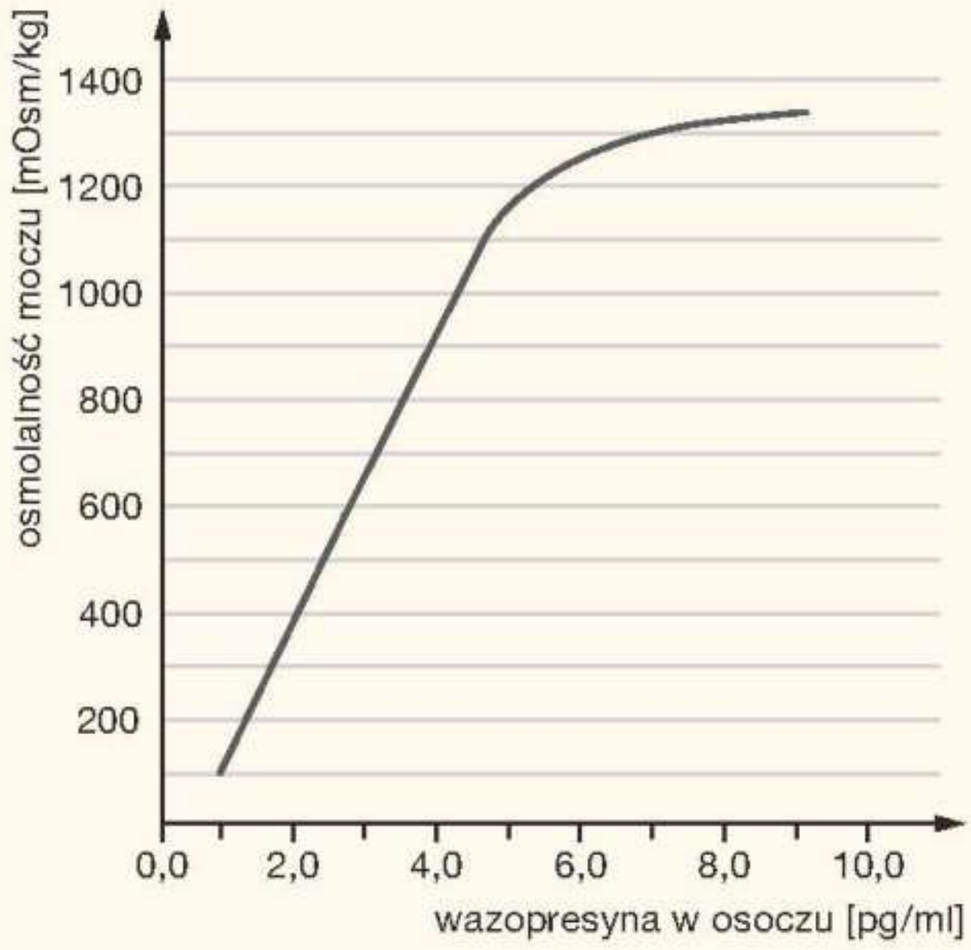
2 Osmolalność to stężenie substancji rozpuszczonej w roztworze. Wyraża je liczba moli substancji czynnych osmotycznie, które są rozpuszczone w jednym kilogramie rozpuszczalnika [mOsm/kg].

Wykres A przedstawia zależność między osmolalnością osocza a stężeniem wazopresyny we krwi w przypadku zbyt małej (hipowolemia), normalnej (normowolemia) i zbyt dużej (hiperwolemia) ilości krwi w naczyniach krwionośnych. Wykres B przedstawia zależność między stężeniem wazopresyny w osoczu a osmolalnością moczu.

A.



B.



Na podstawie: *Fizjologia człowieka z elementami fizjologii stosowanej i klinicznej*, red. W.Z. Traczyk, A. Trzebski, Warszawa 2019, s. 835.

a) Oceń, czy na podstawie wykresu A można sformułować wnioski podane w tabeli. Zaznacz T, jeśli wniosek wynika z wykresu, albo N – jeśli z niego nie wynika.

1.	Wzrost osmolalności osocza pobudza wydzielanie wazopresyny.	T	N
2.	Mała ilość krwi w naczyniach krwionośnych powoduje, że wazopresyna jest wydzielana przy niższej osmolalności osocza niż w warunkach normalnego wypełnienia naczyń krwią.	T	N
3.	Wazopresyna jest wydzielana stale, bez względu na osmolalność osocza.	T	N

b) Na podstawie wykresu B sformułuj wniosek dotyczący zależności pomiędzy zawartością wazopresyny w osoczu a osmolalnością moczu. Wyjaśnij, z czego wynika ta zależność, uwzględniając rolę wazopresyny w procesie regulacji wydalania moczu.

c) Podaj nazwę gruczołu:

– produkującego wazopresynę,

– uwalniającego wazopresynę do krwi.

d) Podaj nazwę hormonu – innego niż wazopresyna – regulującego proces wydalania moczu oraz określ jego rolę w tym procesie.

3 „U wielu pacjentów w starszym wieku nie udaje się ustalić przyczyny niedokrwistości [...]. Istotną rolę w patogenezie niedokrwistości o niewyjaśnionej etiologii w populacji geriatrycznej prawdopodobnie ma obniżone stężenie EPO w surowicy [...]. Erytropoetyna jest glikoproteiną o masie cząsteczkowej 30400. [...] W niedokrwistości z niedoboru żelaza w odpowiedzi na niedotlenienie tkanek stężenie EPO w surowicy wzrasta. Powyższej zależności nie zaobserwowano w niedokrwistości o niewyjaśnionej etiologii u osób starszych [...]".

Źródło: K. Kędziora-Kornatowska, A. Błażejewska, *Udział nerek w zaburzeniach endokrynnych u osób w podeszłym wieku*, „Gerontologia Polska" 2005, 13 (4), s. 218–221.

a) Wyjaśnij, dlaczego obniżone stężenie erytropoetyny może być przyczyną niedokrwistości. W odpowiedzi uwzględnij rolę erytropoetyny w organizmie człowieka.

b) Wyjaśnij, dlaczego niedobór żelaza powoduje niedokrwistość.

c) Uzupełnij poniższe zdania tak, aby zawierały prawdziwe informacje dotyczące syntezy erytropoetyny. Wybierz właściwe określenia spośród podanych.

Erytropoetyna jest glikoproteiną, której część białkowa jest produkowana w siateczce śródplazmatycznej *gładkiej / szorstkiej*. Następnie jest ona transportowana do *aparatu Golgiego / lizosomów*, gdzie następuje jej modyfikacja polegająca na przyłączeniu do części białkowej *reszty cukrowej / reszty kwasów tłuszczowych*.

d) Podaj nazwę narządu – innego niż nerki – który wytwarza i wydziela erytropoetynę.

e) Wyjaśnij, dlaczego podawanie erytropoetyny zawodowym sportowcom wpływa na osiąganie przez nich lepszych wyników podczas zawodów sportowych.

4 Niewydolność nerek to stan chorobowy, w którym praca nerek jest zaburzona i ograniczona. Jej przyczyną mogą być m.in. choroby nerek (np. odkłębuszkowe zapalenie nerek), cukrzyca i nadciśnienie tętnicze. W przypadku zaawansowanej niewydolności nerek stosuje się terapię nerkozastępczą – dializę albo przeszczep nerki.

1. Wyjaśnij, dlaczego podczas hemodializy krew i płyn dializacyjny przepływają w przeciwnych kierunkach.

2. Podaj nazwę procesu fizycznego, dzięki któremu zbędne produkty przemiany materii przenikają z krwi do płynu dializacyjnego.

3. Wyjaśnij, dlaczego dawców do przeszczepu nerki w pierwszej kolejności szuka się wśród najbliższej rodziny.

8. Układ nerwowy

8.1. Układ nerwowy u zwierząt
8.2. Budowa i działanie układu nerwowego
8.3. Ośrodkowy układ nerwowy
8.4. Obwodowy układ nerwowy
8.5. Autonomiczny układ nerwowy
8.6. Higiena i choroby układu nerwowego

Fot. Tkanka nerwowa (mikrofotografia elektronowa).

8.1. Układ nerwowy u zwierząt

Zwróć uwagę na:
- budowę układu nerwowego u zwierząt bezkręgowych,
- tendencje zmian w budowie mózgowia kręgowców.

Układ nerwowy zapewnia łączność zwierzęcia ze środowiskiem zewnętrznym. Odbiera bodźce docierające z otoczenia, przetwarza je, a następnie wywołuje odpowiednią reakcję. Dzięki temu zwierzę może np. zdobywać pokarm lub bronić się przed niebezpieczeństwem. Inną ważną funkcją układu nerwowego jest integrowanie czynności narządów i układów narządów, co umożliwia ich harmonijną współpracę, a w rezultacie zapewnia ciągłość procesów życiowych.

Układ nerwowy jest zbudowany z tkanki nerwowej, której podstawową jednostką funkcjonalną jest neuron (komórka nerwowa). Im bardziej skomplikowaną budową odznacza się organizm, tym bardziej złożona jest sieć połączeń między neuronami.

Układ nerwowy u bezkręgowców

Najprostszy układ nerwowy występuje u parzydełkowców. Można wyróżnić dwa zasadnicze plany jego budowy. Polip, który prowadzi osiadły tryb życia, ma **rozproszony układ nerwowy**, złożony z sieci połączonych ze sobą komórek nerwowych rozrzuconych po całym ciele. Szczególne zagęszczenie neuronów występuje na czułkach oraz w okolicach otworu gębowego. Wyższy poziom rozwoju wykazuje układ nerwowy wolno żyjącej meduzy. Ma ona dwa pierścienie nerwowe: jeden biegnie w okolicy otworu gębowego, a drugi znajduje się na brzegu parasola. Pod ropaliami na parasolu tworzą się także niewielkie skupiska komórek nerwowych.

U płazińców wykształcił się po raz pierwszy **ośrodkowy układ nerwowy**, zbudowany z dwóch zwojów głowowych i odchodzących od nich pni nerwowych. Ze struktur ośrodkowego układu nerwowego biorą początek nerwy docierające do poszczególnych okolic ciała. Tworzą one **obwodowy układ nerwowy**. Podobnie jest zbudowany układ nerwowy nicieni. Występuje w nim obrączka okołogardzielowa, od której odchodzą pnie: grzbietowy i brzuszny. Układ nerwowy występujący u płazińców i nicieni nosi nazwę **pasmowego układu nerwowego**.

Bardziej skomplikowany układ nerwowy wykształcił się u pierścienic. Rozpoczął się u nich proces **cefalizacji**, czyli wyodrębniania się odcinka głowowego, w którym koncentrują się narządy zmysłów. W związku z segmentacją ciała w odcinku głowowym występują dwie pary zwojów nadprzełykowych unerwiających głowowe narządy zmysłów. Są one połączone obrączką okołogardzielową ze zwojami podprzełykowymi unerwiającymi okolice otworu gębowego. Od zwojów głowowych odchodzą dwa brzuszne pnie nerwowe zaopatrzone w zwoje segmentalne. Taki układ zwojów i łączących je spoideł przypomina drabinę, dlatego nosi nazwę **drabinkowego układu nerwowego**. U wielu pierścienić, m.in. u dżdżownicy, występuje **łańcuszkowy układ nerwowy**, w którym oba pnie brzuszne zlewają się ze sobą i tworzą **brzuszny łańcuszek nerwowy**.

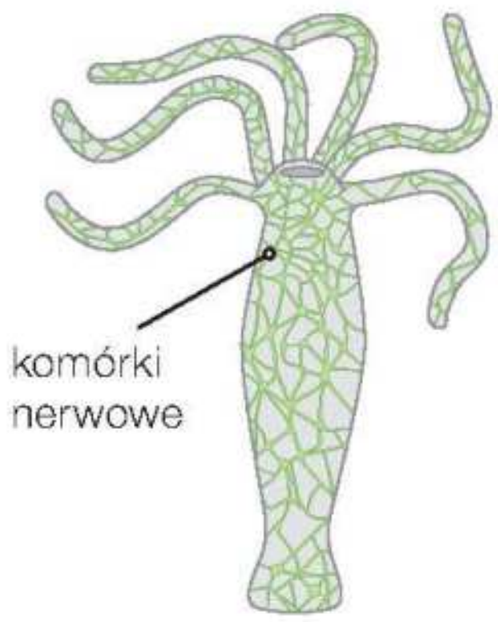
Centralizacja układu nerwowego jest znacznie bardziej zaawansowana u większości stawonogów, co wynika z ich dużej aktywności ruchowej. Na przykład u licznych gatunków pajęczaków zwój nadprzełykowy, zwój podprzełykowy i brzuszny łańcuszek nerwowy zlewają się ze sobą i tworzą zwartą **masę okołogardzielową**. Z kolei u owadów z połączenia się zwoju nadprzełykowego z kilkoma pierwszymi zwojami segmentalnymi powstaje **mózg**.

Układ nerwowy niżej uorganizowanych mięczaków składa się z obrączki okołoprzełykowej i kilku podłużnych pni nerwowych połączonych spoidłami. U form wyżej uorganizowanych na pniach powstają zwoje nerwowe. Większość gatunków ma parzyste zwoje głowowe, nożne, płaszczowe i trzewiowe. Najwyższy stopień rozwoju, zarówno pod względem budowy, jak i koncentracji zwojów, osiągnął układ nerwowy głowonogów. Zwoje nerwowe zlewają się u nich w **mózg** umieszczony w chrzęstnej puszce mózgowej, która ochrania go przed urazami.

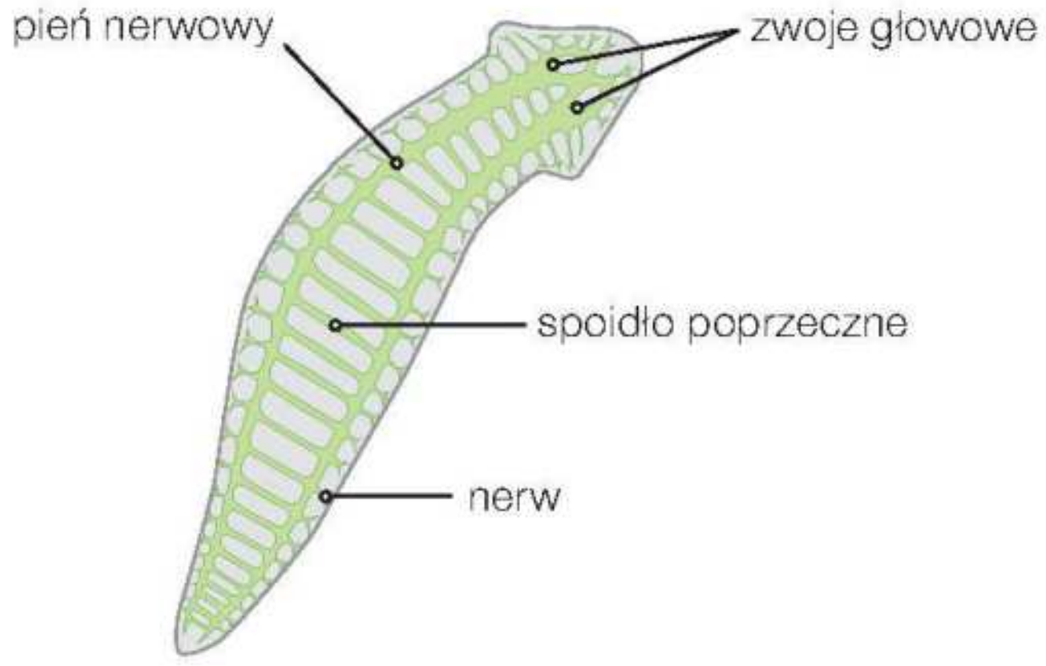
Układ nerwowy szkarłupni ma prymitywną budowę. W związku z wtórnie wykształconą symetrią promienistą oraz niewielką aktywnością ruchową tych zwierząt składa się on z pierścienia centralnego, od którego odchodzą pnie nerwowe unerwiające ramiona.

Typy układu nerwowego u bezkręgowców

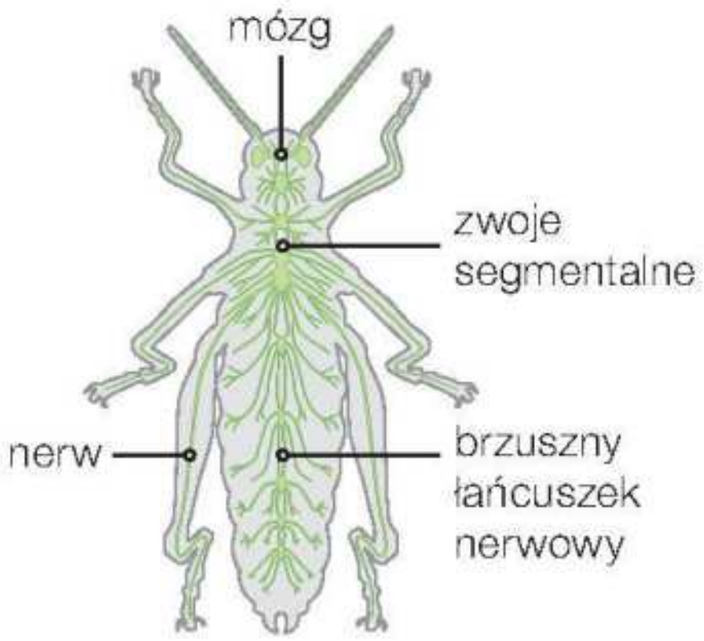
W ewolucji układu nerwowego u bezkręgowców zaznacza się tendencja do koncentracji neuronów w zwojach, a także zlewania się zwojów w większą masę. Pozwala to na wzrost liczby połączeń między neuronami i sprawniejszą pracę układu nerwowego.



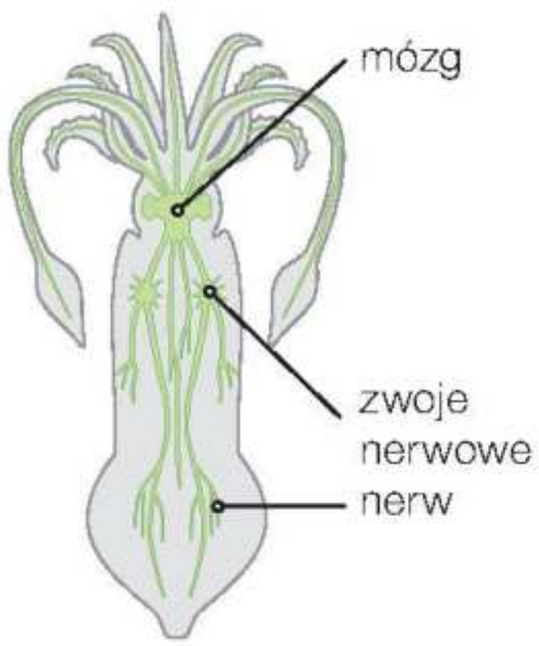
Rozproszony układ nerwowy tworzy sieć komórek nerwowych epidermy i gastrodermy. Cechuje się on brakiem zwojów i pni nerwowych. Występuje u parzydełkowców.



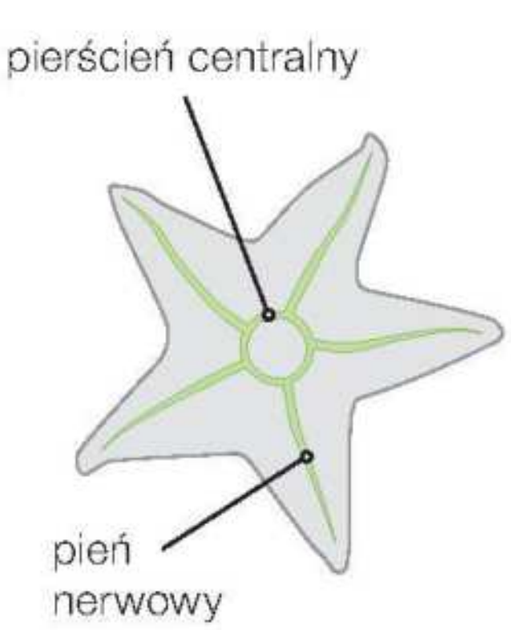
Pasmowy układ nerwowy składa się z jednej pary zwojów oraz kilku pni nerwowych połączonych spoidłami poprzecznymi. Występuje np. u płazińców oraz nicieni.



W łańcuszkowym układzie nerwowym zwoje głowowe są dobrze rozwinięte, a pnie nerwowe zlewają się ze sobą i tworzą brzuszny łańcuszek nerwowy. Układ taki występuje u wielu pierścienic i stawonogów.



U głowonogów – najbardziej zaawansowanych ewolucyjnie mięczaków – zwoje nerwowe zlewają się w mózg umieszczony w chrzęstnej puszce mózgowej. Szczególnie dobrze rozwinięte są w nim ośrodki wzroku.



Układ nerwowy szkarłupni składa się z pierścienia centralnego, od którego promieniście odchodzą pnie nerwowe.

Układ nerwowy strunowców

Ośrodkowy układ nerwowy strunowców ma postać **cewki nerwowej** (większość strunowców) lub tworzy się z cewki nerwowej w czasie rozwoju zarodkowego (osłonice).

U bezczaszkowców cewka nerwowa znajduje się w grzbietowej części ciała, nad struną grzbietową. Odchodzą od niej nerwy złożone z korzeni brzusznych oraz korzeni grzbietowych. Cewka nerwowa w przednim odcinku rozszerza się i formuje **pęcherzyk mózgowy**.

Podczas rozwoju zarodkowego kręgowców tylna część cewki nerwowej tworzy **rdzeń kręgowy**. Natomiast w przedniej części wyodrębniają się trzy pęcherzyki: przodomózgowie, śródmózgowie i tyłomózgowie. Przodomózgowie dzieli się następnie na kresomózgowie i międzymózgowie, a tyłomózgowie ulega podziałowi na tyłomózgowie wtórne (móżdżek) oraz rdzeń przedłużony. Ostatecznie powstaje **mózgowie** zbudowane z pięciu części. Kresomózgowie zawiera ośrodki węchu i kontroluje

Porównanie budowy mózgowia u kręgowców

Ryby

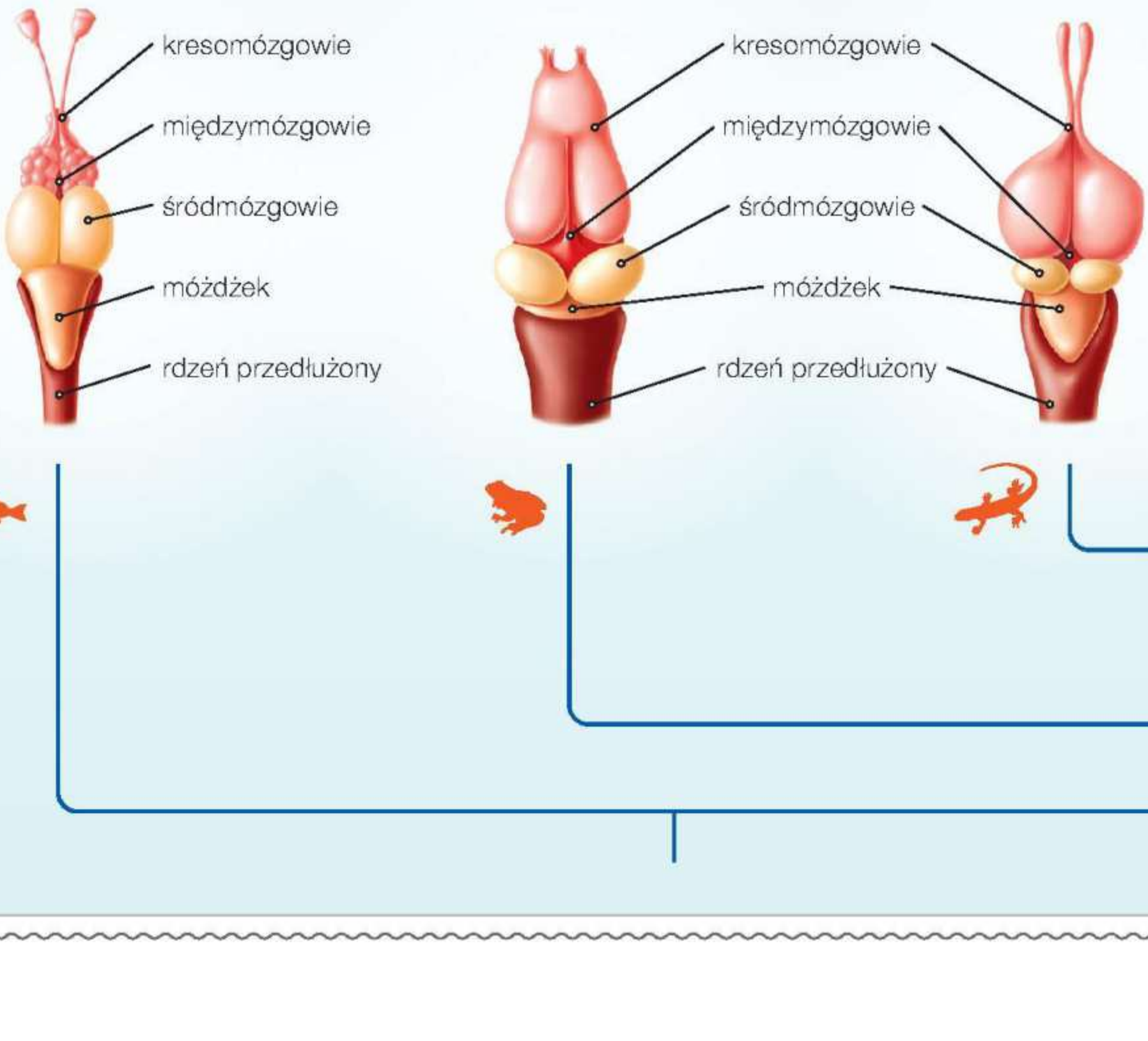
Mózgowie składa się z elementów podobnej wielkości. Silnie rozwinięte są płaty węchowe kresomózgowia, które odpowiadają za odbiór bodźców chemicznych.

Płazy

W mózgowiu silnie wykształcone są międzymózgowie i śródmózgowie, co wiąże się z dobrze rozwiniętym narządem wzroku. Słabo rozwinięty jest móżdżek.

Gady

Mózgowie ma silnie rozwinięte kresomózgowie, które jest zbudowane z dwóch półkul mózgowych pokrytych słabo wykształconą korą mózgu (korą nową).



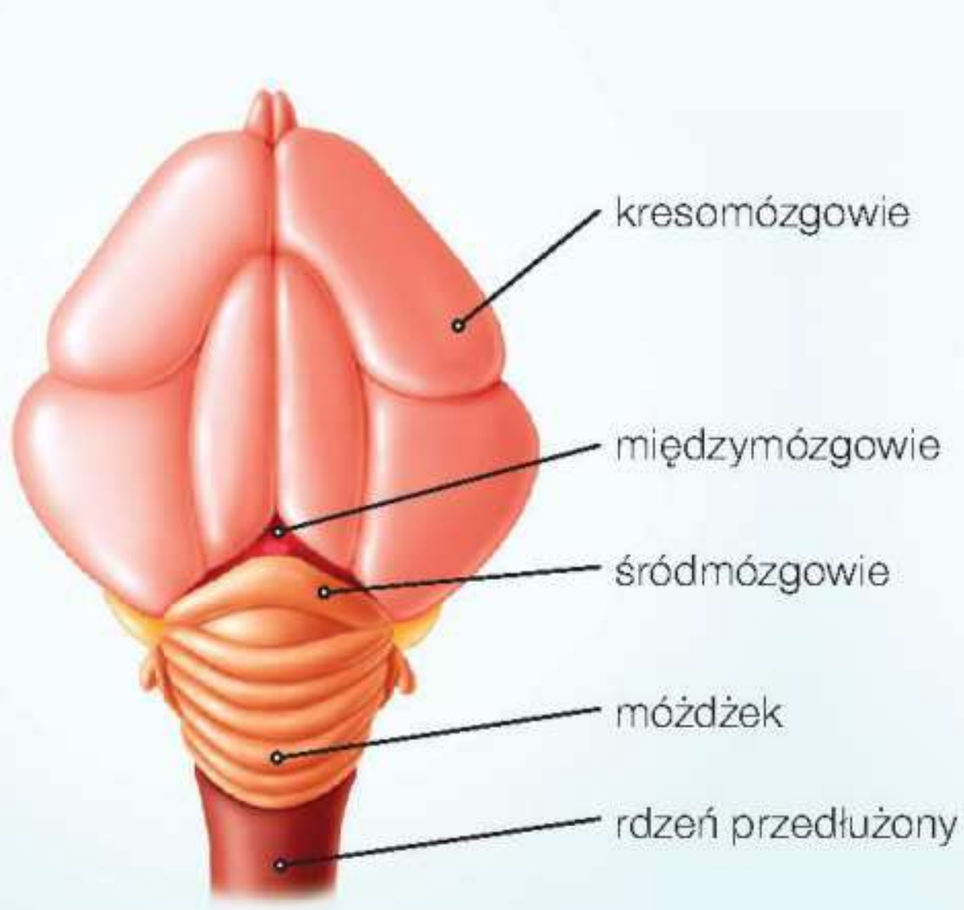
większość procesów umysłowych oraz związanych z ruchem. U ssaków jego powierzchnia ulega pofałdowaniu, dzięki czemu wzrasta liczba komórek nerwowych, a tym samym – zwiększają się zdolności umysłowe. Międzymózgowie bierze udział w przekazywaniu bodźców płynących z narządów zmysłów. Łączy się także z przysadką oraz szyszynką, których hormony regulują metabolizm i rytmy biologiczne. Śródmózgowie zawiera głównie ośrodki wzroku. Móżdżek jest odpowiedzialny za równowagę oraz koordynację ruchową. Z kolei rdzeń przedłużony kontroluje podstawowe procesy życiowe, m.in. oddychanie, termoregulację i niektóre odruchy. Odchodzi od niego rdzeń kręgowy, który pośredniczy w wymianie impulsów nerwowych między mózgowiem a resztą ciała. Mózgowie i rdzeń kręgowy tworzą ośrodkowy układ nerwowy, który przetwarza informacje dostarczane przez obwodowy układ nerwowy, utworzony z nerwów mózgowych oraz nerwów rdzeniowych.

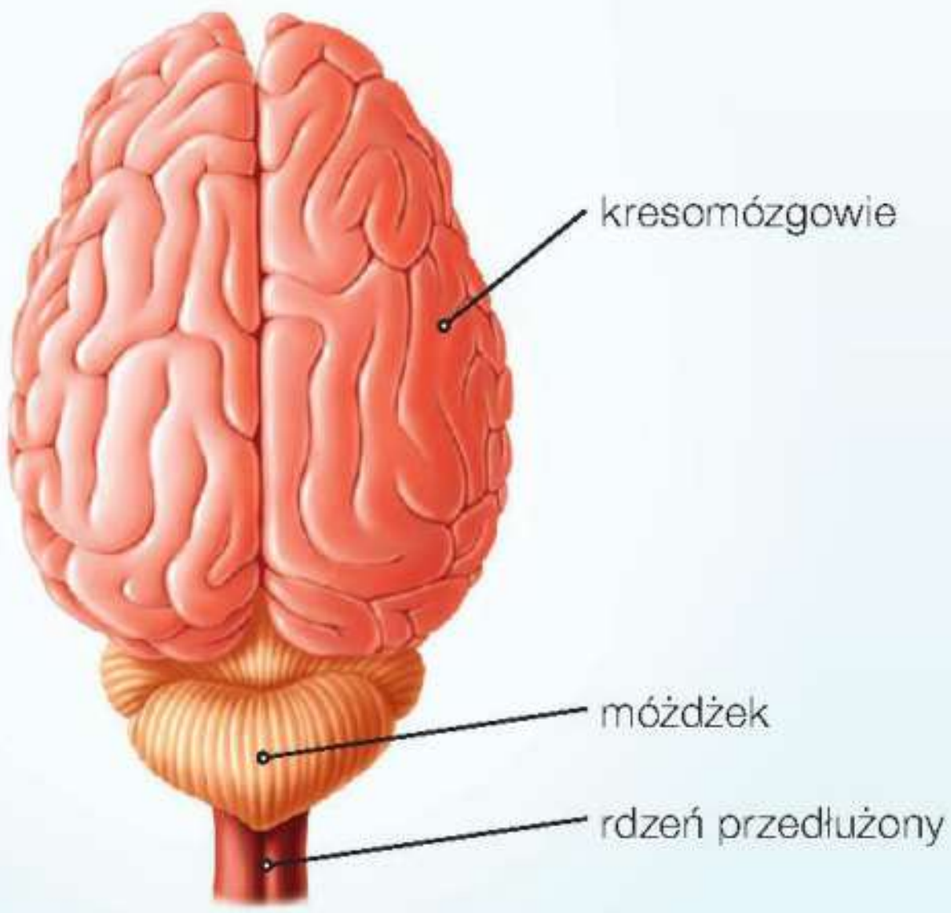
Ptaki

Mózgowie cechuje się wyjątkowo silnie rozwiniętym móżdżkiem, co ma związek z wykształceniem umiejętności lotu. Dobrze rozwinięte są też półkule kresomózgowia zawierające – podobnie jak u gadów – korę nową.

Ssaki

Charakterystyczną cechą mózgowia są silnie pofałdowane półkule kresomózgowia, które tworzy głównie kora nowa. Kresomózgowie nasuwa się od góry na pozostałe elementy mózgowia.





Czynności układu nerwowego

Funkcją układu nerwowego jest odbieranie oraz przetwarzanie bodźców docierających z wnętrza organizmu oraz ze środowiska zewnętrznego, a także odpowiednie reagowanie na nie za pomocą narządów wykonawczych. Do odbioru bodźców służą **receptory**, do których należą wolne zakończenia nerwowe lub wyspecjalizowane komórki zmysłowe. Informacja odebrana przez receptory jest następnie analizowana w określonych strukturach **ośrodkowego układu nerwowego**, czyli – w przypadku kręgowców – w mózgowiu lub rdzeniu kręgowym. W rezultacie organizm zwierzęcia reaguje na bodziec. Reakcja na bodziec zachodzi dzięki **efektorom**, głównie mięśniom lub gruczołom. Droga, którą przebywa impuls nerwowy od receptora do efektora, nosi nazwę **łuku odruchowego**.

Łuk odruchowy jest podłożem **odruchu**, czyli automatycznej, wrodzonej reakcji organizmu na bodziec. U kręgowców wyróżnia się odruchy rdzeniowe oraz odruchy zachodzące z udziałem mózgowia. Odruchy można również podzielić na bezwarunkowe i warunkowe oraz obronne i zachowawcze.

Na bazie odruchów powstają **instynkty** – wrodzone, złożone mechanizmy zachowania zwierząt, które nie wymagają uprzedniej nauki i są charakterystyczne dla danego gatunku. Należą do nich m.in. instynkt samozachowawczy, instynkt rodzicielski czy instynkt swobody. W miarę rozwoju ewolucyjnego znaczenie instynktów maleje, wykształcają się natomiast zdolności uczenia się oraz myślenia. Częstymi formami uczenia się zwierząt są:

- **przyzwyczajanie się** (habituacja) – reakcje na niektóre powtarzające się bodźce ulegają stopniowemu wygaszeniu. Dzięki temu eliminowane są reakcje pozbawione biologicznego znaczenia, co z kolei chroni organizm przed niepotrzebną utratą energii;
- **metoda prób i błędów** – z wielu reakcji organizmu stopniowo eliminowane są te, którym nie towarzyszy pozytywny efekt.

Myślenie to proces zachodzący przede wszystkim w korze mózgu. Opiera się ono na złożonych zdolnościach analizy i syntezy zjawisk występujących w świecie zewnętrznym. Mechanizmy myślenia wykorzystują m.in. pamięć, czyli informację zakodowaną w różnych strukturach mózgu. U zwierząt dominuje **myślenie konkretne**, które obejmuje obszar zjawisk bezpośrednio dostępnych zmysłom. Do rozwiązywania problemów służą w tym przypadku wcześniejsze doświadczenia. U człowieka pojawia się natomiast **myślenie abstrakcyjne**, które angażuje wyobraźnię. Dzięki temu wyprzedza ono konkretne działania i przewiduje ich skutki.

Podział odruchów			
ze względu na pochodzenie		ze względu na zachowanie	
bezwarunkowe	warunkowe	obronne	zachowawcze
Odruchy wrodzone uwarunkowane genetycznie, identyczne u wszystkich osobników danego gatunku. Należy do nich m.in. odruch ssania występujący u młodych ssaków.	Odruchy nabyte, wyuczone, różne u przedstawicieli danego gatunku. Należy do nich m.in. unikanie polowania na małe owady po przebytym użądleniu (kotowate).	Odruchy wywołane działaniem czynników szkodliwych. Należy do nich m.in. odruch zamykania oczu w odpowiedzi na nagły, głośny dźwięk.	Odruchy niezbędne do przeżycia organizmu oraz utrzymania gatunku. Należą do nich m.in. odruchy związane z odżywianiem się, oddychaniem, snem oraz rozmnażaniem się.

Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij przyczyny różnic w budowie układu nerwowego polipa i meduzy.
2. Podaj główne różnice w budowie układów nerwowych: drabinkowego i łańcuszkowego.
3. Podaj cechy budowy układu nerwowego głowonogów.
4. Opisz ewolucję mózgowia kręgowców.

8.2. Budowa i działanie układu nerwowego

Zwróć uwagę na:

- budowę i funkcje układu nerwowego,
- związek między budową neuronu a przewodzeniem impulsu nerwowego,
- sposoby połączeń między neuronami,
- działanie synaps i przykłady neuroprzekaźników.

Układ nerwowy człowieka reguluje i koordynuje wszystkie procesy zachodzące w organizmie. Odbiera informacje pochodzące z wnętrza organizmu lub ze środowiska zewnętrznego. Następnie przetwarza je i przesyła dalej w postaci impulsów elektrycznych, zwanych impulsami nerwowymi. Impulsy nerwowe docierają ostatecznie do narządów wykonawczych – mięśni lub gruczołów – które reagują odpowiednio skurczem lub wydzieleniem substancji. Informacje napływające z zewnątrz umożliwiają przystosowanie się organizmu do zmiennych warunków otoczenia, a informacje napływające z wewnątrz umożliwiają utrzymanie homeostazy.

Funkcje układu nerwowego	
Odbiór i analiza bodźców pochodzących ze środowiska zewnętrznego i z wnętrza ciała.	
Reakcja na bodźce.	
Regulowanie i koordynowanie pracy innych układów narządów.	
Sterowanie wyższymi czynnościami nerwowymi, takimi jak emocje, pamięć i inteligencja.	

Budowa układu nerwowego

Podstawową jednostką anatomiczną i czynnościową układu nerwowego jest **komórka nerwowa – neuron** – która odpowiada za przepływ informacji w postaci **impulsów nerwowych**. Oprócz neuronów w skład tkanki nerwowej wchodzą także **komórki glejowe**, które pełnią w stosunku do neuronów funkcje podporowe i odżywcze.

Funkcjonalnie układ nerwowy dzieli się na somatyczny oraz autonomiczny. **Somatyczny układ nerwowy** kontroluje czynności mięśni szkieletowych oraz kieruje wykonywaniem ruchów świadomych. Z kolei **autonomiczny układ nerwowy** kontroluje metabolizm, czynności mięśni gładkich i mięśnia sercowego oraz funkcjonowanie narządów wewnętrznych.

Anatomicznie układ nerwowy dzieli się na ośrodkowy oraz obwodowy. Do **ośrodkowego układu nerwowego** należą mózgowie i rdzeń kręgowy, natomiast do **obwodowego układu nerwowego** – nerwy obwodowe (czaszkowe i rdzeniowe) oraz nerwy autonomiczne.

Budowa neuronu

Typowy neuron jest zbudowany z **ciała komórki nerwowej** oraz dwóch rodzajów wypustek – **dendrytów** i **aksonu**. Ciało komórki nerwowej (perykarion) to część neuronu otaczająca jądro komórkowe. W cytozolu komórki nerwowej znajdują się organelle charakterystyczne dla większości komórek zwierzęcych, m.in. liczne aparaty Golgiego, mitochondria oraz dobrze rozwinięta siateczka śródplazmatyczna szorstka (tigroid). W ciele komórki oraz w jej wypustkach występują białkowe włókienka zwane neurofibrylami.

Aksony komórek nerwowych (a niekiedy także długie dendryty) określa się mianem **włókien nerwowych**. Mogą być one nagie (włókna bezmielinowe) lub okryte osłonką mielinową (włókna mielinowe).

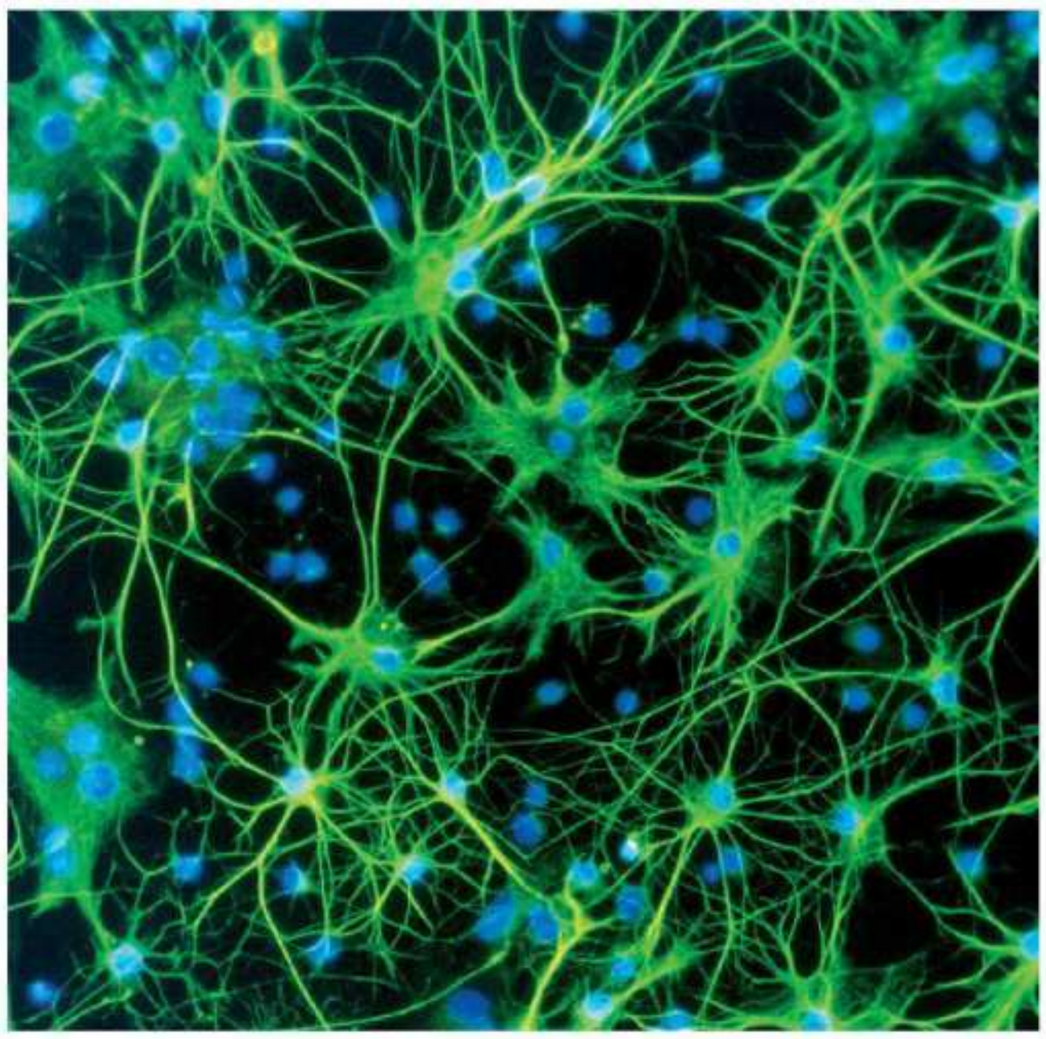
Komórki glejowe

Neurony są komórkami wysoko wyspecjalizowanymi, dlatego utraciły zdolność wykonywania niektórych czynności życiowych. W związku z tym w tkance nerwowej występują również komórki glejowe, które przejęły funkcje: podporową, odżywczą, izolującą, a nawet regeneracyjną. Wśród komórek glejowych ważną rolę odgrywają **lemocyty**, zwane również komórkami osłonkowymi lub komórkami Schwanna [wym. szwana]. Są to długie, spłaszczone komórki, tworzące **osłonki mielinowe** we włóknach mielinowych. Wśród komórek glejowych największe są **astrocyty**. Mają one gwiaździsty kształt oraz dużą liczbę wypustek. Astrocyty biorą udział w transporcie substancji oraz pełnią funkcję podporową. Uczestniczą także w pourazowej naprawie tkanki nerwowej.

Funkcjonalny podział neuronów

Biorąc pod uwagę pełnione funkcje, wyróżnia się trzy rodzaje neuronów:

- **neurony czuciowe** – przewodzą impulsy nerwowe od receptorów do ośrodkowego układu nerwowego (mózgowia i rdzenia kręgowego),
- **neurony ruchowe** – przewodzą impulsy z ośrodkowego układu nerwowego do narządów wykonawczych (efektorów), tzn. mięśni lub gruczołów,
- **neurony pośredniczące** (interneurony) – występują pomiędzy neuronami czuciowymi a neuronami ruchowymi.



Astrocyty tkanki nerwowej (obraz spod mikroskopu fluorescencyjnego).

Dowiedz się więcej

Komórki glejowe a termoregulacja

Człowiek należy do ssaków tropikalnych, ponieważ dla zachowania równowagi cieplnej (gdy jest nago i w bezruchu) potrzebuje stosunkowo wysokiej temperatury otoczenia (28–30°C). Jednym z mechanizmów ochrony mózgu człowieka przed przegrzaniem jest duża liczba komórek glejowych w korze mózgowej – neurony stanowią zaledwie 10% jej objętości.



Południowoafrykańscy Buszmeni polują przez zagonienie. Polega ono na ściganiu zwierzęcia, np. antylopy, aż do jego wyczerpania na skutek hipertermii. Skuteczność tej metody polowania świadczy o bardzo dużej odporności ludzkiego mózgu na przegrzanie.

Komórki układu nerwowego

Układ nerwowy człowieka składa się z dwóch rodzajów komórek. Komórki nerwowe – neurony – przekazują informacje w postaci impulsów nerwowych. Z kolei komórki glejowe odpowiadają głównie za ochronę i odżywianie komórek nerwowych.

Budowa neuronu

Ciało komórki to część neuronu zawierająca jądro komórkowe i pozostałe organelle typowe dla komórki zwierzęcej.

Akson to długa i rozgałęziona na końcu wypustka przekazująca impuls z ciała komórki w kierunku innego neuronu, komórki mięśniowej lub gruczołu.

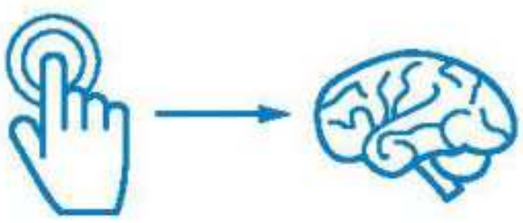
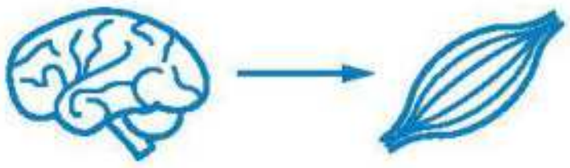
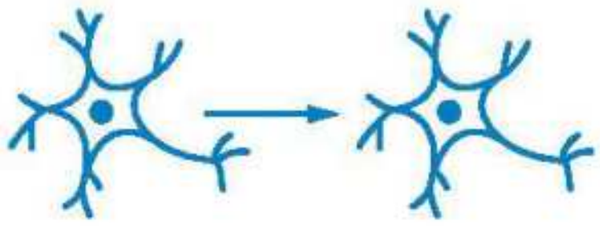
Osłonka mielinowa jest utworzona z komórek glejowych – lemocytów.



Węzeł Ranviera to przerwa między segmentami osłonki mielinowej.

Dendryty to krótkie, rozgałęzione wypustki doprowadzające impuls do ciała komórki.

Rodzaje neuronów

neurony czuciowe	neurony ruchowe	neurony pośredniczące
		
Przewodzą impulsy nerwowe od receptorów (np. receptora dotyku w skórze) do ośrodkowego układu nerwowego.	Przewodzą impulsy nerwowe z ośrodkowego układu nerwowego do odpowiednich narządów, np. mięśni.	Przewodzą impulsy nerwowe pomiędzy neuronami czuciowymi a neuronami ruchowymi.

Pobudliwość komórek nerwowych

Komórki nerwowe w **stanie spoczynku** charakteryzują się **pobudliwością**, czyli zdolnością do reagowania na bodźce docierające ze środowiska zewnętrznego lub środowiska wewnętrznego organizmu. Odbiór bodźca wywołuje w komórce **stan pobudzenia** – dochodzi w niej do powstania i rozprzestrzeniania się impulsu nerwowego. Przewodzenie impulsu nerwowego odbywa się na zasadzie przepływu jonów – głównie kationów sodu (Na^+) i potasu (K^+) – przez błonę komórkową między wnętrzem neuronu a środowiskiem zewnątrzkomórkowym. Przepływ jonów zachodzi biernie przez **kanały jonowe** oraz czynnie przez **pompę sodowo-potasową**. Wyróżnia się kilka rodzajów kanałów sodowych i potasowych. Niektóre z nich są stale otwarte, a niektóre – regulowane napięciem lub cząsteczkami neuroprzekaźników. Błona neuronu w stanie spoczynku jest **spolaryzowana** i wykazuje spoczynkowy potencjał elektryczny. Pod wpływem bodźca ulega ona depolaryzacji, podczas której zachodzi zmiana potencjału elektrycznego ze spoczynkowego na czynnościowy. Następnie wskutek **repolaryzacji** błona neuronu wraca do stanu wyjściowego.

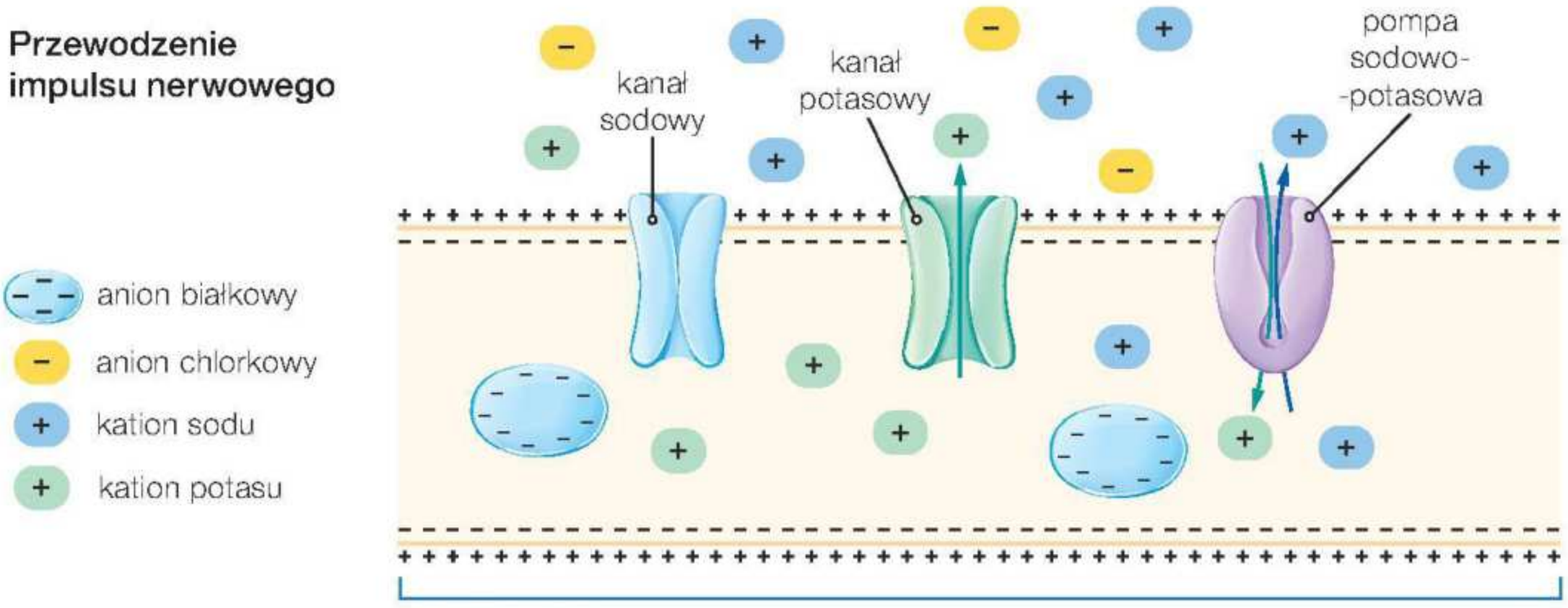
Polaryzacja i potencjał spoczynkowy

Potencjał spoczynkowy to potencjał elektryczny niepobudzonej komórki pobudliwej, wynikający z różnicy ładunków elektrycznych po obu stronach błony komórkowej. Niepobudzona komórka nerwowa wykazuje **ujemny potencjał spoczynkowy**, którego wartość wynosi ok. –70 mV. Przyczyną potencjału spoczynkowego jest przewaga jonów ujemnych (anionów) w cytozolu komórki nerwowej oraz przewaga jonów dodatnich (kationów) w środowisku zewnątrzkomórkowym. Różnica stężeń anionów i kationów po obu stronach błony neuronu jest określana mianem **polaryzacji błony neuronu**.

Przyczyny polaryzacji błony neuronu:

- cytozol neuronów zawiera duże, nieruchliwe aniony białkowe oraz wysokie stężenie kationów potasu. Kationy potasu dyfundują do środowiska zewnątrzkomórkowego zgodnie z gradientem stężeń, ale wskutek przyciągania ze strony białkowych anionów nie oddalają się od zewnętrznej powierzchni błony i tworzą na niej warstwę ładunku dodatniego;
- środowisko zewnątrzkomórkowe zawiera nadmiar kationów sodu oraz anionów chlorkowych (Cl^-). Oba rodzaje jonów dyfundują do wnętrza neuronu zgodnie z gradientem stężeń;
- błona neuronu w stanie spoczynku przepuszcza w obu kierunkach dyfundujące jony. Dyfuzja odbywa się przez kanały jonowe. Najłatwiej przenikają przez błonę kationy potasu,

Przewodzenie impulsu nerwowego



Polaryzacja. Przez otwarte kanały potasowe zachodzi dyfuzja jonów K^+ na zewnątrz neuronu. Dyfuzja jonów Na^+ jest ograniczona, ponieważ kanały sodowe są w większości zamknięte. Wyrównaniu stężeń jonów K^+ i Na^+ po obu stronach błony przeciwdziała pompa sodowo-potasowa.

a najtrudniej – kationy sodu. Z tego powodu po zewnętrznej stronie błony neuronu znajduje się nadmiar ładunków dodatnich, a po wewnętrznej – nadmiar ładunków ujemnych; pomimo ciągłej dyfuzji jonów sodu i potasu przez błonę neuronu nigdy nie dochodzi do wyrównania ich stężeń po obu stronach błony. Przeciwdziała temu pompa sodowo-potasowa, która aktywnie transportuje kationy sodu z komórki i kationy potasu do komórki wbrew gradientowi stężeń. Pompa sodowo-potasowa czerpie energię z hydrolizy ATP, a do jej działania niezbędne są jony magnezu (Mg^{2+}).

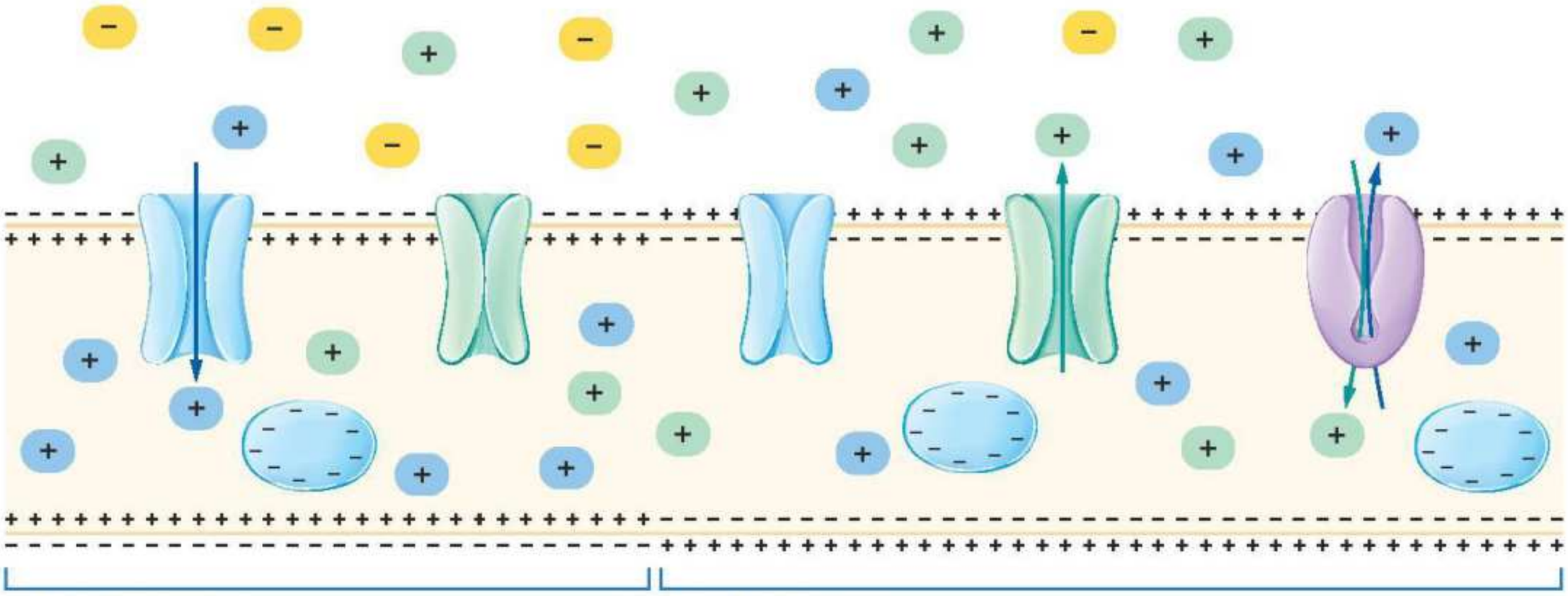
Depolaryzacja i potencjał czynnościowy

Potencjał czynnościowy to lokalna, krótkotrwała zmiana potencjału elektrycznego komórki pobudliwej w czasie jej aktywności. **Potencjał czynnościowy jest równoważny z impulsem nerwowym**.

Potencjał czynnościowy powstaje w błonie aksonu pod wpływem działania **bodźców progowych** (najsłabszych bodźców, które wywołują stan pobudzenia w komórce) i nadprogowych. Jest on spowodowany krótkotrwałą **depolaryzacją** błony neuronu, polegającą na zmianie ładunków po obu jej stronach. Depolaryzacja jest wynikiem znacznego zwiększenia przepuszczalności błony dla kationów sodu, które dyfundują zgodnie z gradientem stężeń. Przepływ jonów sodu do wnętrza neuronu powoduje zmianę ładunku ujemnego na ładunek dodatni. Na zewnątrz neuronu znajduje się natomiast nadmiar jonów chlorkowych obdarzonych ładunkiem ujemnym. Wskutek depolaryzacji błony neuronu ujemny potencjał spoczynkowy błony zmienia się na **dodatni potencjał czynnościowy**, którego wartość wynosi ok. +30 mV. Potencjał czynnościowy rozprzestrzenia się wzdłuż neuronu jako **fala depolaryzacji**, czyli **impuls nerwowy**.

Repolaryzacja

Po ustaniu działania bodźca zaczyna się etap **repolaryzacji**, czyli przywracania potencjału spoczynkowego błony neuronu. Przepuszczalność błony dla jonów sodu zmniejsza się, a dla jonów potasu – znacznie wzrasta. Pociąga to za sobą masowy wypływ jonów potasu na zewnątrz neuronu, co zmienia rozkład ładunków po obu stronach błony na charakterystyczny dla potencjału spoczynkowego. Na tym etapie w cytozolu neuronu panuje wysokie stężenie jonów sodu, a w płynie pozakomórkowym – wysokie stężenie jonów potasu. Pompa sodowo-potasowa przywraca rozmieszczenie jonów typowe dla stanu polaryzacji. Spolaryzowana błona może ponownie ulegać wzbudzeniu i przewodzić kolejne impulsy nerwowe.

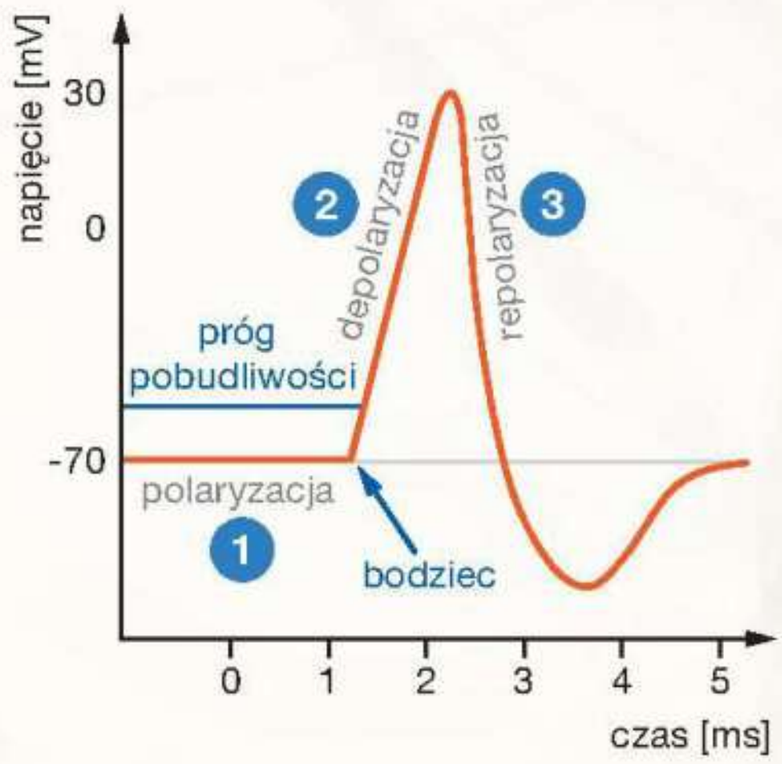


Depolaryzacja. Kanały sodowe otwierają się – zachodzi dyfuzja jonów Na^+ do wnętrza neuronu. Większość kanałów potasowych jest zamknięta, co ogranicza dyfuzję jonów K^+ na zewnątrz neuronu.

Repolaryzacja. Kanały sodowe zamykają się, co ogranicza dyfuzję jonów Na^+ do wnętrza neuronu. Otwierają się natomiast kanały potasowe, przez które jony K^+ opuszczają komórkę. Odpowiednie proporcje jonów K^+ i Na^+ przywraca pompa sodowo-potasowa.

Funkcjonowanie neuronów

Neurony cechują się pobudliwością – pod wpływem bodźca przechodzą ze stanu spoczynku w stan pobudzenia. Oznacza to, że dochodzi w nich do powstawania i przewodzenia impulsu nerwowego. Podstawą pobudliwości neuronu są procesy elektrochemiczne zachodzące w błonie komórkowej, które są związane z transportem jonów.



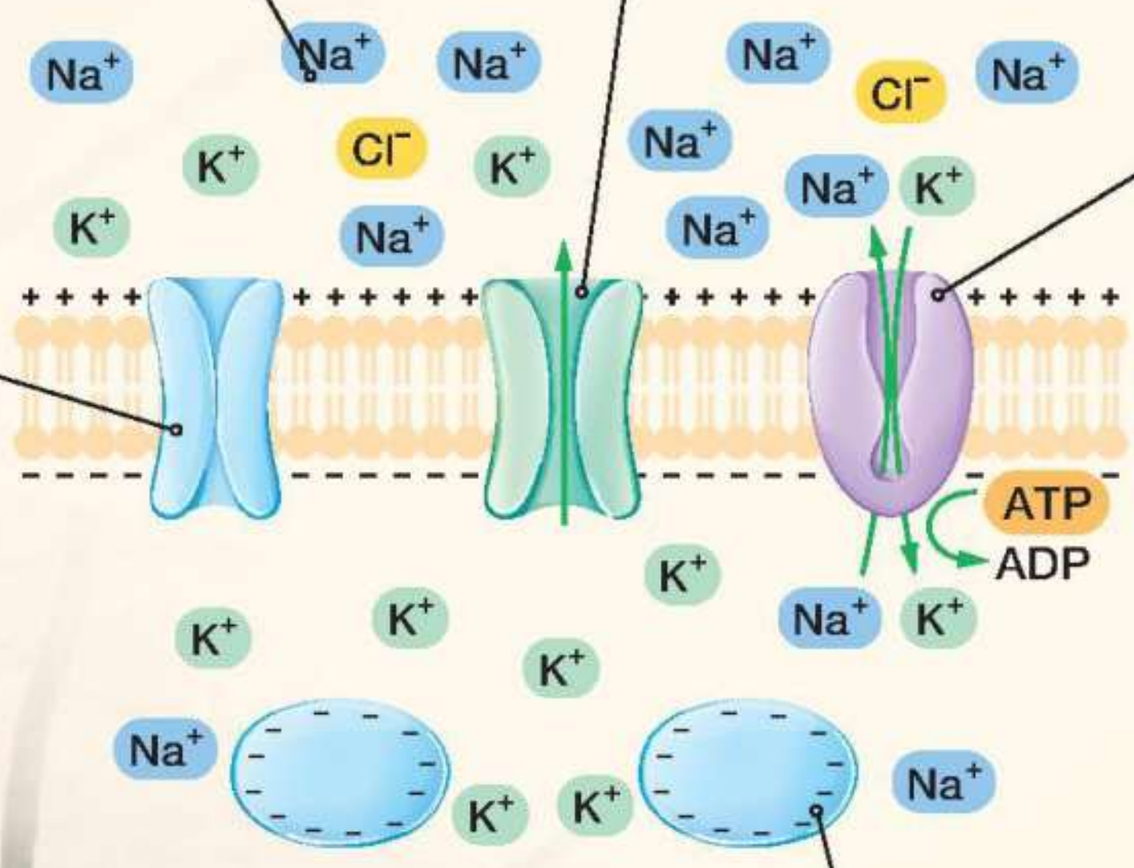
Przebieg potencjału czynnościowego we włóknie nerwowym.

1 Polaryzacja błony neuronu

Przy braku bodźców błona komórkowa neuronu jest spolaryzowana. Oznacza to, że po obu jej stronach występuje odmienny ładunek elektryczny. Wewnętrzna powierzchnia błony jest naładowana ujemnie, a zewnętrzna – dodatnio. Wynika to z nierównomiernego rozmieszczenia jonów po obu stronach błony. Wnętrze neuronu zawiera głównie kationy potasu oraz aniony białkowe, przy czym przeważa ujemny ładunek elektryczny anionów. Natomiast płyn pozakomórkowy zawiera głównie kationy sodu oraz aniony chlorkowe, przy czym przeważa dodatni ładunek elektryczny kationów. W ten sposób w poprzek błony tworzy się potencjał elektryczny, który może zostać wykorzystany do wzbudzenia impulsu elektrycznego.

Na zewnątrz neuronu przeważa dodatni ładunek elektryczny, który wynika z dużego stężenia kationów, głównie sodu.

Niektóre kanały potasowe są otwarte, dlatego kationy potasu (K^+) najłatwiej przenikają przez błonę.



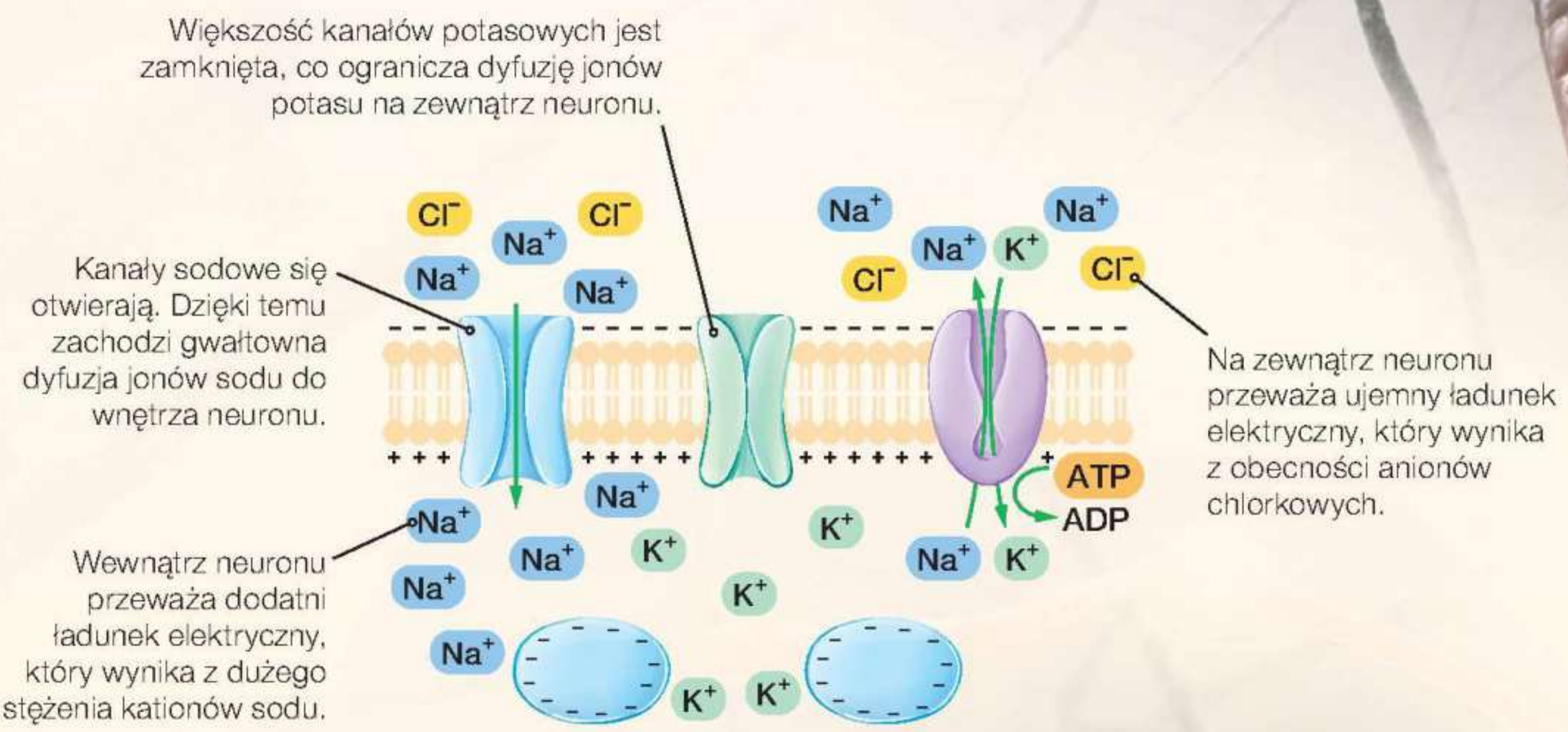
Większość kanałów sodowych jest zamknięta, dlatego kationy sodu (Na^+) najtrudniej przenikają przez błonę.

Wyrównaniu stężeń kationów sodu i potasu po obu stronach błony zapobiega pompa sodowo-potasowa.

Wewnątrz neuronu przeważa ujemny ładunek elektryczny, który wynika z obecności dużych, nieruchliwych anionów białkowych.

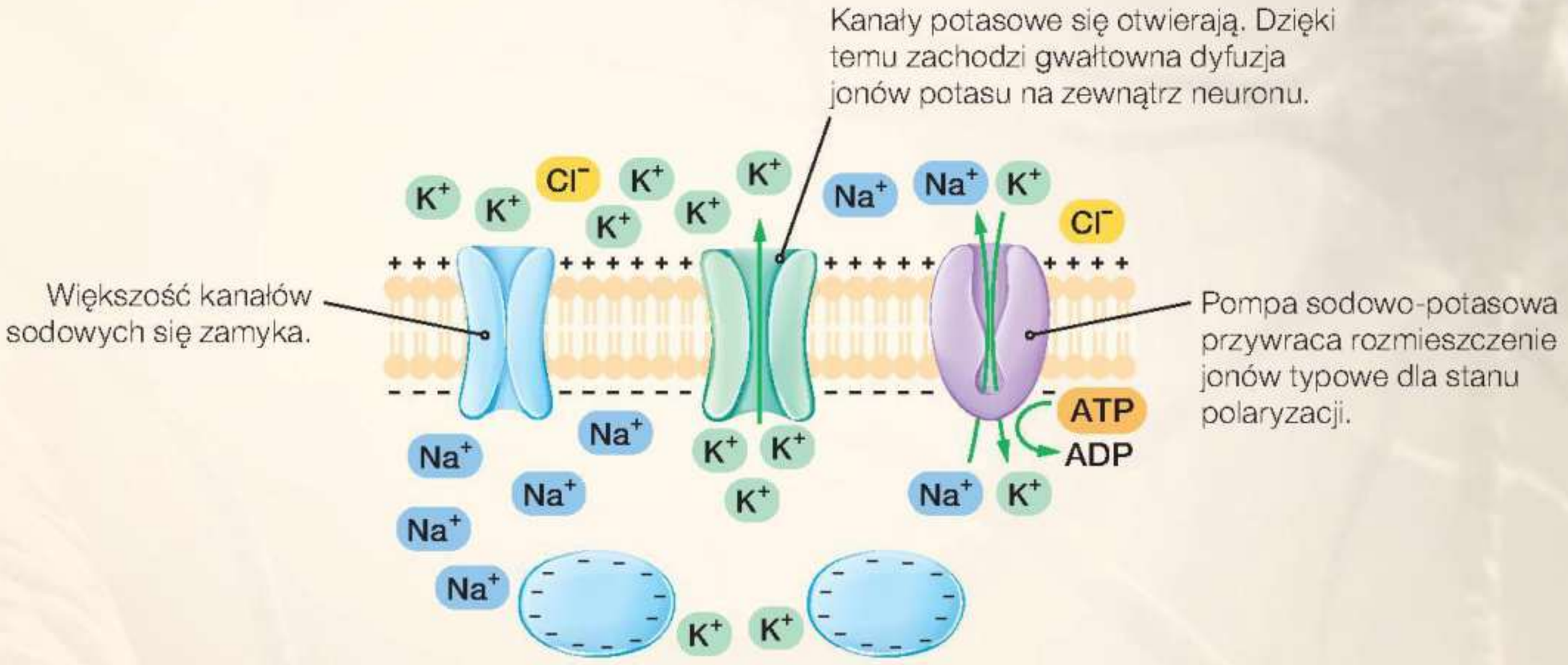
2 Depolaryzacja błony neuronu i wytworzenie impulsu nerwowego

W wyniku działania bodźca o odpowiedniej sile błona neuronu ulega depolaryzacji. Polega ona na chwilowym odwróceniu ładunku elektrycznego po obu stronach błony. Zewnętrzna strona błony jest wówczas naładowana ujemnie, a wewnętrzna – dodatnio. Depolaryzacja jest wynikiem znacznego zwiększenia przepuszczalności błony dla kationów sodu, które dyfundują do wnętrza neuronu zgodnie z gradientem stężeń. Wynikiem depolaryzacji jest wytworzenie potencjału czynnościowego, który jest równoważny z impulsem nerwowym.



3 Repolaryzacja błony neuronu

Po ustaniu działania bodźca zaczyna się etap repolaryzacji, czyli przywracania potencjału spoczynkowego błony neuronu. Repolaryzacja błony jest możliwa dzięki otwieraniu się kanałów potasowych oraz pracy pompy sodowo-potasowej.

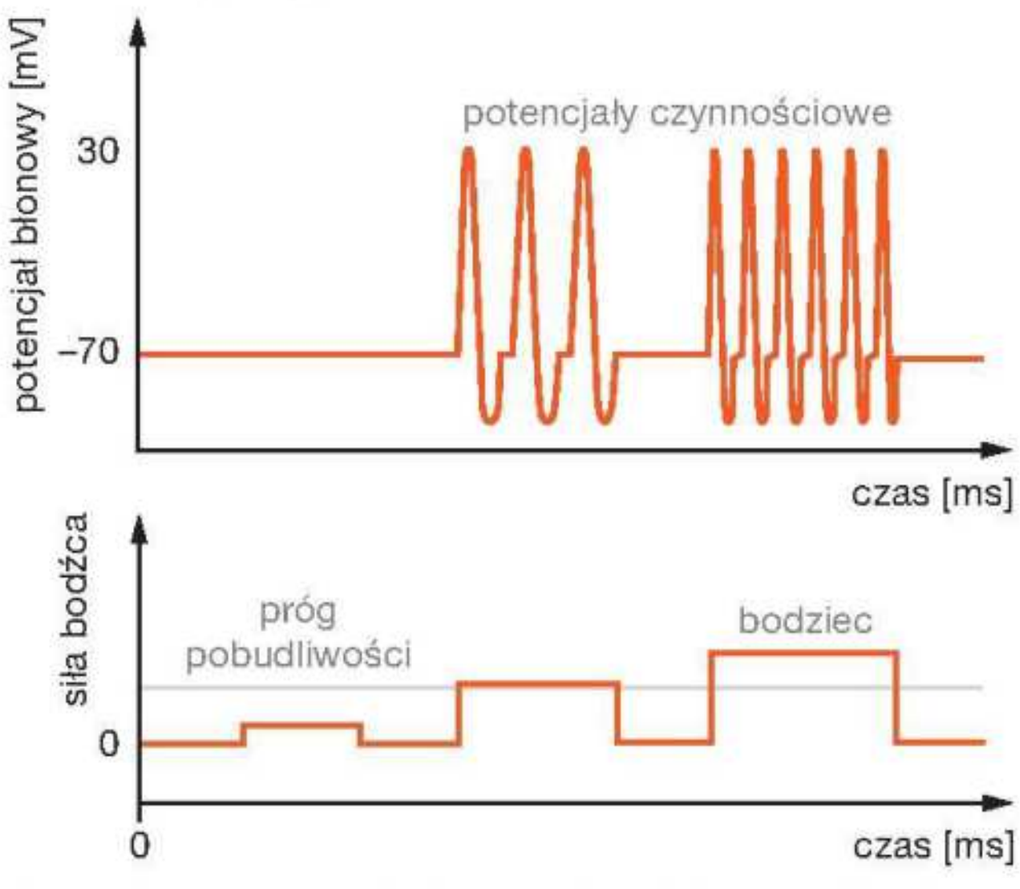


Cechy potencjału czynnościowego

Potencjał czynnościowy w błonie neuronu powstaje zgodnie z zasadą **wszystko albo nic**. Oznacza to, że każdy bodziec progowy lub nadprogowy generuje potencjał czynnościowy o **stałej amplitudzie** (wielkości). Potencjał ten ma zdolność rozprzestrzeniania się wzdłuż błony neuronu. Kodem, w którym zawarte są informacje dopływające ze środowiska, jest **częstotliwość potencjałów czynnościowych**. Bodźce słabe generują impulsy o małej częstotliwości, natomiast bodźce silne – impulsy o dużej częstotliwości. Pozwala to m.in. na ocenę natężenia światła, dźwięku lub zapachu.

Okres refrakcji neuronu

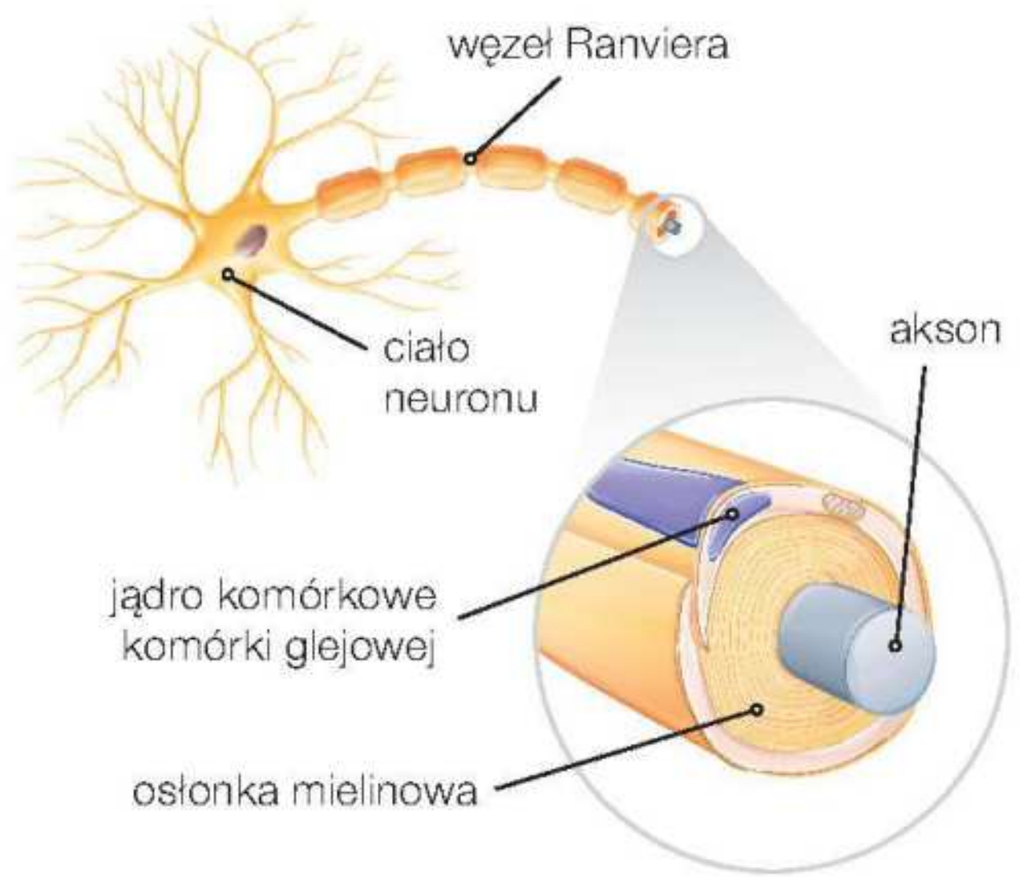
Czas potrzebny na ponowne spolaryzowanie komórki nerwowej określa się mianem refrakcji (niepobudliwości). Jest to okres **niewrażliwości komórki na bodziec**, bez względu na jego siłę (refrakcja bezwzględna), lub okres niewrażliwości komórki na bodziec progowy (refrakcja względna). Stan refrakcji względnej może zostać przerwany przez bardzo silny bodziec, tzw. bodziec nadprogowy. Występowanie okresu niepobudliwości włókien nerwowych stanowi czynnościowe zabezpieczenie neuronu warunkujące dopuszczalną, bezpieczną częstość pojawiania się impulsów.



Potencjały czynnościowe mają stałą amplitudę i zmienną częstotliwość.

Włókna mielinowe i bezmielinowe

Aksony niektórych komórek nerwowych są osłonięte wyłącznie błoną komórkową. Nazywa się je włóknami bezmielinowymi lub bezrdzennymi. Istnieją również komórki nerwowe, których aksony są otoczone komórkami glejowymi – lemocytami. Owijają się one wielokrotnie dookoła aksonu i tworzą **osłonkę mielinową**. Takie aksony noszą nazwę włókien mielinowych lub rdzennych. Osłonka mielinowa pełni funkcję ochronną oraz zwiększa prędkość przepływu impulsów nerwowych.





We włóknach bezmielinowych impuls nerwowy przemieszcza się wzdłuż całego włókna. Przewodzenie takie jest powolne (np. 1 m/s w niektórych neuronach skóry) oraz kosztowne energetycznie (intensywna praca pompy sodowo-potasowej).

We włóknach mielinowych impuls nerwowy przemieszcza się skokowo między węzłami Ranviera. Przewodzenie takie jest szybkie (np. 100 m/s w neuronach mięśni szkieletowych), a nakład energetyczny znacznie mniejszy niż w przypadku włókien bezmielinowych.

Synapsy

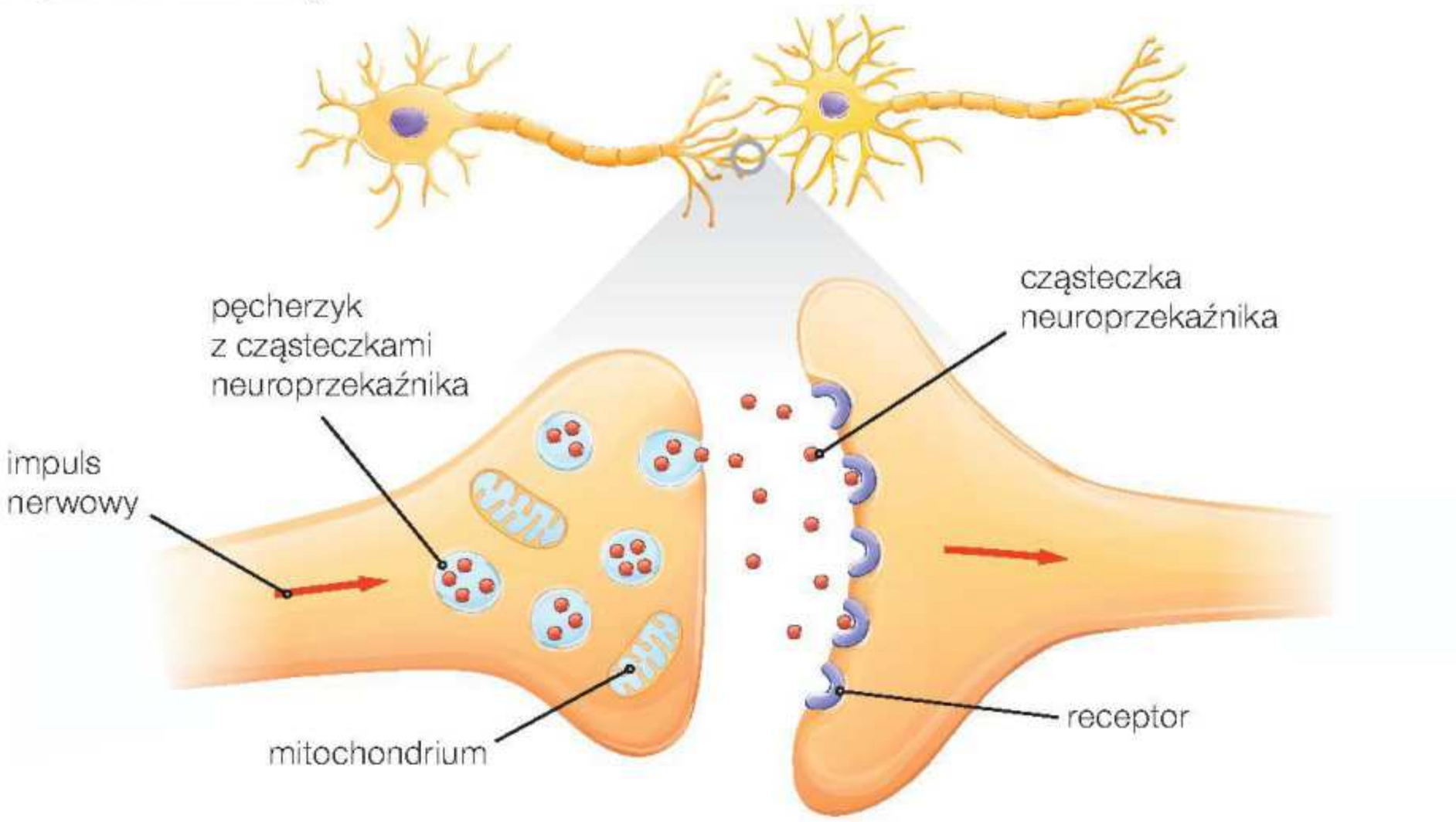
Komórki nerwowe tworzą bardzo złożone sieci, w których poszczególne neurony komunikują się, chociaż nie są ze sobą bezpośrednio połączone. Neurony przekazują sobie impulsy nerwowe za pomocą synaps, czyli wyspecjalizowanych połączeń, które zwykle występują między zakończeniem aksonu jednego neuronu a dendrytem kolejnego. Mogą też występować między zakończeniem aksonu neuronu a inną komórką, np. komórką mięśniową czy komórką gruczołową. W organizmie człowieka wyróżnia się dwa rodzaje synaps: synapsy chemiczne i synapsy elektryczne.

Synapsa chemiczna składa się z błony presynaptycznej, szczeliny synaptycznej i błony postsynaptycznej. **Część presynaptyczna** należy do komórki nerwowej, która przesyła pobudzenie. Z kolei **część postsynaptyczna** należy do komórki, która przyjmuje impuls i przekazuje go dalej. Pod wpływem pobudzenia z części presynaptycznej zostaje uwolniony związek chemiczny, zwany **neuroprzekaźnikiem** (neurotransmiterem lub mediatorem). Dostaje się on do **szczeliny synaptycznej**, po czym wiąże się z receptorami błony postsynaptycznej. Dzięki temu kolejna komórka ulega pobudzeniu. W synapsach chemicznych zachodzi więc chwilowe przekształcenie sygnału. Impuls elektryczny zamienia się w impuls chemiczny, który wyzwala ponownie impuls elektryczny.

Wydzielanie i wiązanie neuroprzekaźników jest przyczyną opóźnienia w przepływie sygnału, które nazywa się **opóźnieniem synaptycznym**. Jednak dzięki występowaniu wielu różnych neuroprzekaźników i receptorów sygnał może być modyfikowany, np. wzmacniany lub wyciszany.

W **synapsach elektrycznych** komórka nerwowa styka się zakończeniem aksonu z drugą komórką tak ściśle, że powstaje między nimi ciągłość elektryczna. Dzięki temu impuls nerwowy jest przekazywany z jednej komórki do drugiej w sposób bezpośredni. Synapsy elektryczne charakteryzuje bardzo szybkie tempo przekazywania sygnału.

Mechanizm przekazywania informacji między neuronami w synapsie chemicznej



1. Impuls nerwowy dociera do zakończenia aksonu, z którego wydzielane są cząsteczki neuroprzekaźnika.
2. Cząsteczki neuroprzekaźnika łączą się z odpowiednimi receptorami w błonie dendrytu.
3. Połączenie się cząsteczek neuroprzekaźnika z receptorami generuje impuls nerwowy w następnym neuronie.

Przykłady neuroprzekaźników

Neuroprzekaźniki to związki chemiczne, które przekazują informacje w synapsach chemicznych. Wyróżnia się **neuroprzekaźniki pobudzające** i **neuroprzekaźniki hamujące**. Pierwsze z nich wywołują impuls elektryczny w następnym neuronie, dzięki czemu sygnał jest przekazywany dalej. Należą do nich m.in. serotonina, dopamina oraz adrenalina. Neuroprzekaźniki hamujące powodują wyciszenie sygnału. Ich przykładem jest GABA (kwas γ-aminomasłowy).

GABA



GABA (kwas γ-aminomasłowy) wraz z serotoniną zapewnia odpowiednią jakość i długość snu. Odgrywa też istotną rolę w procesach poznawczych, ponieważ umożliwia skupienie uwagi.

Dopamina



Dopamina odpowiada m.in. za emocje i odczuwanie przyjemności. Ma też duże znaczenie dla wykonywania ruchów. Jej niedobór prowadzi do wystąpienia choroby Parkinsona.

Adrenalina



Adrenalina należy do neuroprzekaźników odgrywających decydującą rolę w reakcji na stres. Mobilizuje organizm do działania m.in. przez przyspieszenie pracy serca, podniesienie ciśnienia krwi i rozszerzenie oskrzeli.

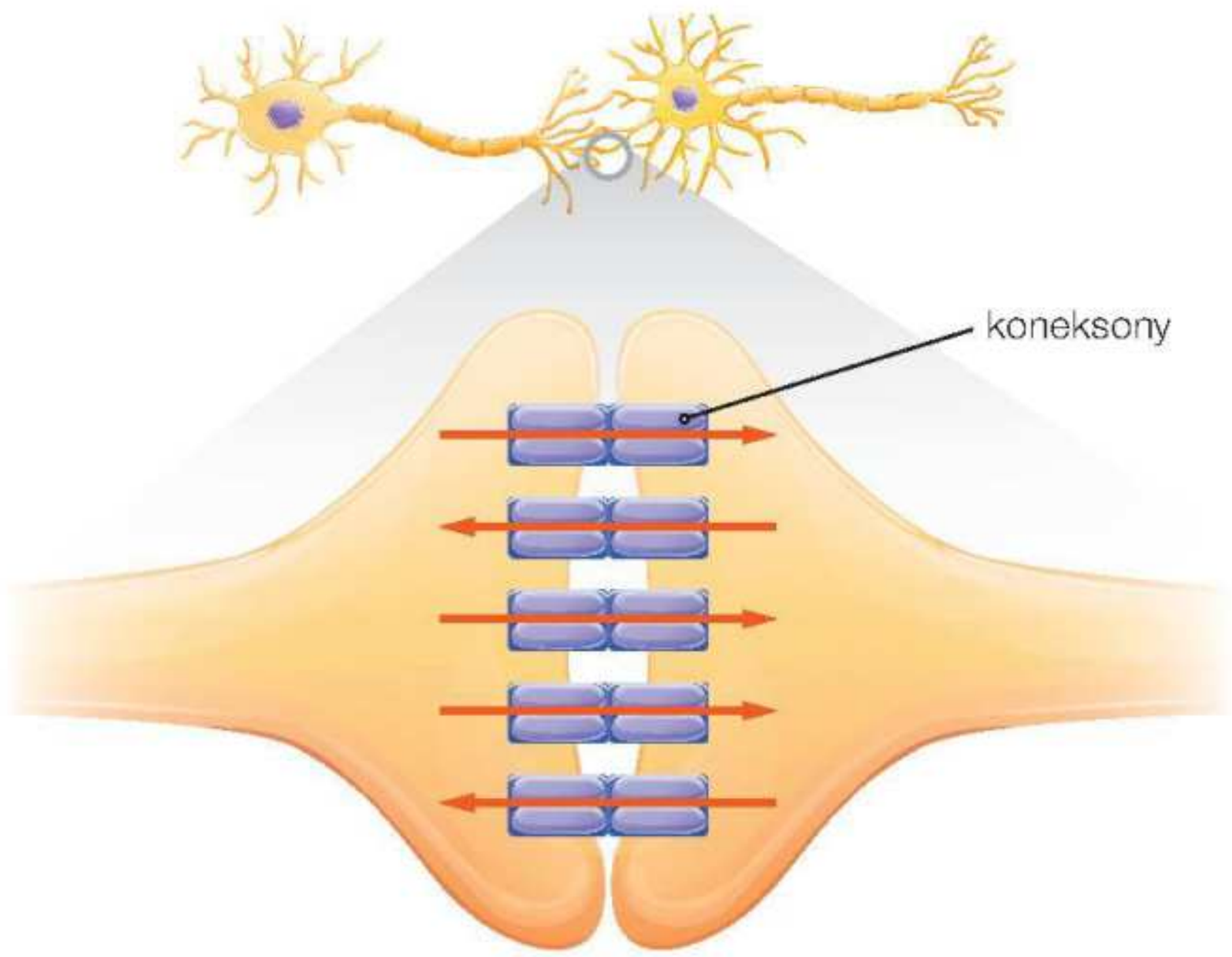
Serotonina

Serotonina jest często nazywana hormonem szczęścia. Odpowiada za regulację snu, apetytu, temperatury ciała i ciśnienia krwi. Jej niski poziom może powodować agresję, zmęczenie i spadki nastroju.



Synapsy elektryczne

W synapsach elektrycznych akson jednej komórki styka się ściśle z dendrytem drugiej komórki. Przepływ jonów pomiędzy dwoma neuronami zachodzi przez kanały koneksonów (połączenia szczelinowe). Synapsy elektryczne mogą działać dwukierunkowo. Znajdują się m.in. w mięśniach gładkich – umożliwiają szybkie przewodzenie impulsów nerwowych.



1. Impuls nerwowy dociera do zakończenia neuronu, co powoduje otwieranie się kanałów koneksonów.
2. Jony sodu przepływają przez kanały koneksonów i generują impuls nerwowy w następnym neuronie.

Synapsy pobudzające i hamujące

Ze względu na sposób działania wyróżnia się synapsy chemiczne pobudzające i synapsy chemiczne hamujące. Synapsy pobudzające stymulują aktywność unerwianych przez nie tkanek i narządów, a synapsy hamujące znoszą tę aktywność. Na pojedynczym neuronie znajdują się jednocześnie synapsy w stanie spoczynku oraz działające synapsy pobudzające i hamujące. Neuron sumuje potencjały pobudzające, odejmuje od nich potencjały hamujące, a w sytuacji, gdy ostateczny wynik ma wartość potencjału progowego lub nadprogowego, wytwarza potencjał czynnościowy.

Polecenia kontrolne

1. Wykaż związek między budową a funkcją komórki nerwowej.
2. Wyjaśnij, na czym polega proces powstawania i przewodzenia impulsu nerwowego.
3. Określ, w jaki sposób jest kodowana informacja przesyłana za pomocą komórek nerwowych.
4. Wyjaśnij rolę synaps w przepływie impulsu nerwowego.
5. Określ, na czym polega różnica między synapsą chemiczną a synapsą elektryczną.
6. Porównaj włókna bezmielinowe z włóknami mielinowymi pod względem budowy i funkcji.

8.3. Ośrodkowy układ nerwowy

Zwróć uwagę na:
- budowę ośrodkowego układu nerwowego,
- budowę i funkcje mózgowia,
- budowę i funkcje rdzenia kręgowego.

Ośrodkowy układ nerwowy nadzoruje wszelkie czynności życiowe. Analizuje informacje docierające ze środowiska zewnętrznego i środowiska wewnętrznego organizmu, a następnie podejmuje decyzje dotyczące reakcji na bodźce. W jego skład wchodzą mózgowie oraz rdzeń kręgowy. Pod względem tkankowym ośrodkowy układ nerwowy jest zbudowany z:

- **istoty szarej**, którą tworzą ciała komórek nerwowych oraz komórki glejowe,
- **istoty białej**, którą tworzą wypustki komórek nerwowych oraz komórki glejowe.

Mózgowie

Mózgowie jest najważniejszą częścią układu nerwowego, ponieważ gromadzi i przetwarza informacje napływające ze środowiska zewnętrznego oraz z wnętrza ciała. U człowieka mózgowie waży średnio 1,4 kg, jednak mimo niewielkiej masy zużywa aż 20% tlenu pobieranego przez organizm w spoczynku – jest więc wyjątkowo wrażliwe na niedotlenienie.

Biorąc pod uwagę rozwój zarodkowy, mózgowie dzieli się na: kresomózgowie, międzymózgowie, śródmózgowie, tyłomózgowie wtórne (móżdżek i most) oraz rdzeń przedłużony. W podziale stosowanym w medycynie kresomózgowie i międzymózgowie określa się mianem mózgu, a śródmózgowie, most i rdzeń przedłużony – mianem pnia mózgu. Osobną częścią wyróżnianą w tym podziale jest móżdżek.

Kresomózgowie jest największą częścią mózgowia. Ma postać **dwóch półkul**, połączonych ze sobą ciałem modzelowatym. W skład półkul wchodzą: istota szara, tworząca **korę mózgu** i **jądra podkorowe**, oraz położona pod nią istota biała, tworząca **drogi nerwowe**. Kora mózgu jest zbudowana z gęsto upakowanych ciał komórek nerwowych, na których znajduje się olbrzymia liczba synaps. U człowieka ok. 95% objętości kory mózgu stanowi filogenetycznie młoda **kora nowa**. Tworzy ona liczne fałdy porozdzielane bruzdami, co wydatnie zwiększa jej powierzchnię. Najgłębsze bruzdy dzielą powierzchnię półkul na płaty. W obrębie każdej półkuli wyróżnia się cztery płaty: czołowy, ciemieniowy, skroniowy i potyliczny.

Międzymózgowie jest całkowicie ukryte pod półkulami kresomózgowia. Ważną jego częścią jest podwzgórze, w którym znajdują się ośrodki czynności wegetatywnych, czyli niezależnych od woli, np. ośrodki termoregulacji, pragnienia, głodu i sytości. Neurony podwzgórza pełnią także funkcję wydzielniczą, nadrzędną w stosunku do układu hormonalnego.

Śródmózgowie zawiera m.in. ośrodki reakcji wzrokowych i słuchowych, takich jak zmiana średnicy źrenic, ruchy powiek czy odwracanie głowy w kierunku źródła dźwięku. Śródmózgowie jest też miejscem koordynacji ruchów mimowolnych oraz ruchów szybkich.

Most to fragment pnia mózgu położony między śródmózgowiem a rdzeniem przedłużonym. Pośredniczy w przepływie sygnałów między mózgiem, móżdżkiem i rdzeniem przedłużonym.

Mózgowie		
mózg	pień mózgu	móżdżek
• kresomózgowie • międzymózgowie	• śródmózgowie • most (tyłomózgowie wtórne) • rdzeń przedłużony	• móżdżek (tyłomózgowie wtórne)

Rdzeń przedłużony jest częścią mózgowia, która łączy się z rdzeniem kręgowym. Występują w nim skupienia istoty szarej. Stanowią one ośrodki nerwowe wielu ważnych czynności odruchowych, takich jak: ssanie, połykanie, żucie oraz odruchy obronne (np. kaszel, kichanie, mruganie powiekami, wymioty). W obrębie rdzenia przedłużonego znajdują się również:

- ośrodek oddechowy – regulujący czynność oddechową; jest on pobudzany przez wzrost stężenia dwutlenku węgla we krwi,
- ośrodek naczynioruchowy – regulujący ciśnienie i tempo przepływu krwi przez wpływ na zmianę średnicy naczyń krwionośnych,
- ośrodek regulacji czynności serca – zwiększający częstość skurczów serca.

Uszkodzenie rdzenia przedłużonego powoduje ciężkie zaburzenia czynnościowe całego organizmu, prowadzące niekiedy do śmierci.

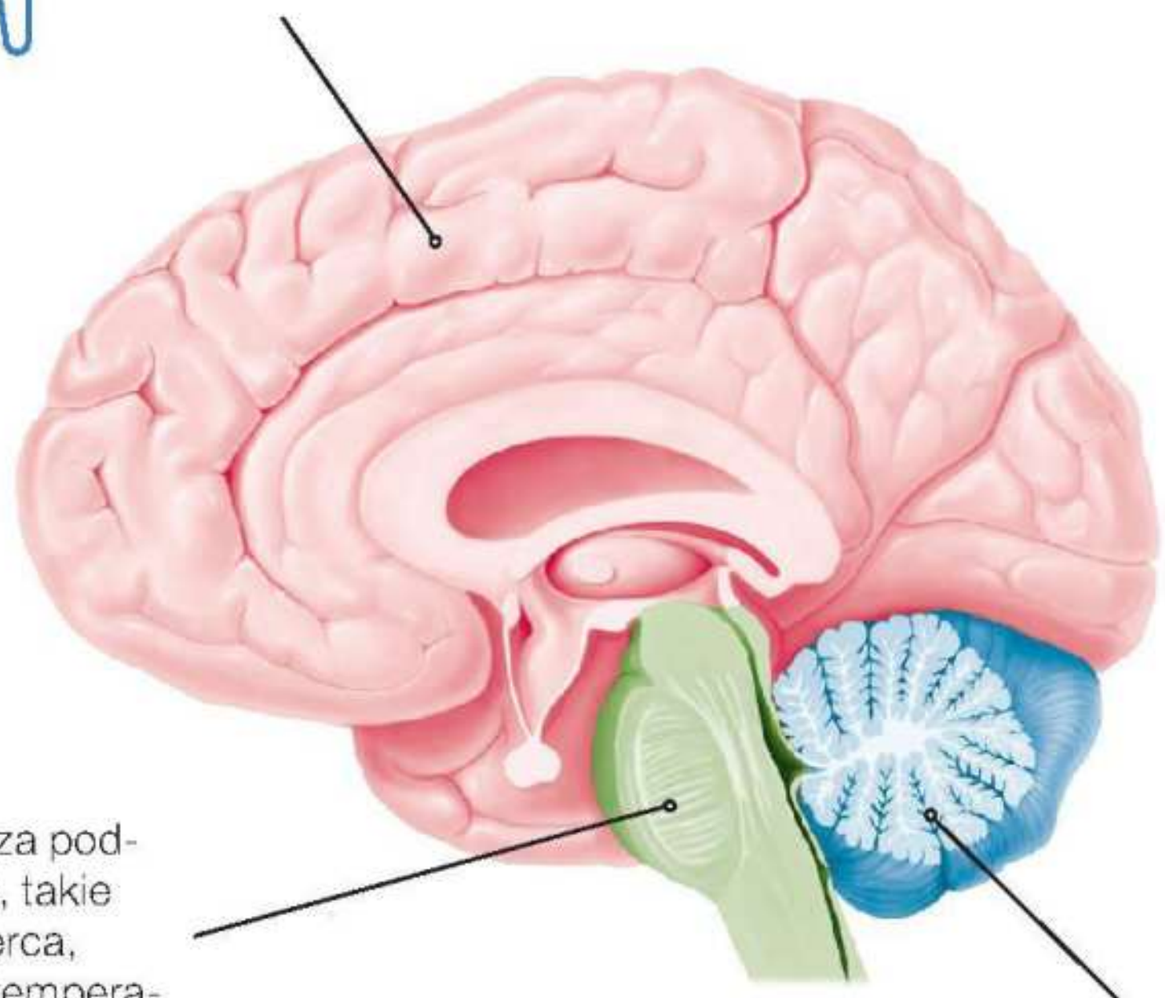
Móżdżek składa się z dwóch półkul, połączonych częścią zwaną robakiem. Jest pokryty cienką warstwą istoty szarej, tworzącą tzw. **korę móżdżku**. Pod korą znajduje się istota biała. W obrębie móżdżku są umiejscowione ośrodki nerwowe odpowiedzialne za utrzymanie odpowiedniego stanu napięcia mięśni oraz koordynację ruchów. Do objawów uszkodzenia móżdżku należą m.in.:

- utrata napięcia mięśniowego,
- zaburzenia koordynacji ruchów – ruchy człowieka stają się niezręczne, mają zbyt duży lub zbyt mały zasięg (np. pojawiają się trudności z dotknięciem czubka nosa palcem),
- niemożność wykonania w szybkim tempie ruchów naprzemiennych, np. odwracania i nawracania ręki,
- oczopląs – nieskoordynowane ruchy poziome oczu, będące przejawem upośledzenia pracy mięśni poruszających gałkami ocznymi.

Funkcje poszczególnych części mózgowia



Mózg jest odpowiedzialny za integrację i przetwarzanie informacji oraz zarządzanie pracą poszczególnych części ciała. Odpowiada również za wyższe czynności układu nerwowego, takie jak zapamiętywanie, analizowanie informacji czy uczenie się.





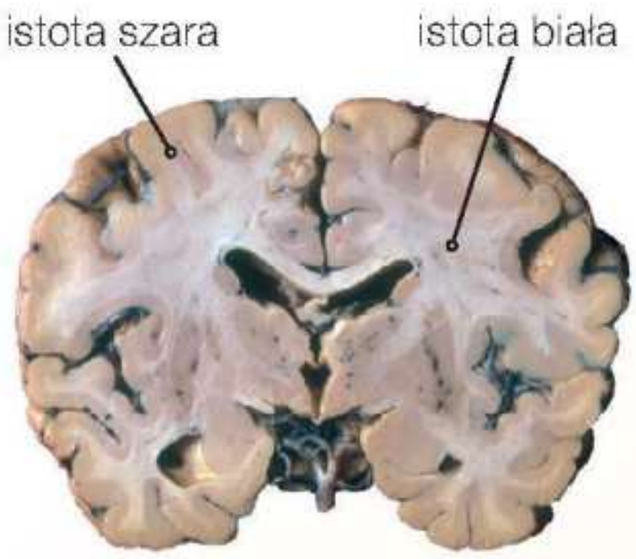
Pień mózgu odpowiada za podstawowe funkcje życiowe, takie jak: oddychanie, praca serca, regulacja ciśnienia krwi i temperatury ciała. W tej części mózgowia znajdują się ośrodki odpowiedzialne za czynności odruchowe, m.in.: kichanie, kaszel, połykanie, wymioty i pocenie się.



Móżdżek uczestniczy w koordynacji ruchowej organizmu.

ABC mózgu

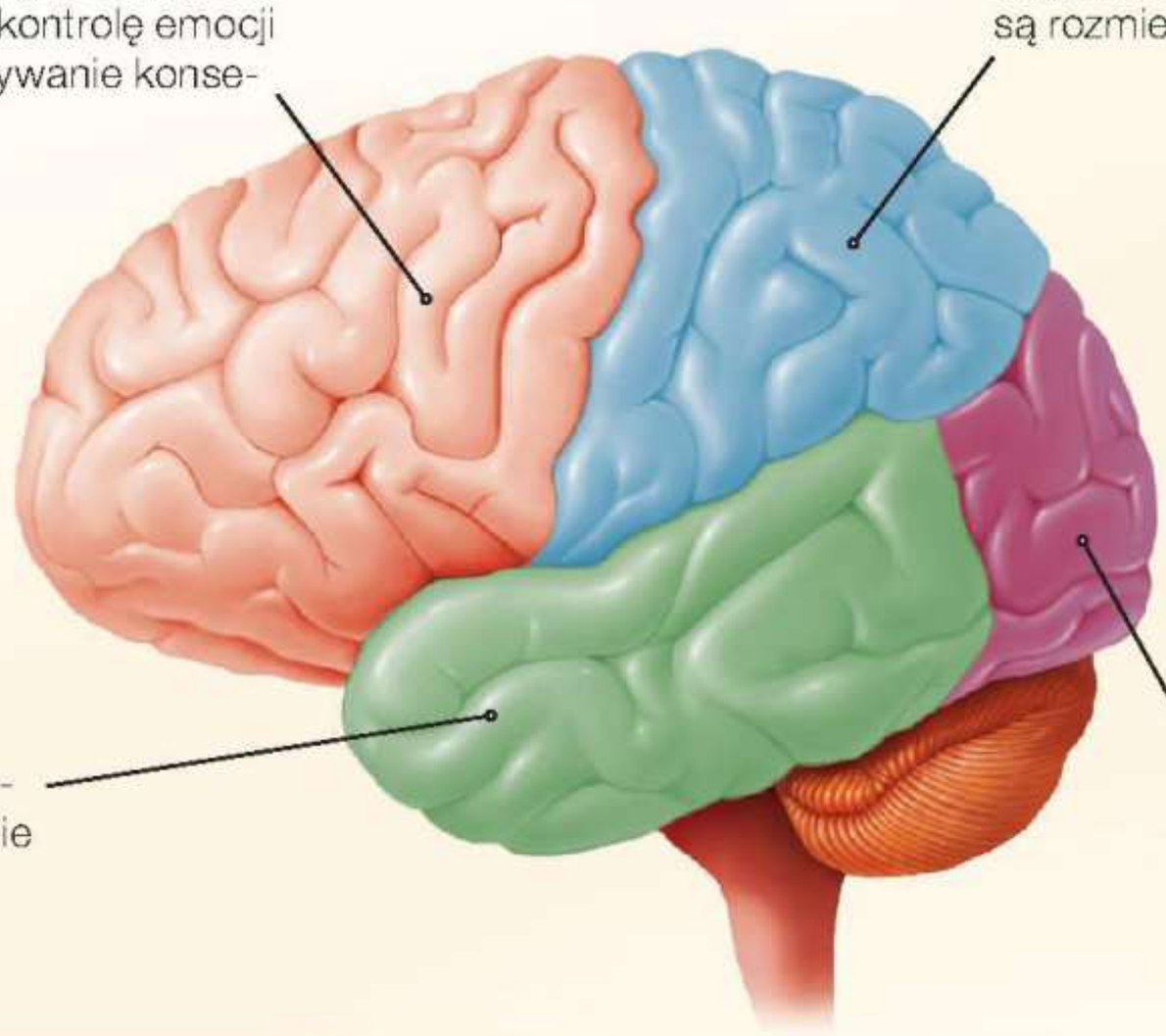
Główną część mózgu stanowi kresomózgowie. Jest ono złożone z dwóch półkul połączonych ze sobą ciałem modzelowatym. Półkule są zbudowane z istoty szarej, tworzącej korę mózgu (korę nową), oraz istoty białej, która znajduje się pod korą. Kora mózgu jest silnie pofałdowana i tworzy liczne bruzdy. Największe bruzdy dzielą ją na płaty. Każda półkula ma cztery płaty: czołowy, skroniowy, ciemieniowy i potyliczny. W płatach są zlokalizowane ośrodki, które pełnią wyspecjalizowane funkcje.



Istota szara jest zbudowana z ciał komórek nerwowych, a istota biała – z włókien nerwowych.

W płacie czołowym znajdują się ośrodki kontrolujące pracę mięśni szkieletowych oraz ośrodki ruchowe mowy. Odpowiada on także m.in. za analizę i kontrolę emocji oraz planowanie i przewidywanie konsekwencji działania.

Płat ciemieniowy zbiera informacje z receptorów dotyku, ucisku, rozciągania, temperatury i bólu, które są rozmieszczone w całym ciele.

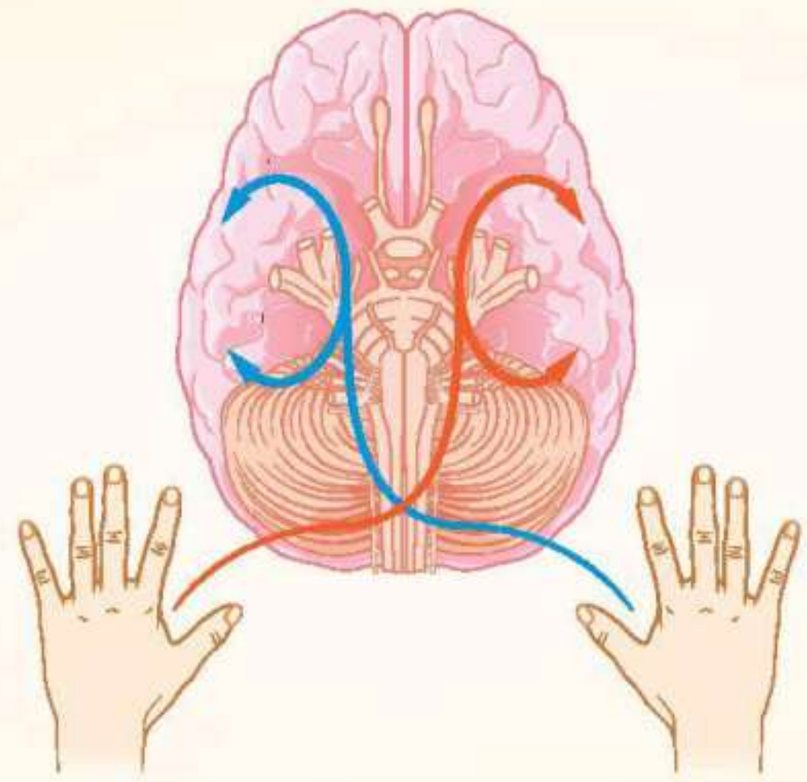


Płat skroniowy jest odpowiedzialny za przetwarzanie wrażeń słuchowych.

W płacie potylicznym znajdują się ośrodki wzroku.

Prawa ręka w lewej półkuli

Szlaki nerwowe dla niektórych wrażeń zmysłowych lub czynności są ze sobą skrzyżowane. Oznacza to, że każda z półkul kontroluje czynności przeciwległej strony ciała. Na przykład dźwięki docierające do prawego ucha są analizowane przez lewą półkulę mózgu. Należy jednak pamiętać, że podczas wykonywania większości zadań mózg działa jako całość – obie jego półkule stale się komunikują i współpracują ze sobą.

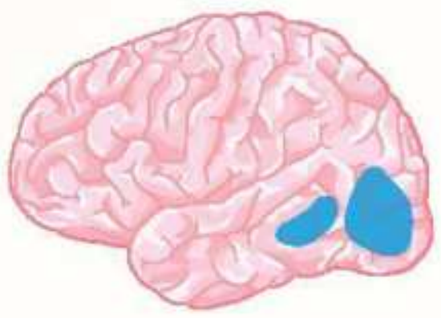


Szlaki nerwowe dla bodźców dotykowych dłoni oraz czynności motorycznych są skrzyżowane: prawą rękę kontroluje lewa półkula mózgu, a lewą rękę – prawa półkula.

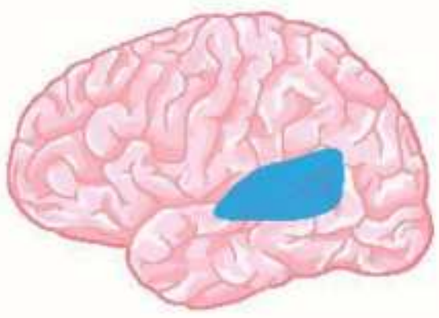
Ośrodki korowe

Funkcjonalnie korę mózgu dzieli się na korę: ruchową, czuciową, wzrokową, słuchową i kojarzeniową. W każdej z nich znajdują się odpowiednie ośrodki nerwowe. Kora ruchowa (płat czołowy) zawiera ośrodki kontrolujące pracę mięśni szkieletowych. Kora czuciowa (płat ciemieniowy) odbiera wrażenia dotyku, ciepła oraz chłodu. Kora wzrokowa (płat potyliczny) rejestruje wrażenia wzrokowe, a kora słuchowa (płat skroniowy) – wrażenia słuchowe. Kora kojarzeniowa obejmuje wszystkie płaty. Odpowiada za procesy zapamiętywania, uczenia się, kojarzenia i myślenia.

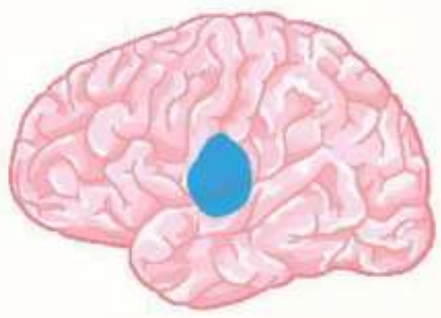
Ośrodki mowy w korze mózgu



Ośrodek wzrokowy mowy (kora wzrokowa) umożliwia czytanie wyrazów.



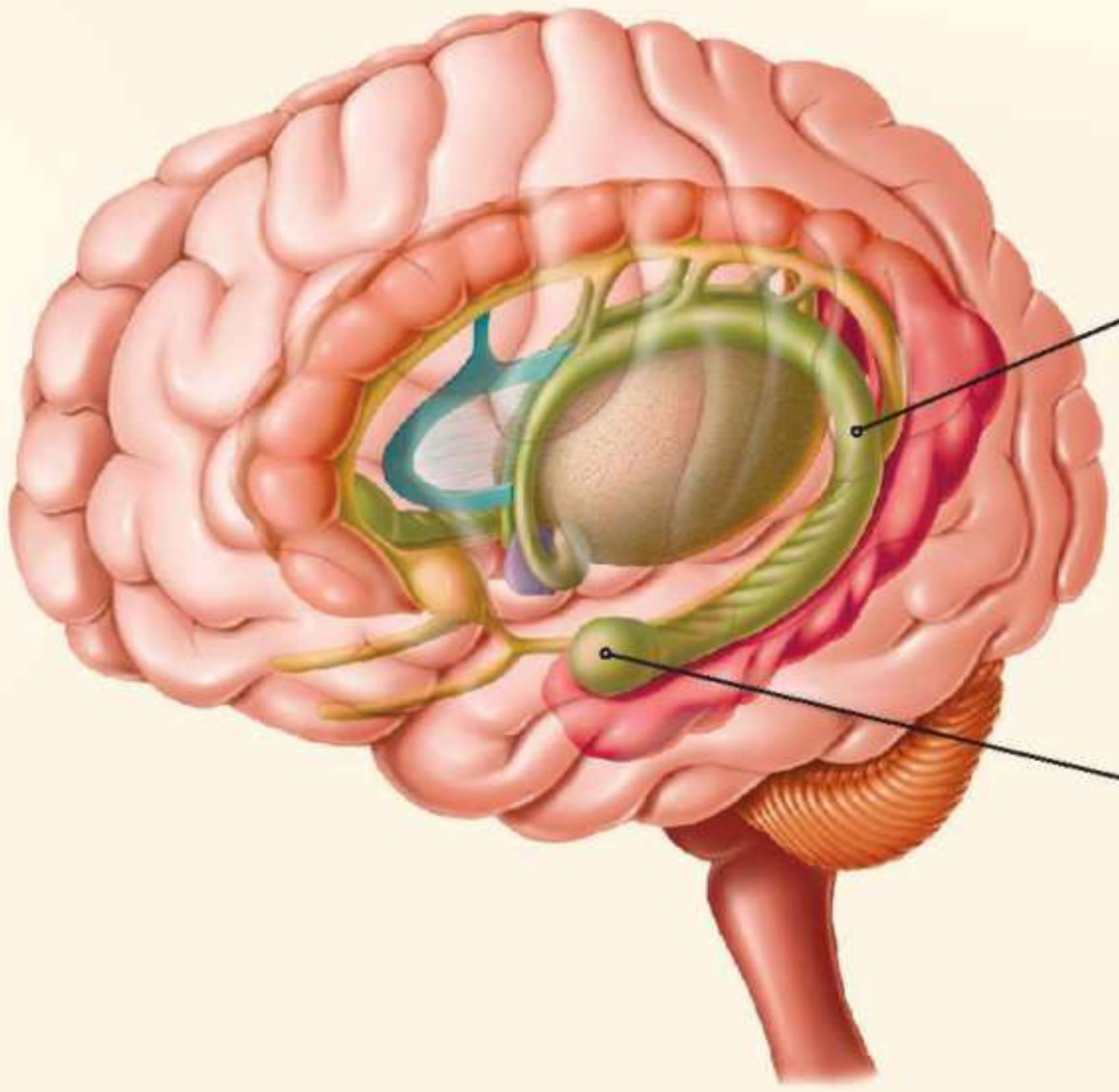
Ośrodek słuchowy mowy (kora słuchowa) umożliwia rozpoznawanie słyszanych słów.



Ośrodek ruchowy mowy (kora ruchowa) umożliwia wypowiadanie słów.

Układ limbiczny

Układ limbiczny obejmuje starsze ewolucyjnie obszary kory mózgu (kora stara) oraz jądra podkorowe, czyli podkorowe skupienia istoty szarej. Układ ten odpowiada m.in. za tworzenie pamięci, uczenie się, a także za emocje. Emocje to uczucia oraz nastroje, które mogą być negatywne (np. lęk, smutek, gniew) lub pozytywne (np. błogość, radość, szczęście). W skład układu limbicznego wchodzą przede wszystkim hipokamp oraz ciało migdałowate.



Hipokamp odpowiada za tworzenie pamięci długotrwałej – dzięki temu bierze udział w procesie uczenia się. Wywiera również wpływ na popęd płciowy i zachowania seksualne. Tylna część hipokampu jest związana z orientacją przestrzenną.

Ciało migdałowate uczestniczy w powstawaniu pamięci, odpowiada za emocje, motywacje oraz zachowania (m.in. seksualne).

Budowa i rola rdzenia kręgowego

Rdzeń kręgowy przebiega w **kanale kręgowym** utworzonym przez otwory w kręgach kręgosłupa. Ma kształt nieco spłaszczonego walca, którego podłużne wygięcia odpowiadają krzywiznom kręgosłupa. Ciągnie się od rdzenia przedłużonego do poziomu drugiego kręgu lędźwiowego. Na wysokości pierwszych kręgów lędźwiowych rdzeń zwęża się, przechodząc w tzw. nić końcową. W rdzeniu kręgowym wyróżnia się pięć odcinków: **szyjny, piersiowy, lędźwiowy, krzyżowy** i **guziczny** (ogonowy).

Rdzeń kręgowy jest zbudowany z centralnie położonej istoty szarej, którą od zewnątrz otacza istota biała. Na przekroju poprzecznym istota szara przypomina kształtem motyla lub literę H, przy czym kształt ten zmienia się na poszczególnych poziomach. Wzdłuż centralnej części rdzenia kręgowego przebiega **kanał środkowy** wypełniony płynem mózgowo-rdzeniowym. Kanał ten łączy się z komorami występującymi w obrębie mózgowia. Rdzeń kręgowy przewodzi impulsy z mózgowia do narządów wykonawczych i z powrotem oraz uczestniczy w odruchach bezwarunkowych.

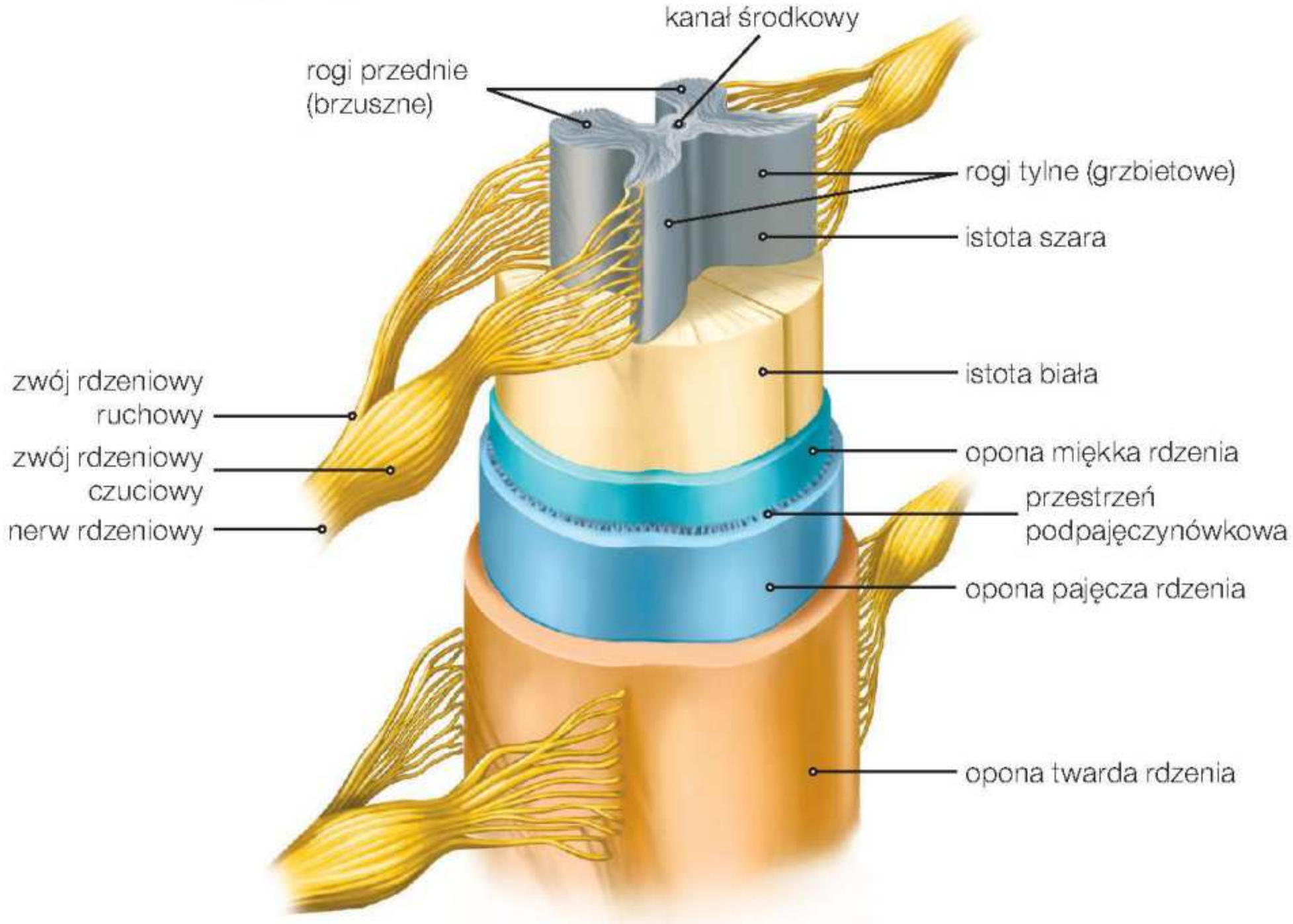
Płyn mózgowo-rdzeniowy

W mózgowiu znajdują się połączone przestrzenie zwane **komorami mózgu**. Powstaje w nich płyn mózgowo-rdzeniowy. Jest to przesącz osocza z sieci włosowatych naczyń krwionośnych, dlatego jego skład jest bardzo podobny do składu osocza. Zawiera niewielkie ilości białka, glukozy i jonów potasu, duże ilości jonów sodu i jonów chlorkowych, a także śladowe ilości komórek: limfocytów i monocytów. Organizm człowieka wytwarza w ciągu doby ok. 700 cm^3 płynu mózgowo-rdzeniowego, przy czym jego średnia chwilowa objętość waha się w granicach 100–250 cm^3.

Płyn mózgowo-rdzeniowy krąży w komorach mózgu, w przestrzeni podpajęczynówkowej oraz w kanale centralnym rdzenia kręgowego, z którym kontaktuje się jedna z komór mózgu. Pełni on następujące funkcje:

- tworzy warstwę ochronną ośrodkowego układu nerwowego,
- zapewnia równomierny rozkład ciśnienia w jamie czaszki,
- odżywia neurony i usuwa zbędne produkty ich metabolizmu.

Budowa rdzenia kręgowego

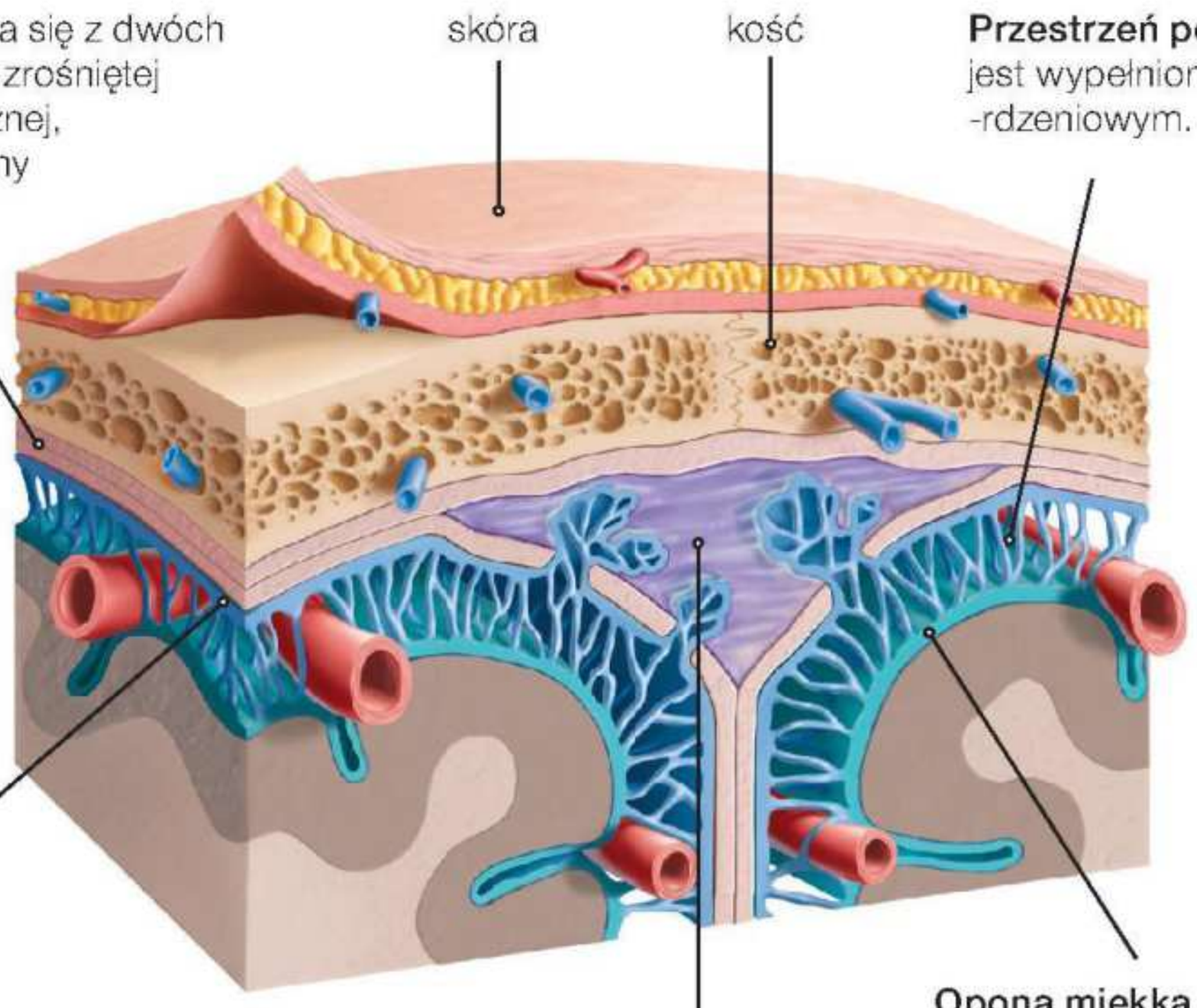


Płyn jest zabezpieczony przed przenikaniem z krwi substancji mogących zakłócić funkcjonowanie neuronów dzięki **barierze krew–mózg**. Tworzą ją nieprzepuszczalne ściany naczyń włosowatych mózgu i otaczających je komórek glejowych (astrocytów). Bariera ta nie przepuszcza wielu substancji wielkocząsteczkowych, w tym np. leków. Przechodzą przez nią natomiast (nawet wbrew gradientowi stężeń): glukoza, aminokwasy i cząsteczki, z których powstają neuroprzekaźniki.

Płyn mózgowo-rdzeniowy pobiera się niekiedy w celach diagnostycznych (np. zwiększenie w nim ilości białka oraz liczby komórek może świadczyć o stanie zapalnym mózgu lub opon mózgowia).

Ochrona mózgowia i rdzenia kręgowego

Mózgowie i rdzeń kręgowy to bardzo delikatne struktury, dlatego są one osłonięte oponami, czyli błonami zbudowanymi z tkanki łącznej. Od strony mózgowia i rdzenia kręgowego opony są ułożone w następującej kolejności: opona miękka, opona pajęcza i opona twarda. Opona twarda przylega do kości czaszki oraz ścian kanału kręgowego.



Polecenia kontrolne

1. Wymień części mózgowia oraz określ ich funkcje.
2. Scharakteryzuj funkcje kory mózgu.
3. Podaj różnicę między istotą szarą a istotą białą.
4. Określ usytuowanie istoty szarej i istoty białej w obrębie mózgowia oraz rdzenia kręgowego.
5. Określ główne funkcje rdzenia kręgowego.
6. Wymień rodzaje opon mózgowia oraz rdzenia kręgowego. Podaj ich funkcje.

8.4. Obwodowy układ nerwowy

Zwróć uwagę na:
- budowę i funkcje obwodowego układu nerwowego,
- zasadę działania łuku odruchowego,
- odruchy bezwarunkowe i warunkowe,
- rolę odruchów warunkowych w procesie uczenia się.

Obwodowy układ nerwowy zapewnia komunikację między ośrodkowym układem nerwowym a poszczególnymi narządami ciała. Do jego głównych funkcji należą:
- przekazywanie informacji od receptorów, które odebrały bodziec, do ośrodkowego układu nerwowego,
- przekazywanie informacji o reakcji organizmu na bodziec od ośrodkowego układu nerwowego do narządów wykonawczych,
- udział w wykonywaniu reakcji odruchowych.

Budowa obwodowego układu nerwowego

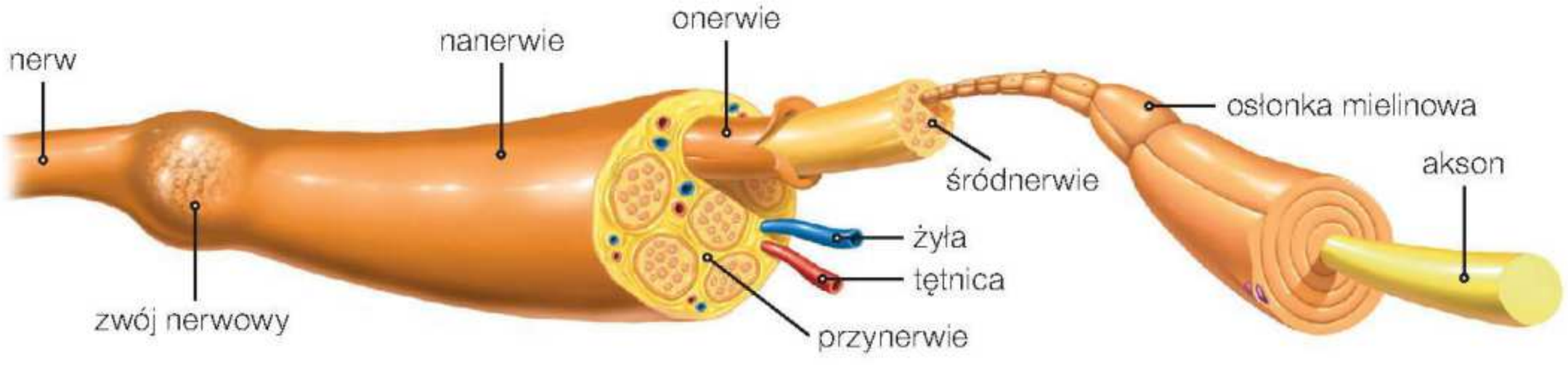
Obwodowy układ nerwowy jest zbudowany z nerwów oraz zwojów nerwowych.

Nerwy są pęczkami włókien nerwowych, czyli wypustek neuronów (aksonów lub dendrytów) podtrzymywanych i chronionych przez tkankę łączną właściwą. Tkanka ta buduje:
- nanerwie, które otacza cały nerw,
- przynerwie, które wypełnia wolne przestrzenie w obrębie nerwu i stabilizuje włókna nerwowe w określonym położeniu,
- onerwie, które otacza pęczki włókien nerwowych,
- śródnerwie, które otacza pojedyncze włókna nerwowe.

Zakończenia niektórych nerwów pełnią funkcję receptorową – odbierają bodźce ze środowiska zewnętrznego lub środowiska wewnętrznego organizmu. Pomiędzy niektórymi nerwami zachodzi wymiana włókien nerwowych – tworzą się wówczas sploty nerwowe. Jednym z głównych **splotów nerwowych** w organizmie człowieka jest splot trzewny (splot słoneczny) będący częścią autonomicznego układu nerwowego. Funkcją tego splotu jest unerwienie narządów wewnętrznych, m.in. żołądka i jelit.

Budowa nerwu

Nerw to wiązka włókien nerwowych, przebiegająca poza ośrodkowym układem nerwowym. W obrębie nerwu poszczególne włókna nerwowe znajdują się blisko siebie i równocześnie przesyłają wiele impulsów elektrycznych. Każde włókno jest zabezpieczone izolatorem elektrycznym w postaci osłonki mielinowej – zapobiega to wzajemnym oddziaływaniom i zakłóceniom w przesyłaniu informacji.



Nerwy dzieli się m.in. ze względu na kierunek przewodzenia impulsów nerwowych. Wyróżnia się:

- **nerwy czuciowe**, które zawierają włókna nerwowe przewodzące impulsy nerwowe od receptorów do ośrodkowego układu nerwowego,
- **nerwy ruchowe**, które zawierają włókna nerwowe przekazujące impulsy nerwowe od ośrodkowego układu nerwowego do efektorów, czyli narządów wykonawczych, np. mięśni lub gruczołów,
- **nerwy mieszane**, które zawierają włókna nerwowe obu rodzajów.

Nerwy mają początek w strukturach ośrodkowego układu nerwowego. W zależności od tego, czy nerwy odchodzą od mózgowia czy od rdzenia kręgowego, wyróżnia się nerwy czaszkowe i nerwy rdzeniowe.

Nerwy czaszkowe – 12 par – unerwiają głównie głowę i jej okolice. Mają początek w mózgowiu i opuszczają czaszkę przez otwory w jej podstawie.

Nerwy rdzeniowe – 31 par – unerwiają m.in.: skórę, mięśnie i narządy wewnętrzne. Mają początek w rdzeniu kręgowym i opuszczają kanał kręgowy przez otwory międzykręgowe.

Zwoje nerwowe to skupienie ciał komórek nerwowych poza ośrodkowym układem nerwowym. Ich funkcją jest kontrolowanie czynności narządów.

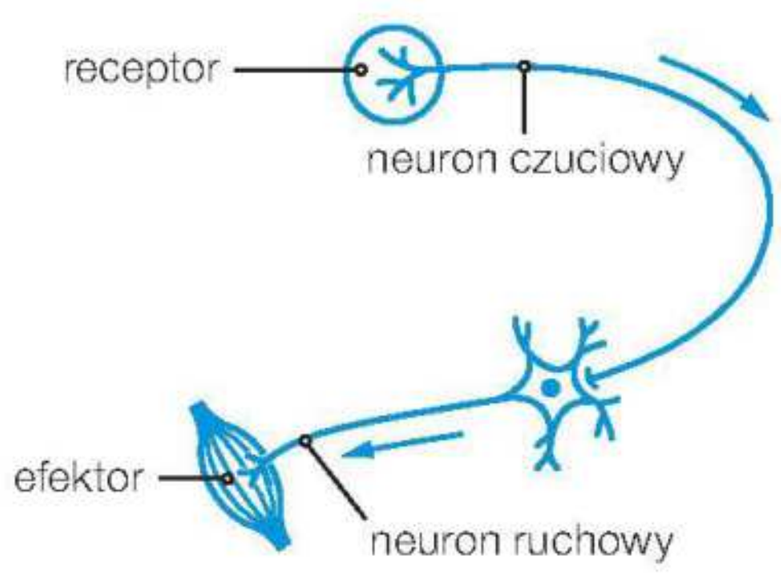
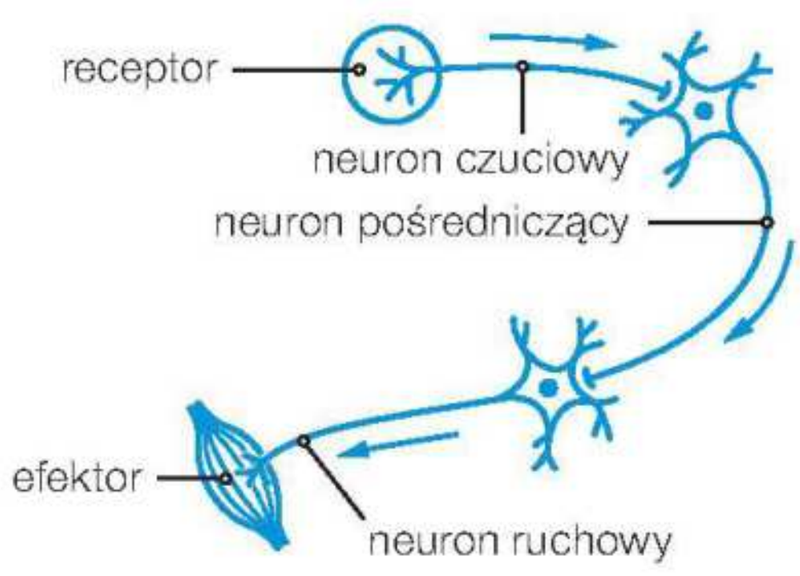
Łuk odruchowy

Odruch to szybka, automatyczna, powtarzalna reakcja organizmu na bodziec napływający ze środowiska zewnętrznego lub wewnętrznego. Zachodzi on w obrębie struktur, które wchodzą w skład łuku odruchowego. **Łuk odruchowy** to droga, którą pobudzenie przebywa od receptora do efektora. W jego skład wchodzą: receptor, droga nerwowa dośrodkowa (czuciowa), ośrodek nerwowy, droga nerwowa odśrodkowa (ruchowa) i efektor.

Receptory są strukturami, w których na skutek działania bodźców powstaje pobudzenie. Należą do nich wolne zakończenia nerwowe lub wyspecjalizowane komórki zmysłowe. Receptory mogą być rozproszone w ciele (np. receptory bólu w skórze) lub skupione w narządach zmysłów (np. w oku).

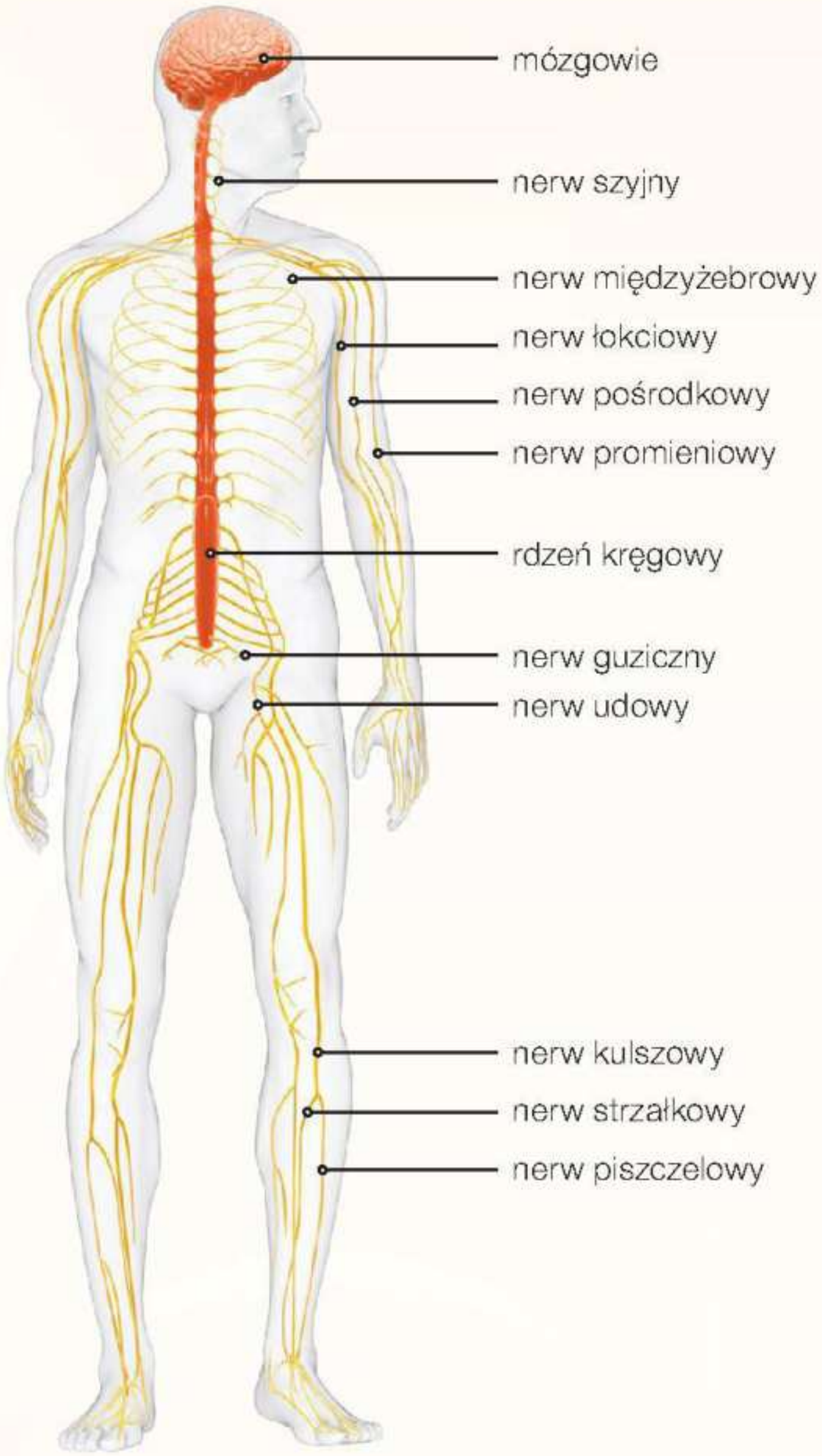
Efektory to inaczej narządy wykonawcze. Są one ostatnim elementem łuku odruchowego. Do efektorów należą głównie mięśnie oraz gruczoły.

Podział odruchów ze względu na liczbę synaps

odruch monosynaptyczny	odruch polisynaptyczny
	
• Występuje w nim jedna synapsa. • Pomiędzy neuronem czuciowym a neuronem ruchowym nie występują neurony pośredniczące. • Receptor i efektor znajdują się w jednym narządzie (np. odruch kolanowy).	• Występują w nim przynajmniej dwie synapsy. • Pomiędzy neuronem czuciowym a neuronem ruchowym występuje co najmniej jeden neuron pośredniczący. • Receptor i efektor znajdują się w różnych narządach (np. odruchy zginania lub prostowania kończyny pod wpływem bodźca bólowego).

Budowa obwodowego układu nerwowego

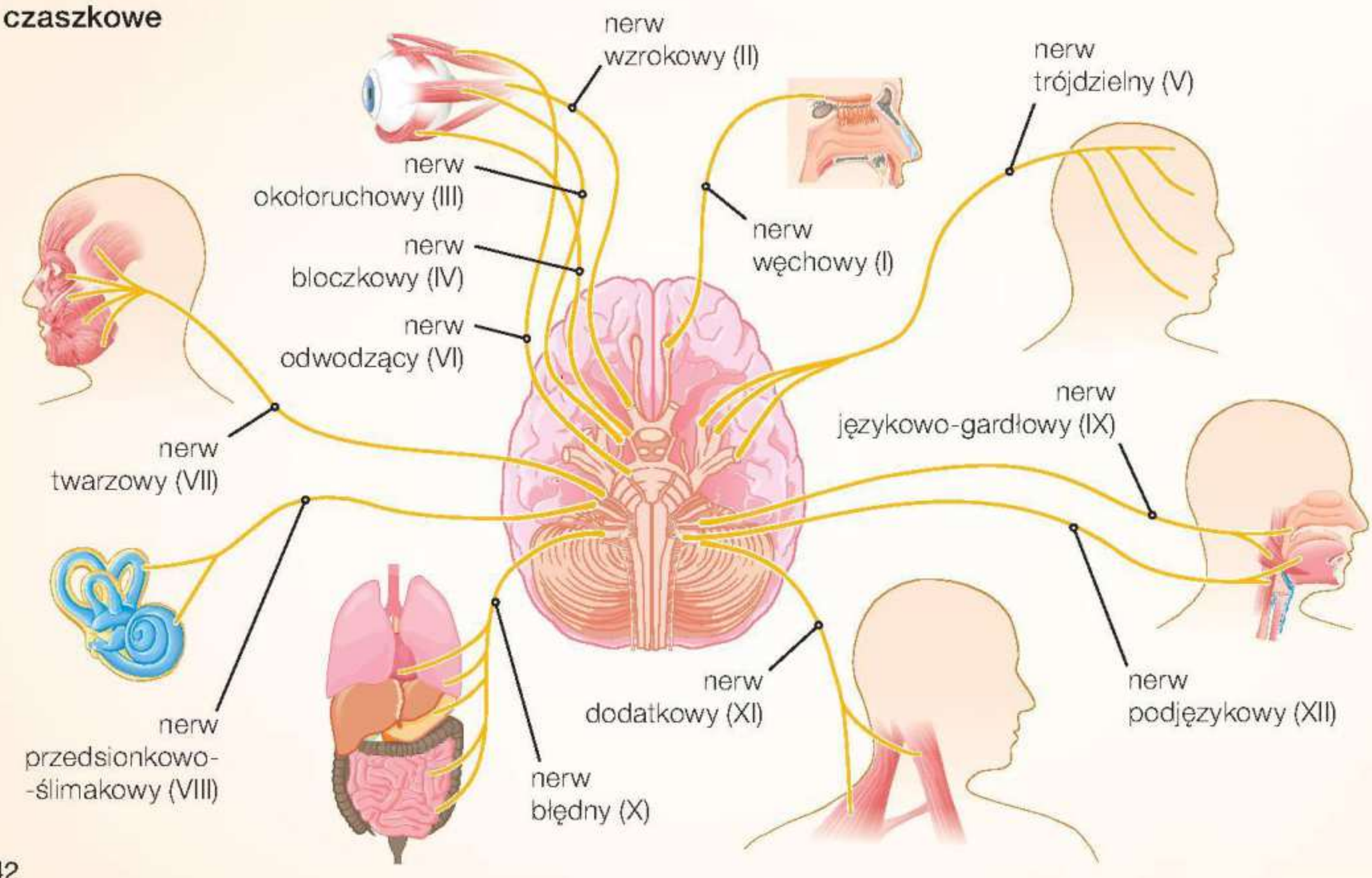
Nerwy przekazują informację pomiędzy ośrodkowym układem nerwowym a wszystkimi innymi częściami ciała. **Nerwy czaszkowe** są parzyste. Oznacza się je za pomocą cyfr rzymskich od I do XII. Poza nerwem X (nerw błędny) oraz XI (nerw dodatkowy) unerwiają one okolice głowy i szyi. Nerw błędny unerwia serce, oskrzela, płuca, żołądek i jelita, natomiast nerw dodatkowy unerwia mięśnie obręczy barkowej. Wśród **nerwów rdzeniowych** wyróżnia się 8 par nerwów szyjnych, 12 par nerwów piersiowych, 5 par nerwów lędźwiowych, 5 par nerwów krzyżowych oraz jedną parę nerwów guzicznych. Unerwiają one skórę, mięśnie, narządy wewnętrzne i naczynia krwionośne.



ośrodkowy układ nerwowy

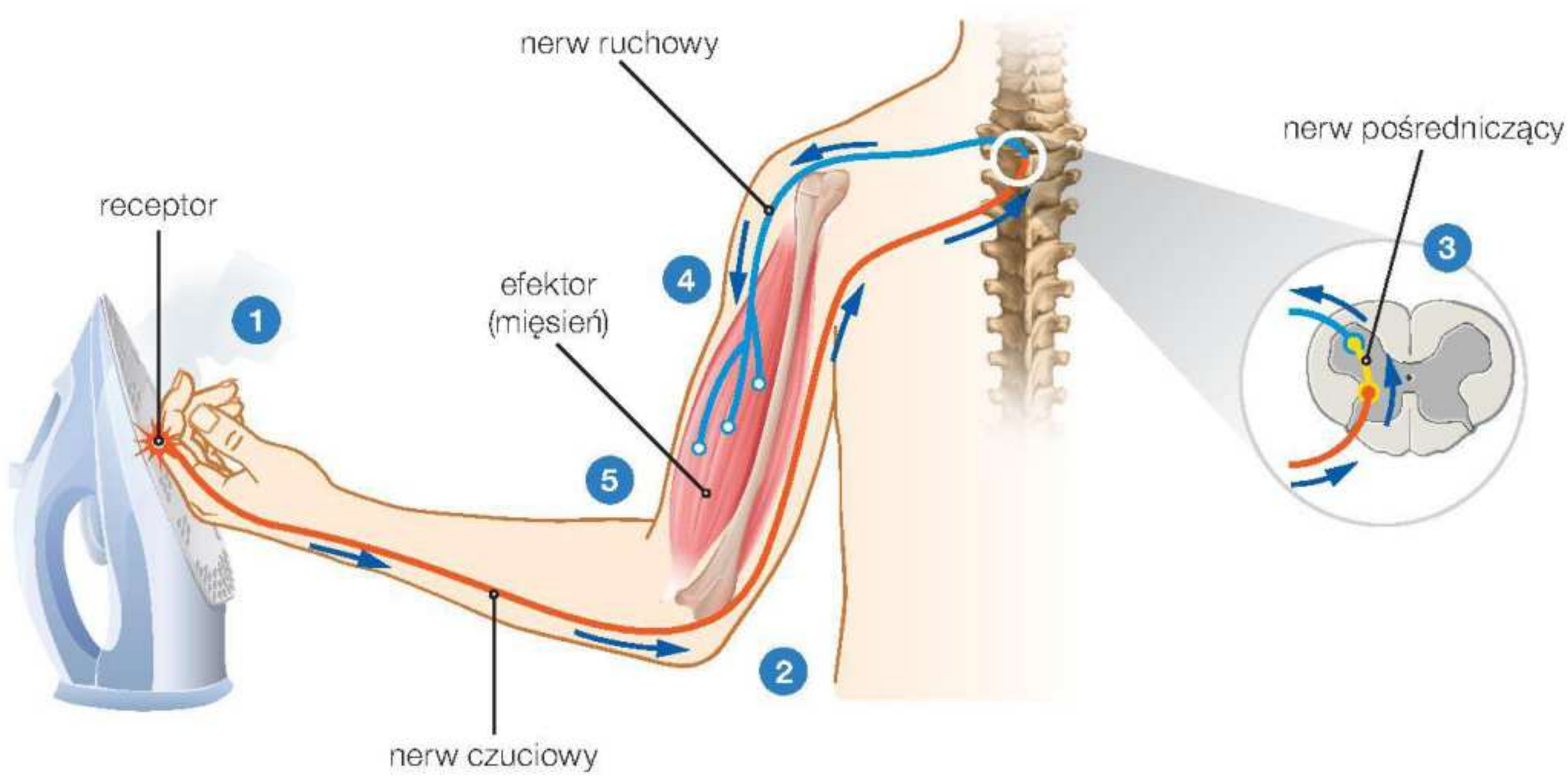
obwodowy układ nerwowy

Nerwy czaszkowe



Łuk odruchowy

Łuk odruchowy to droga, którą pokonuje impuls nerwowy od receptora do efektora. Obejmuje ona receptor, elementy obwodowego układu nerwowego, elementy ośrodkowego układu nerwowego oraz efektor, np. mięsień lub gruczoł.



Przebieg reakcji odruchowej

1. Receptor termiczny zlokalizowany w skórze palca odbiera bodziec w postaci wysokiej temperatury.
2. Informacja o zadziałaniu bodźca zostaje przekazana w postaci impulsu nerwowego przez neuron czuciowy do ośrodkowego układu nerwowego – w tym przypadku do neuronu pośredniczącego, zlokalizowanego w rdzeniu kręgowym.
3. Neuron pośredniczący przekazuje impuls nerwowy do neuronu ruchowego.
4. Neuron ruchowy pobudza efektor – mięsień dwugłowy ramienia – do wykonania reakcji, czyli do skurczu.
5. Mięsień kurczy się, co powoduje ruch ręką (odsunięcie ręki od źródła wysokiej temperatury).

Odruchy bezwarunkowe i warunkowe

Jedną z podstawowych klasyfikacji odruchów jest ich podział na odruchy bezwarunkowe (wrodzone, gatunkowe) oraz odruchy warunkowe (nabyte, osobnicze).

Odruchy bezwarunkowe powstają przy zaangażowaniu ośrodków rdzenia kręgowego (odruchy rdzeniowe) oraz ośrodków mózgowia położonych poza obszarem kory mózgu. Są typowe dla wszystkich przedstawicieli gatunku i dziedziczone z pokolenia na pokolenie. Należą do nich:

- odruch ssania (wywołany przez dotknięcie okolicy ust noworodka),
- odruch wydzielania śliny pod wpływem pobudzenia receptorów smaku,
- odruchy obronne, np. odruch kaszlu i odruch wymiotny (podczas drażnienia tylnej ściany gardła),
- odruchy związane z utrzymaniem postawy ciała i lokomocją,
- odruch podeszwowy (zgięcie palców stopy przy mechanicznym podrażnieniu skóry na podeszwie),
- odruch kolanowy (wyprostowanie nogi w stawie kolanowym pod wpływem uderzenia w kolano poniżej rzepki).

Odruchy warunkowe wykształcają się w wyniku indywidualnego doświadczenia osobniczego. Wymagają one zaangażowania ośrodków **kory mózgu** i nie są dziedziczone – powstają, utrwalają się lub wygasają w zależności od warunków zewnętrznych. Odruchy warunkowe są wytwarzane przez całe życie, dzięki czemu możliwa jest adaptacja organizmu do aktualnych warunków środowiska.

Na odruchach warunkowych opiera się wiele codziennych czynności, np. jazda na rowerze, prowadzenie samochodu, uczenie się czy automatyczne wyłączanie urządzeń (np. żelazka) po wykonanej pracy. Odruchy warunkowe muszą być stale podtrzymywane (ćwiczone), ponieważ łatwo zanikają, np. efektywna nauka wymaga regularnych, licznych powtórzeń.

Odruchy warunkowe tworzą się na podstawie odruchów bezwarunkowych. Pionierem w badaniach nad powstawaniem odruchów warunkowych był rosyjski fizjolog Iwan Pawłow. Prowadził on doświadczenia na psach. Podawał im pokarm – **bodziec kluczowy** – jednocześnie włączając dzwonek. Dźwięk dzwonka był **bodźcem obojętnym**. Zwierzęta pod wpływem pokarmu wydzielały ślinę. Po wielokrotnym powtórzeniu tego ćwiczenia Pawłow wprowadził zmianę: włączał dzwonek, nie podając jednocześnie pokarmu. Reakcją psów było wydzielanie śliny mimo braku bodźca kluczowego (pokarmu).

W prowadzonych badaniach Pawłow wykazał, że powstanie odruchu warunkowego wymaga skojarzenia **bodźca obojętnego** (np. dźwięku dzwonka) z **bodźcem kluczowym** wywołującym odruch bezwarunkowy (np. podaniem pokarmu). Tego typu odruchy nazywane są obecnie **klasycznymi odruchami warunkowymi** lub odruchami pawłowowskimi. Istnieją również **instrumentalne odruchy warunkowe**. Są one efektem bardziej złożonego procesu uczenia się. Podstawą powstania odruchu instrumentalnego jest dążenie do zaspokojenia potrzeby, czyli **motywacja**. Mogą nią być potrzeby fizjologiczne, takie jak: głód, pragnienie, popęd płciowy, albo psychiczne, np. potrzeba bliskości. Im większa motywacja, tym szybciej powstaje odruch warunkowy. W praktyce odruchy instrumentalne wytwarzają się w wyniku stosowania **systemu nagród** lub **kar**. Poprawne wykonanie danej czynności skutkuje uniknięciem kary lub otrzymaniem nagrody. Natomiast niewykonanie czynności albo jej niepoprawne wykonanie skutkuje otrzymaniem kary lub brakiem nagrody. System ten jest powszechnie stosowany podczas tresury zwierząt, np. psów. Gdy pies podaje łapę na właściwe hasło, dostaje przysmak. Na początku pies skupia się na wykonywanej czynności, aby uzyskać nagrodę. Jednak po pewnym czasie zwierzę bez zastanowienia podaje łapę na samą komendę, nawet gdy nie otrzyma za to jedzenia.



Odruch ssania jest odruchem bezwarunkowym. Pojawia się ok. 17. tygodnia życia płodowego. W okresie noworodkowym i niemowlęcym umożliwia dziecku zaspokajanie głodu. Prawidłowo wykształcony odruch ssania jest też istotny podczas nauki mowy.



Odruch wydzielania śliny na widok cytryny lub na myśl o kwaśnej cytrynie jest przykładem odruchu warunkowego. Wynika on bowiem nie z bezpośredniego kontaktu z kwaśną substancją, ale ze wspomnień dotyczących smaku, które budzą się na widok cytryny.

W jaki sposób powstaje odruch warunkowy?

Proces powstawania odruchu warunkowego można prześledzić na podstawie eksperymentu przeprowadzonego pod koniec XIX w. przez rosyjskiego fizjologa Iwana Pawłowa. Obiektem badawczym w tym eksperymencie były psy. Naukowiec wytworzył u nich odruch wydzielania śliny na obojętny bodziec, którym był dźwięk dzwonka.

1. Obecność pokarmu w pysku psa sprawia, że wydziela on ślinę. Pokarm jest bodźcem bezwarunkowym, który powoduje bezwarunkową reakcję, czyli wydzielanie śliny.





2. Dźwięk dzwonka nie powoduje wydzielania śliny u psa. Jest więc bodźcem obojętnym – nie wywołuje odruchu.





3. Eksperyment Pawłowa polegał na dzwonieniu dzwonkiem podczas podawania psu pokarmu. Czynności te były wielokrotnie powtarzane.







4. Po pewnym czasie pies zaczynał wydzielać ślinę na sam dźwięk dzwonka. W ten sposób bodziec obojętny stał się bodźcem warunkowym, ponieważ powodował reakcję warunkową – wydzielanie śliny pod wpływem pierwotnie obojętnego bodźca.





W opisanej sytuacji odruch warunkowy powstaje na podstawie odruchu bezwarunkowego. Aby doszło do powstania odruchu warunkowego, bodziec obojętny musi pojawić się równocześnie z bodźcem bezwarunkowym lub krótko przed nim. Dodatkowo, aby trening się powiódł, musi wystąpić odpowiednia liczba powtórzeń sytuacji, w których oba bodźce są kojarzone. Sukces zostaje osiągnięty wtedy, gdy bodziec wcześniej obojętny samodzielnie wywołuje reakcję. W takim przypadku staje się on **bodźcem warunkowym**, a wywoływaną reakcję nazywa się **reakcją warunkową** (odruchem warunkowym).

Odruchy warunkowe wykształcają się m.in. podczas tresury psów.

Odruchy	
bezwarunkowe	**warunkowe**
• wrodzone • takie same u wszystkich osobników gatunku • powstają bez udziału kory mózgu • nie podlegają modyfikacjom pod wpływem działania środowiska lub woli osobnika • przykład: wydzielanie śliny pod wpływem znajdującej się w ustach cytryny	• nabyte • indywidualne dla każdego osobnika • powstają z udziałem kory mózgu • mogą podlegać modyfikacjom pod wpływem działania środowiska lub woli osobnika • przykład: wydzielanie śliny na widok cytryny lub na myśl o cytrynie

Odruchy warunkowe a proces uczenia się

W czasie życia osobniczego wytwarzają się wciąż nowe odruchy warunkowe, które stanowią podstawę procesu uczenia się. Wytworzone odruchy mogą przybierać na sile, słabnąć lub nawet ulegać całkowitemu wygaszeniu. Pod względem fizjologicznym odruchy warunkowe powstają dzięki formowaniu się nowych połączeń synaptycznych pomiędzy neuronami zlokalizowanymi głównie w obrębie kory mózgu, a słabną w wyniku zanikania tych połączeń.

Zgodnie ze współczesną wiedzą z zakresu biologii i psychologii **uczenie się to proces nabywania, a następnie przechowywania informacji w sposób, który pozwoli na ich późniejsze wykorzystanie**. Człowiek, podobnie jak inne zwierzęta, uczy się metodą przyzwyczajania się (habituacji) oraz metodą prób i błędów. Dzięki temu potrafi rozwiązywać problemy na podstawie wcześniejszych doświadczeń. W trakcie rozwoju osobniczego człowieka wykształca się ponadto umiejętność wyciągania wniosków ze zdobytych doświadczeń. Zdolność ta nosi nazwę **abstrakcyjnego myślenia**. Abstrakcyjne myślenie umożliwia świadome uczenie się, rozwijanie wyobraźni i nadawanie sensu procesom oraz zjawiskom. Pozwala także planować określone działania oraz przewidywać ich skutki.

Rodzaje pamięci

Podstawą sprawnego uczenia się jest **pamięć, czyli zdolność do przechowywania i odtwarzania informacji**. Współcześnie wyróżnia się trzy rodzaje pamięci: pamięć sensoryczną, pamięć krótkotrwałą oraz pamięć długotrwałą.

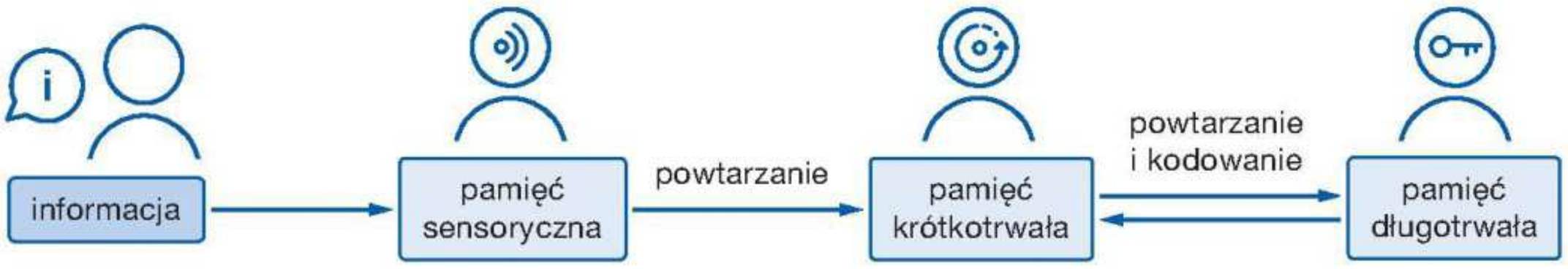
Pamięć sensoryczna (zmysłowa, ultrakrótka) to pamięć o znacznej pojemności, lecz krótkim czasie trwania. Informacje odbierane za pomocą zmysłów (np. usłyszane rozmowy, zapachy) są w niej przechowywane zaledwie przez sekundę.

Pamięć krótkotrwała (operacyjna) jest pamięcią o niewielkiej pojemności. U większości ludzi obejmuje ona 6–8 pozycji, np. wyrazów lub cyfr. Zarejestrowane informacje zostają utracone w czasie od kilku sekund do kilku minut. Przechowywanie informacji w pamięci krótkotrwałej wymaga ich powtarzania. Pamięć ta pośredniczy zatem w gromadzeniu informacji oraz wydobywaniu ich z pamięci długotrwałej.

Pamięć długotrwała ma znaczną, w zasadzie nieograniczoną pojemność. Warunkiem przeniesienia informacji z pamięci krótkotrwałej do pamięci długotrwałej jest ich powtarzanie, a następnie klasyfikowanie i grupowanie w odpowiednie kategorie. Dzięki temu przetworzone informacje mogą zostać połączone z informacjami umieszczonymi wcześniej w pamięci długotrwałej – w ten sposób zachodzi trwałe zakodowanie informacji. Odtworzenie informacji przechowywanych w pamięci długotrwałej wymaga ich rozpoznania oraz czasowego przeniesienia do pamięci krótkotrwałej. Nie zawsze procesy te przebiegają jednakowo sprawnie. Wśród przyczyn trudności w odtwarzaniu informacji wymienia się:

- brak koncentracji uwagi, a w konsekwencji – słabą rejestrację informacji,
- nieużywanie zapamiętanych informacji,
- zachodzenie na siebie informacji (np. uczenie się podobnych do siebie języków obcych).

Rodzaje pamięci



Sprawne funkcjonowanie pamięci wymaga od człowieka angażowania się w procesy zapamiętywania, kojarzenia ze sobą informacji, a także uruchomienia **wyobraźni** – rozumianej jako zdolność tworzenia i przetwarzania wyobrażeń (np. obrazów lub dźwięków) w mózgu. Najłatwiej powstają wyobrażenia wzrokowe, dlatego w programie większości kursów szybkiego zapamiętywania uwzględnia się ćwiczenia rozwijające właśnie ten rodzaj wyobraźni.

Możliwości ludzkiej pamięci są niezwykłe. Większość ludzi rozpoznaje dziesiątki twarzy innych osób, pamięta mnóstwo różnych miejsc czy utworów muzycznych. Paradoksalnie o wiele trudniej zapamiętuje się pozornie proste informacje, np. numery telefonów, daty czy nazwiska. Zdarzają się ludzie obdarzeni fenomenalną pamięcią, z jednakową łatwością zapamiętujący setki cyfr, utwory literackie w obcych językach, skomplikowane wzory matematyczne czy długie serie przypadkowych sylab. Występowanie takiej pamięci jest zdecydowanie niewygodne, ponieważ pamięć ludzka powinna być jednocześnie efektywna i nieefektywna. Oznacza to, że mózg musi zatrzymywać pewne informacje, a jednocześnie uwalniać się od tych, które są mu zbędne. Dlatego człowiek uczy się, a następnie zapomina niektóre wiadomości po to, aby nabyć kolejne czy nauczyć się nowych rzeczy.

Myślenie i inteligencja

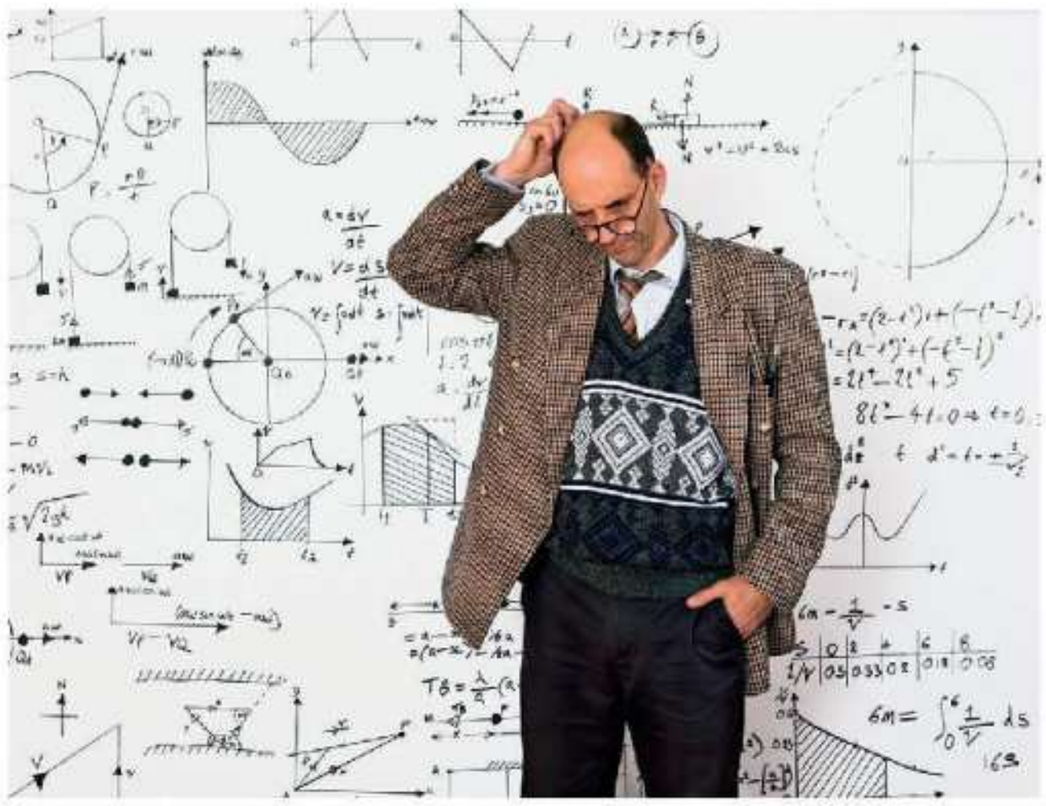
Myślenie jest złożonym procesem umysłowym, który określa zależności pomiędzy zjawiskami. Dzięki temu pozwala m.in. na wnioskowanie, interpretowanie oraz dostrzeganie związków przyczynowo-skutkowych.

Myślenie opiera się na:

- doznaniach zmysłowych,
- procesach poznawczych, do których należą np. spostrzeganie, pamięć, wyobraźnia,
- procesach analizy i syntezy.

Zdolność myślenia jest częścią składową inteligencji. W jej zakres wchodzi także umiejętność przystosowywania się do środowiska życia. Inteligencją dysponuje wiele zwierząt, głównie ptaki i ssaki. U człowieka inteligencja wyraża się poprzez zdolność abstrakcyjnego myślenia (rozum) oraz umiejętność angażowania w rozwiązywanie problemów różnych procesów poznawczych, m.in. świadomego uczenia się i sprawnego przetwarzania informacji.

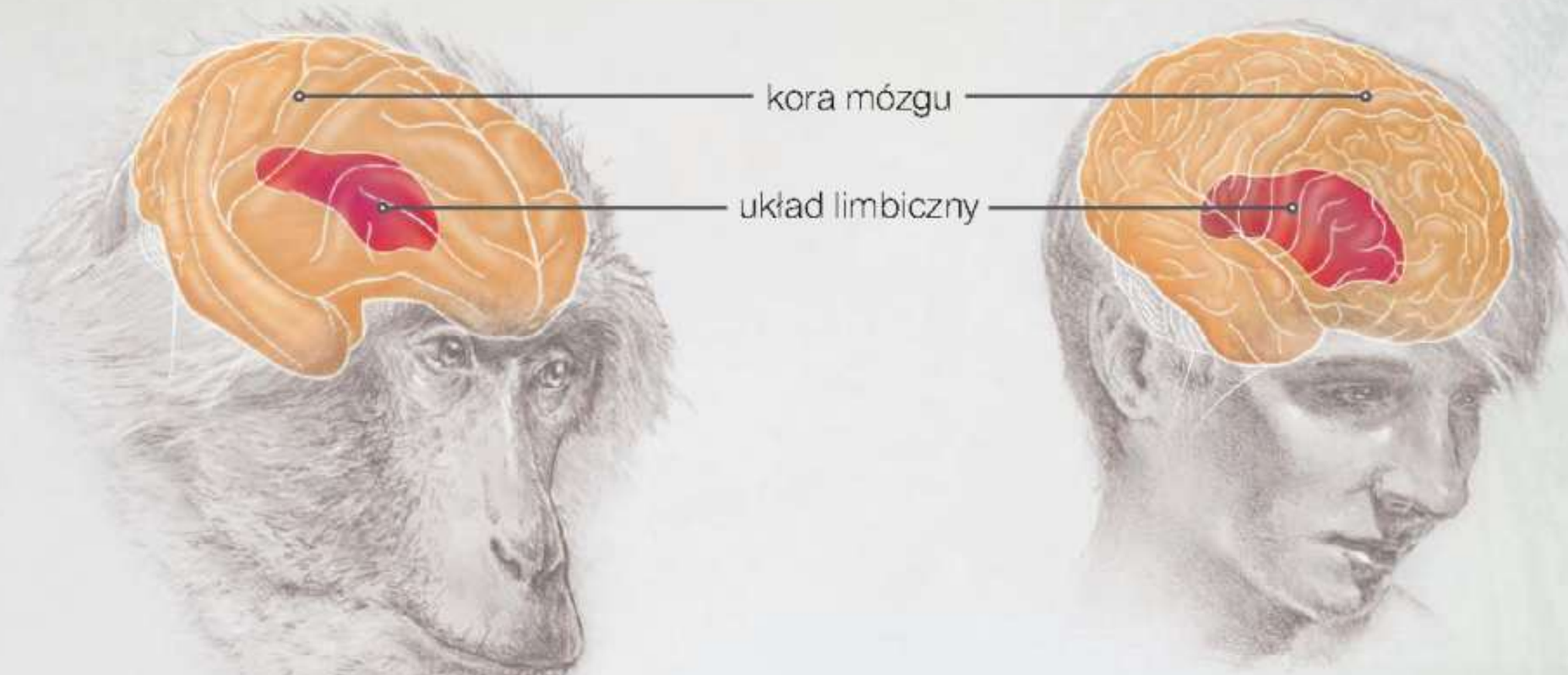
Uwaga! Niektórzy naukowcy odróżniają inteligencję od intelektu. W takim ujęciu inteligencja jest równoznaczna z rozsądkiem, natomiast intelekt – z rozumem.



Inteligencja jest pojęciem niejednolitym. Zdarzają się ludzie o ponadprzeciętnych zdolnościach abstrakcyjnego myślenia i rozwiązywania złożonych problemów naukowych, którzy z trudem radzą sobie w życiu codziennym.

Inteligencja i emocje – czy nasz mózg jest wyjątkowy?

Mózg człowieka osiągnął najwyższy stopień rozwoju ewolucyjnego. Jednak złożone procesy umysłowe zachodzą także u innych ssaków, zwłaszcza takich, których mózgi są podobne do naszych pod względem budowy i funkcjonowania, m.in. u pozostałych naczelnych.



Mózgi człowieka i pozostałych naczelnych mają silnie pofałdowaną korę mózgu, która umożliwia zachodzenie skomplikowanych procesów myślowych. Wraz z układem limbicznym uczestniczy ona w zapamiętywaniu, uczeniu się i odczuwaniu złożonych emocji.

Emocje

Naczelne są zdolne do odczuwania i wyrażania emocji, w tym tak złożonych jak miłość czy empatia, czyli skłonność do niesienia pomocy innym osobnikom.

Empatia

Jedną z naturalnych czynności wielu naczelnych jest wzajemne iskanie się, które stanowi element ich higieny. Funkcją iskania jest też wzmacnianie więzi społecznych oraz rozładowywanie stresu. Zauważono, że samice naczelnych po stracie potomstwa wpadają w depresję – przestają jeść i zastygają w bezruchu. Iskanie i głaskanie przez inne samice zmniejsza u nich poziom hormonów stresu we krwi i pomaga przeżyć żałobę.

Myślenie

Naczelne przeprowadzają zaawansowane procesy myślowe. Dzięki temu szybko się uczą i sprawnie się komunikują. Ponadto potrafią używać narzędzi oraz planować przyszłe działania.



Używanie narzędzi

Małpiatki wykorzystują kamienie do rozłupywania orzechów. Podczas eksperymentów z zastosowaniem syntetycznych kamieni małpiatki zawsze wybierały najcięższy z nich – nawet wtedy, gdy wszystkie kamienie były tej samej wielkości.

Wytwarzanie narzędzi

Szympansy potrafią wytwarzać narzędzia. Kiedy chcą dostać się do owadów żyjących pod korą drzew, zrywają gałązkę i oczyszczają ją z liści. Następnie miażdżą zębami końcówkę patyka i wkładają go do gniazda. Młode szympansy uczą się tej czynności przez naśladowanie starszych.

Mycie pokarmu

Makaki japońskie z wyspy Koshima mają zwyczaj mycia batatów przed ich zjedzeniem. Po raz pierwszy zachowanie to zaobserwowano u jednej z młodych samic. Wkrótce zostało ono skopiowane przez niemal wszystkie makaki na wyspie. Mycie batatów w strumieniu to przykład wyuczonej tradycji przekazywanej z pokolenia na pokolenie.

Czyszczenie zębów

Naczelne wykorzystują narzędzia do zabiegów higienicznych. Na przykład makaki używają włókien roślinnych do czyszczenia zębów.

Polecenia kontrolne

1. Omów budowę obwodowego układu nerwowego i podaj jego funkcje.
2. Opisz drogę, którą przemierza impuls nerwowy w łuku odruchowym.
3. Wyjaśnij, dlaczego u niektórych psów dźwięk otwieranej lodówki powoduje wydzielanie się śliny. Określ, czy reakcja ta jest przykładem odruchu warunkowego czy bezwarunkowego.

8.5. Autonomiczny układ nerwowy

Zwróć uwagę na:
- podział autonomicznego układu nerwowego na współczulny i przywspółczulny,
- lokalizację ośrodków części współczulnej i przywspółczulnej,
- rolę autonomicznego układu nerwowego w utrzymywaniu homeostazy.

Ze względu na pełnione funkcje układ nerwowy dzieli się na somatyczny i autonomiczny. Somatyczny układ nerwowy odbiera bodźce ze środowiska zewnętrznego i kieruje wykonywaniem ruchów świadomych. Autonomiczny układ nerwowy odbiera bodźce z wnętrza ciała i reguluje pracę narządów wewnętrznych. Współpracując z układem somatycznym, umożliwia przystosowanie się organizmu do zmiennych warunków otoczenia, jest więc odpowiedzialny za stałość środowiska wewnętrznego organizmu (homeostazę).

Układ współczulny i układ przywspółczulny

W obrębie układu autonomicznego wyróżnia się układy: współczulny i przywspółczulny. Oba przekazują impulsy do tych samych narządów, ale za pośrednictwem innych par nerwów. Działanie tych układów cechuje antagonizm czynnościowy, czyli działanie przeciwstawne.

Układ współczulny aktywuje się w sytuacji stresowej i mobilizuje organizm do działania, umożliwiając mu stosowną reakcję, np. walkę lub ucieczkę. Układ ten powoduje m.in. przyspieszenie rytmu serca, rozszerzenie źrenic oraz skurcz mięśni oskrzeli. W organizmie dominują wówczas procesy kataboliczne. Do komórek dociera więcej tlenu i substancji odżywczych, uruchamiane są też rezerwy energetyczne organizmu.

Układ przywspółczulny dominuje w chwilach relaksu i snu. Powoduje m.in. zwolnienie rytmu serca, zwężenie źrenic i rozluźnienie mięśni oskrzeli. Pobudza też procesy anaboliczne. Układ przywspółczulny po ustąpieniu działania bodźców stresowych warunkuje powrót wszystkich wegetatywnych funkcji organizmu do poziomu wyjściowego. Pobudza czynności trawienne, ułatwia wchłanianie pokarmu i gromadzenie zapasów energetycznych.

W ciągu doby następują zmiany aktywności obu części układu autonomicznego. W dzień dominuje układ współczulny, a podczas snu – układ przywspółczulny. Aktywność tego układu przeważa również w ciągu dnia w chwilach wypoczynku lub po obfitym posiłku. Pojawia się wówczas uczucie senności.

Autonomiczny układ nerwowy	
układ współczulny	układ przywspółczulny
• koordynuje pracę narządów w sytuacji stresowej	• koordynuje pracę narządów w stanie spoczynku
	
„Walcz lub uciekaj".	„Odpoczywaj".

Budowa układu współczulnego

Układ ten ma budowę segmentową. Wyróżnia się w nim: część ośrodkową, pnie współczulne i część obwodową. **Część ośrodkowa** to ośrodki nerwowe umiejscowione w istocie szarej rdzenia kręgowego, na wysokości od ósmego kręgu piersiowego do trzeciego kręgu lędźwiowego. Wychodzą stąd przedzwojowe włókna nerwowe, które kończą się w zwojach pni współczulnych. Do ośrodków współczulnych istoty szarej rdzenia kręgowego zalicza się m.in. ośrodek naczynioworuchowy oraz ośrodek wydzielania potu.

Rola autonomicznego układu nerwowego w utrzymywaniu homeostazy

Rola autonomicznego układu nerwowego w utrzymywaniu homeostazy polega na dostosowywaniu pracy narządów wewnętrznych do sytuacji, w której znajduje się organizm.

Układ przywspółczulny

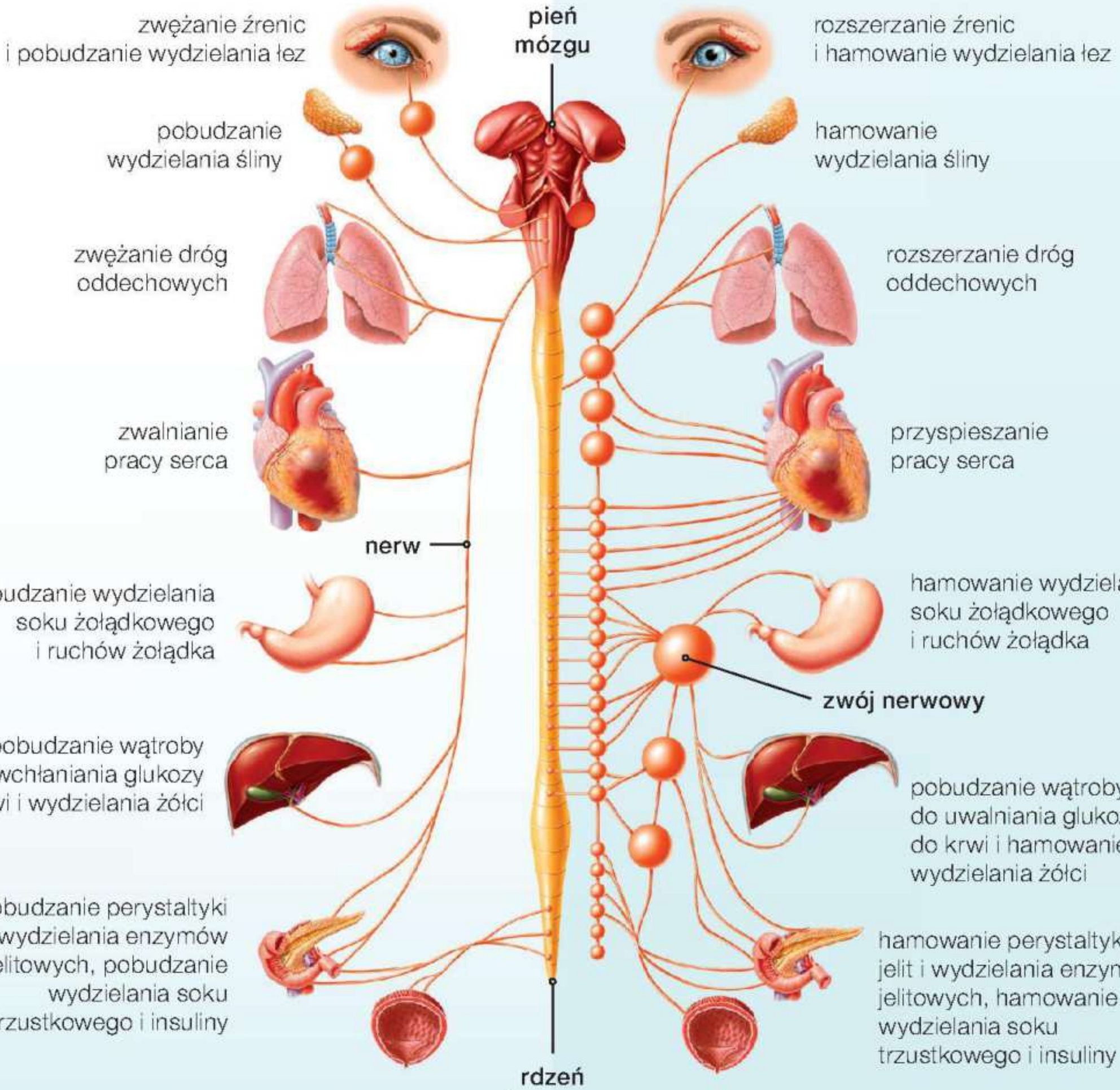
Układ przywspółczulny pobudza pracę narządów wewnętrznych związanych z odżywianiem się, wydalaniem i rozmnażaniem, czyli tymi czynnościami życiowymi, które są możliwe do wykonywania w stanach niezagrażających życiu.



Układ współczulny

Układ współczulny odpowiada za przygotowanie organizmu do wysiłku fizycznego. Pobudza więc działanie tych narządów, których praca powoduje zwiększenie ilości tlenu i glukozy we krwi oraz podwyższenie ciśnienia krwi. Zwiększa także aktywność mózgu i narządów zmysłów.





Pnie współczulne są utworzone przez zwoje nerwowe (przy czym na każdy pień przypada od 21 do 24 zwojów współczulnych połączonych nerwami). Leżą one przykręgowo, wzdłuż kręgosłupa, po obu jego stronach.

Część obwodowa składa się z włókien biorących początek w zwojach pnia współczulnego, zwanych **włóknami zazwojowymi**. W porównaniu z włóknami przedzwojowymi są one o wiele dłuższe. Większość włókien zazwojowych dociera do unerwianych narządów, towarzysząc nerwom rdzeniowym.

Neuroprzekaźnikami układu współczulnego są acetylocholina i adrenalina.

Budowa układ przywspółczulnego

W układzie przywspółczulnym wyróżnia się dwie części: część mózgową (głowową) i część rdzeniową (krzyżową). **Część mózgowa** obejmuje ośrodki nerwowe umiejscowione w śródmózgowiu, móżdżku i rdzeniu przedłużonym. Wypustki neuronów należących do mózgowej części przywspółczulnej tworzą włókna przedzwojowe.

Część rdzeniowa jest tworzona przez ośrodki nerwowe umiejscowione w istocie szarej rdzenia kręgowego na wysokości między pierwszym a trzecim kręgiem kości krzyżowej. Tu biorą początek – podobnie jak w wypadku części mózgowej – długie przedzwojowe włókna nerwowe. Włókna te, zarówno części mózgowej, jak i części rdzeniowej, kończą swój bieg w zwojach. Nie tworzą one jednak zwartego pnia, a znajdują się bezpośrednio w narządach lub w ich niedalekim sąsiedztwie. Dopiero ze zwojów odchodzą stosunkowo krótkie włókna zazwojowe, docierające do unerwianych narządów. Włókna przywspółczulne części mózgowej wchodzą w skład niektórych nerwów czaszkowych, a włókna przywspółczulne części krzyżowej – w skład niektórych nerwów rdzeniowych.

Neuroprzekaźnikiem układu przywspółczulnego jest acetylocholina.

Lokalizacja ośrodków nerwowych i zwojów nerwowych układów współczulnego i przywspółczulnego

Układ	Lokalizacja ośrodków nerwowych	Lokalizacja zwojów nerwowych
Przywspółczulny 	istota szara pnia mózgu oraz istota szara rdzenia kręgowego w odcinku krzyżowym	w narządach wewnętrznych lub w bezpośrednim ich sąsiedztwie
Współczulny 	istota szara rdzenia kręgowego w odcinku piersiowo-lędźwiowym	przykręgowo, wzdłuż kręgosłupa, po obu jego stronach

Polecenia kontrolne

1. Podaj zasadnicze różnice w funkcjonowaniu układów somatycznego i autonomicznego.
2. Omów funkcje autonomicznego układu nerwowego.
3. Wymień różnice w budowie części współczulnej i części przywspółczulnej układu autonomicznego.
4. Wyjaśnij, w jaki sposób układ współczulny przygotowuje organizm do wysiłku fizycznego.
5. Wyjaśnij termin *antagonizm czynnościowy*. Podaj odpowiedni przykład tego zjawiska.

8.6. Higiena i choroby układu nerwowego

Zwróć uwagę na:
- biologiczne znaczenie snu,
- wpływ substancji psychoaktywnych na funkcjonowanie organizmu człowieka,
- charakterystykę choroby Alzheimera, choroby Parkinsona, depresji i schizofrenii oraz znaczenie wczesnej diagnostyki dla ograniczenia społecznych skutków tych chorób.

Układ nerwowy człowieka każdego dnia jest poddawany działaniu wielu czynników. Szybkie tempo życia, stres, niewystarczająca ilość snu i duża liczba bodźców obciążają układ nerwowy, co może zakłócać jego funkcjonowanie oraz prowadzić do rozwoju chorób.

Higiena układu nerwowego

Aby uniknąć zaburzeń w funkcjonowaniu układu nerwowego, należy pamiętać o:
- regularnym i odpowiednio długim śnie,
- aktywności fizycznej i zdrowej diecie,
- odpowiedniej ilości odpoczynku z dala od ekranów komputera, telefonu i tabletu,
- unikaniu czynników ryzyka chorób układu nerwowego, m.in. nadmiaru stresu, urazów mechanicznych i stosowania używek.

Sen

W cyklu dobowym wyróżnia się dwa podstawowe stany fizjologiczne – sen i czuwanie. **Sen** to stan spoczynku, który może zostać łatwo przerwany przez bodźce zewnętrzne, np. głośny dźwięk. Składa się z dwóch faz, w których dochodzi do cyklicznych zmian fizjologicznych.
- **Faza NREM** (ang. *non-rapid eye movement*). W trakcie tej fazy snu gałki oczne nie wykonują szybkich ruchów. Dochodzi w niej do zwolnienia akcji serca i obniżenia ciśnienia tętniczego. Zmiany oddechu są regularne.
- **Faza REM** (ang. *rapid eye movement*). Podczas tej fazy snu gałki oczne wykonują szybkie ruchy. Częstość akcji serca i ciśnienie tętnicze podlegają w niej wahaniom, a oddech staje się nieregularny.

Obie fazy tworzą razem cykl snu, który trwa ok. 90 min. Aby sen spełniał swoje funkcje, cykle powinny się powtarzać od 4 do 6 razy w ciągu nocy. Zapotrzebowanie na sen jest cechą indywidualną i zmienia się wraz z wiekiem: noworodek przesypia ok. 2/3 doby, a osoba dorosła – ok. 1/3 doby.

Odpowiednia ilość nieprzerwanego snu pozwala m.in. na regenerację ośrodkowego układu nerwowego, odnowę synaps, wytwarzanie nowych połączeń między neuronami i właściwe funkcjonowanie układu odpornościowego. Regularny sen umożliwia także osiągnięcie prawidłowego wzrostu, ponieważ podczas dwóch pierwszych cyklów snu występuje szczyt wydzielania hormonu wzrostu. W trakcie snu zachodzi też przeniesienie informacji z pamięci krótkotrwałej do pamięci długotrwałej. Dlatego zamiast uczyć się przez całą noc przed sprawdzianem lub egzaminem, lepiej rozpocząć naukę wcześniej i położyć się szybciej spać.



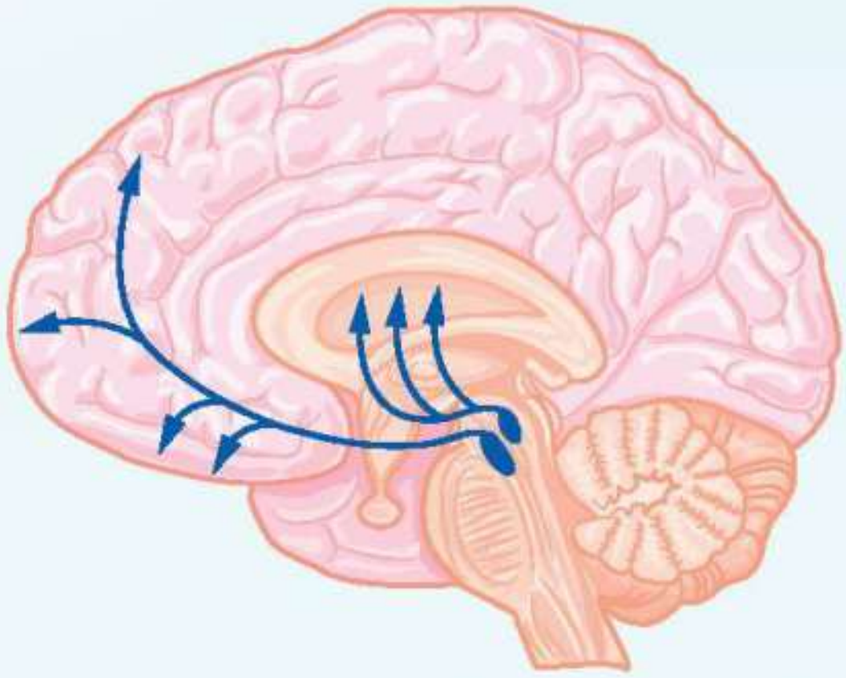
Przy problemach z zasypianiem warto na godzinę przed snem zrezygnować z korzystania z urządzeń emitujących niebieskie światło (np. smartfonów) i zamiast tego poczytać książkę.

Jak substancje psychoaktywne wpływają na funkcjonowanie organizmu?

Substancje psychoaktywne to związki chemiczne, które zmieniają stan świadomości i zachowanie człowieka przez oddziaływanie na jego układ nerwowy. Do substancji psychoaktywnych zalicza się m.in. substancje narkotyczne, dopalacze, alkohol, tytoń i niektóre leki, np. o działaniu uspokajającym lub nasennym.

Uzależnienie i jego skutki

Uzależnienie to psychiczny przymus wykonywania pewnej czynności pomimo jej negatywnych skutków zdrowotnych (np. przymus zażywania szkodliwej substancji). Wykonywanie czynności, od której jest się uzależnionym, wiąże się ze zwiększeniem poziomu **dopaminy** w tzw. układzie nagrody, czyli w tych strukturach w obrębie mózgu, które są odpowiedzialnie m.in. za odczuwanie przyjemności.



Obszary działania dopaminy w mózgu.



Substancje narkotyczne i dopalacze

Substancje narkotyczne (narkotyki) to środki psychoaktywne, których zażywanie jest w danym kraju nielegalne. Narkotyki mogą działać pobudzająco, hamująco lub halucynogennie. Bardzo szybko prowadzą do uzależnienia, co wiąże się ze stałym przymusem przyjmowania coraz większych dawek tych substancji. W efekcie takie zachowanie może doprowadzić do skrajnego wyniszczenia organizmu, a nawet do śmierci.

Dopalacze to środki psychoaktywne, które działają na organizm w podobny sposób jak narkotyki. Ponieważ ich skład często nie jest znany, stosowanie tych środków może mieć tragiczne skutki. Nawet jednorazowe zażycie dopalaczy może skończyć się śmiercią.

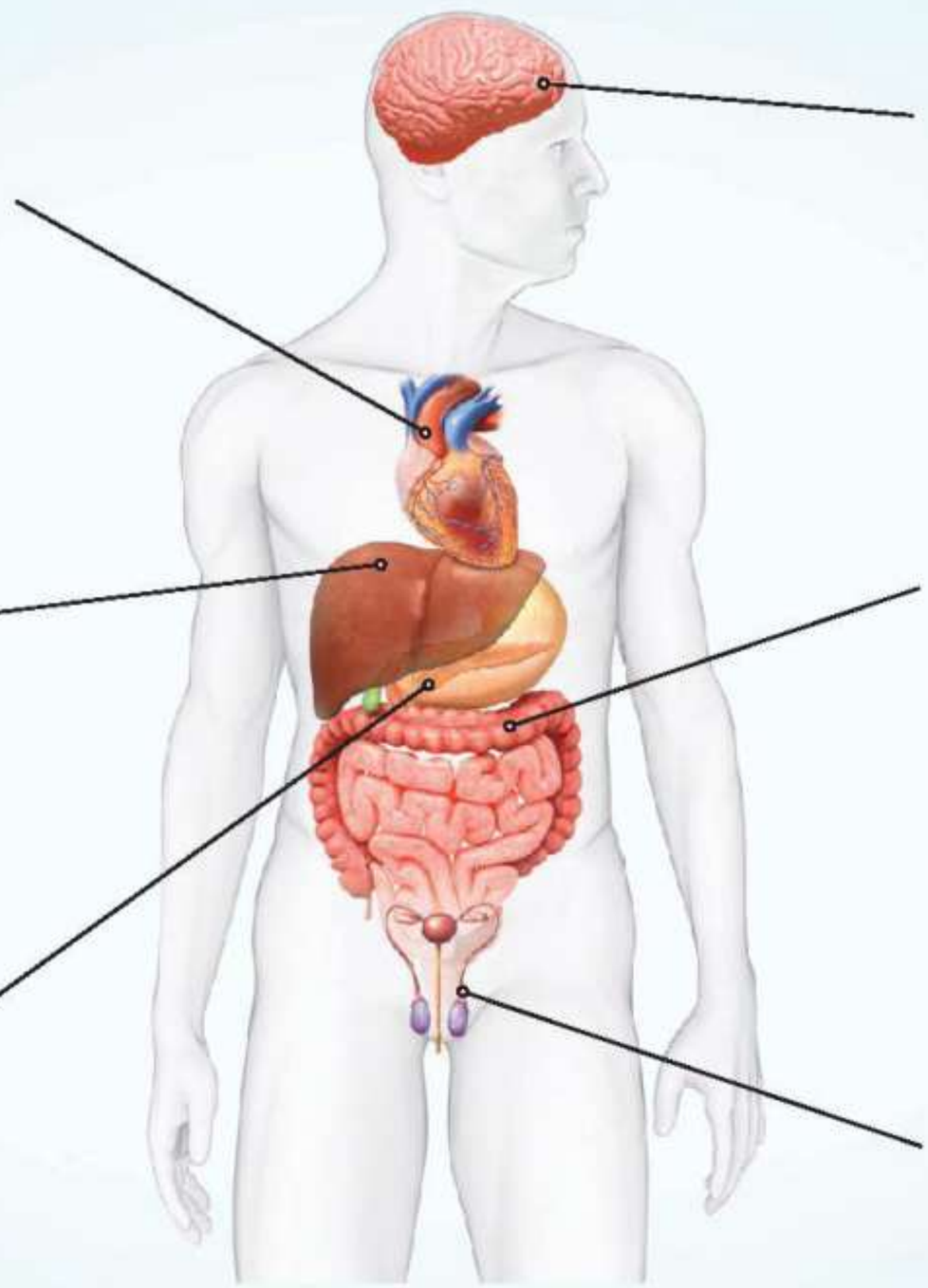
Niektóre substancje narkotyczne są obecne w roślinach, np. kokaina jest wytwarzana z liści krasnodrzewu pospolitego (*Erythroxylum coca*).

Alkohol

Alkohol etylowy (etanol) jest substancją silnie uzależniającą, dlatego częste jego spożywanie może prowadzić do uzależnienia, czyli alkoholizmu. Alkoholizm może dotknąć każdego, niezależnie od wykształcenia i statusu społecznego.

Wpływ alkoholu na organizm człowieka

Układ krążenia: wzrost tętna i ciśnienia krwi, nieregularna praca serca, zaburzenia termoregulacji, wzrost ryzyka zawału serca i udaru mózgu.



Układ nerwowy: zmiany nastroju, utrata koordynacji ruchowej, zaburzenia funkcji intelektualnych i pamięci, w skrajnych przypadkach – utrata przytomności i śmierć.

Układ pokarmowy: podrażnienia błony śluzowej, wzrost ryzyka zachorowania na chorobę wrzodową żołądka i dwunastnicy oraz na raka narządów układu pokarmowego.

Wątroba: zapalenie wątroby, marskość wątroby, rak wątroby.

Trzustka: zniszczenie komórek odpowiedzialnych za wydzielanie enzymów trawiennych i hormonów.

Układ rozrodczy: spadek płodności u mężczyzn, zaburzenia cyklu miesiączkowego u kobiet.

Nikotyna

Nikotyna jest związkiem psychoaktywnym, który działa pobudzająco na układ nerwowy. Występuje w wyrobach tytoniowych oraz płynach stosowanych w e-papierosach. Podczas palenia wyrobów nikotynowych wraz z dymem do organizmu dostaje się też wiele szkodliwych związków, które działają drażniąco, toksycznie lub rakotwórczo.

Leki

Do środków psychoaktywnych należą również niektóre leki, m.in. leki przeciwbólowe, nasenne lub o działaniu uspokajającym i przeciwdepresyjnym. Przyjmowanie tych środków niezgodnie z zaleceniami może prowadzić do uzależnienia, zaburzeń pamięci, upośledzenia funkcji poznawczych, halucynacji i uszkodzenia narządów.



E-papierosy reklamuje się jako mniej szkodliwe niż tradycyjne papierosy, jednak ich długofalowy wpływ na zdrowie nie został jeszcze zbadany.



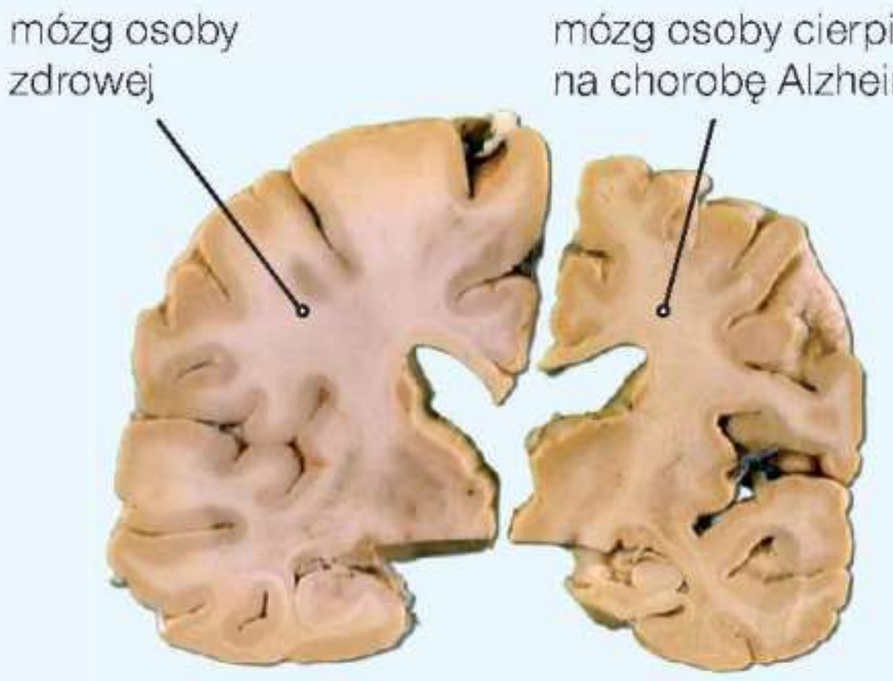
Lekomania to uzależnienie od leków i innych środków farmaceutycznych. Może ono doprowadzić do zatrucia organizmu i śmierci z przedawkowania.

Te choroby warto znać

Choroba Alzheimera

Choroba Alzheimera to choroba neurodegeneracyjna, czyli taka, w której przebiegu następuje śmierć komórek nerwowych. Prowadzi ona do postępującego otępienia. Cierpią na nią głównie osoby po 65. roku życia.

- **Przyczyny:** w przebiegu tej choroby w mózgu powstają nieprawidłowe formy pewnych białek. Tworzą one toksyczne złogi wewnątrz i na zewnątrz neuronów.
- **Profilaktyka:** brak. Stwierdzono jednak, że częsty wysiłek umysłowy, np. granie w gry logiczne lub rozwiązywanie krzyżówek, opóźnia pojawienie się objawów choroby Alzheimera.
- **Objawy:** zaburzenia pamięci, mowy, orientacji w czasie i przestrzeni, częste zmiany nastroju, narastająca niechęć do podejmowania jakiejkolwiek aktywności.



W chorobie Alzheimera następuje zanik kory mózgowej, dlatego mózg osoby chorej ma mniejszą objętość.

Czynniki ryzyka rozwoju choroby Alzheimera:

– starszy wiek (powyżej 65 lat),
– płeć żeńska,
– cukrzyca,
– występowanie w rodzinie choroby Alzheimera.

Diagnostyka:

– obserwacja pacjenta,
– wywiad rodzinny,
– tomografia komputerowa,
– rezonans magnetyczny,
– przesiewowe testy neuropsychologiczne.

Choroba Parkinsona

Choroba Parkinsona to choroba neurodegeneracyjna, która najczęściej dotyka osób powyżej 60. roku życia. Prowadzi do sztywnienia i drżenia mięśni szkieletowych oraz do spowolnienia ruchów, co znacznie obniża jakość życia osoby chorej.

- **Przyczyny:** w przebiegu tej choroby obserwuje się obumieranie komórek nerwowych śródmózgowia odpowiedzialnych za produkcję dopaminy.
- **Profilaktyka:** brak. Uważa się, że do uniknięcia zachorowania może przyczynić się dieta bogata w witaminy E, B_6 i C. Pozytywny wpływ na organizm ma również aktywny tryb życia.



Diagnostyka:

– obserwacja pacjenta,
– tomografia komputerowa,
– rezonans magnetyczny.

Schizofrenia

Schizofrenia to zaburzenie psychiczne, które upośledza funkcjonowanie chorej osoby w społeczeństwie.

- **Przyczyny:** nie są jednoznacznie określone. Na rozwój choroby wpływają czynniki genetyczne oraz czynniki środowiskowe, np. zażywanie narkotyków, dyskryminacja, infekcje czy nadmierne spożywanie alkoholu.
- **Profilaktyka:** brak.
- **Objawy:** najczęściej pojawiają się między 15. a 35. rokiem życia. Należą do nich m.in.: zaburzenia myślenia i przeżywania emocji, niezgodność pomiędzy przeżywaniem, myśleniem a odczuwaniem, omamy (m.in. słuchowe), urojenia, zaniki pamięci.

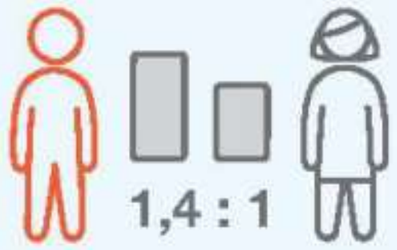
Diagnostyka:
– obserwacja pacjenta (aby zdiagnozować chorobę, objawy muszą utrzymywać się przez minimum miesiąc).

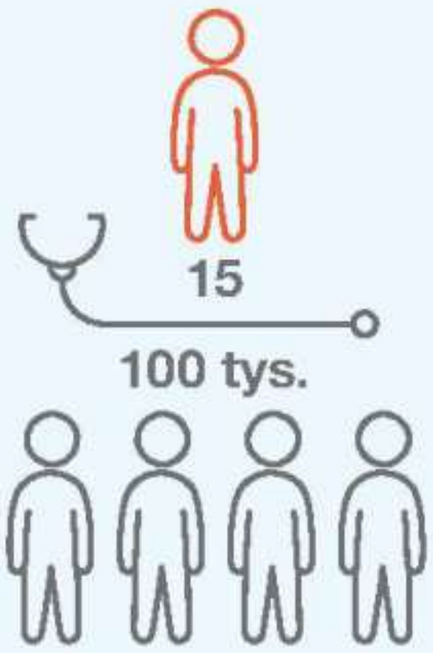
Schizofrenia w liczbach:



Średni wiek w chwili zdiagnozowania choroby wynosi 27 lat.

Mężczyźni chorują częściej niż kobiety.





Co roku schizofrenię diagnozuje się u 15 na 100 tys. osób.

Depresja

Depresja jest jednym z najczęściej występujących zaburzeń psychicznych.

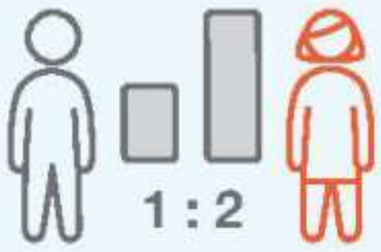
- **Przyczyny:** m.in.: czynniki genetyczne, obniżenie poziomu neuroprzekaźników (głównie noradrenaliny i serotoniny), występowanie chorób przewlekłych, uzależnienia, trudne i stresujące wydarzenia życiowe, samotność.
- **Profilaktyka:** powinna obejmować m.in.: bliskie i autentyczne relacje z innymi, dbanie o zdrowy sen i aktywność fizyczną, konsultacje psychiatryczne i psychologiczne.
- **Objawy:** m.in.: obniżony nastrój (zwłaszcza rano), lęk, utrata zainteresowań i zdolności do okazywania radości, wzmożona męczliwość, zmniejszenie aktywności, osłabienie koncentracji uwagi, niska samoocena, poczucie winy, pesymizm, myśli i próby samobójcze, zaburzenia snu i odżywiania się.

Depresja w liczbach:





Na depresję choruje ponad 350 mln ludzi na świecie, w tym 1,5 mln w Polsce.



Depresja jest dwukrotnie częściej diagnozowana u kobiet niż u mężczyzn.

Diagnostyka:
– obserwacja pacjenta (aby zdiagnozować chorobę, objawy muszą utrzymywać się przez minimum dwa tygodnie).

Diagnostyka psychologiczna i psychiatryczna

Diagnostyka osób z zaburzeniami i chorobami psychicznymi polega na szczegółowym wywiadzie **psychologa** lub **psychiatry**. Niezwykle ważne jest szybkie zgłoszenie się po pomoc – im wcześniej choroba zostanie zdiagnozowana, tym większa szansa na jej wyleczenie.

Kryzys psychiczny

Kryzys psychiczny (zwany potocznie załamaniem nerwowym) to bardzo silna reakcja człowieka na trudną sytuację życiową. Kryzys może być wywołany przez śmierć kogoś bliskiego, rozwód rodziców, doświadczenie przemocy, problemy rodzinne lub kłopoty w szkole. Każda osoba dotknięta kryzysem psychicznym przeżywa go w inny sposób, jednak najczęściej występującymi objawami są:

- rozdrażnienie, złość,
- uczucie pustki, smutek,
- bezsilność, bezradność, apatia,
- zmniejszona zdolność koncentracji,
- problemy ze snem,
- bóle całego ciała,
- zachowania autodestrukcyjne.

W przypadku zaobserwowania u siebie lub u osób z bliskiego otoczenia powyższych objawów należy jak najszybciej zwrócić się o pomoc do specjalisty. Nieleczony kryzys może być początkiem poważnych problemów psychicznych, w tym depresji. W skrajnych sytuacjach może doprowadzić dotkniętą nim osobę do prób samobójczych, a w konsekwencji – do śmierci.

Czy wiesz, że...

Jeśli zmagasz się z trudną sytuacją życiową i nie wiesz, jak sobie z nią poradzić, to możesz skorzystać z bezpłatnej pomocy, która jest przeznaczona dla osób przeżywających kryzys psychiczny (np. liniawsparcia.pl).

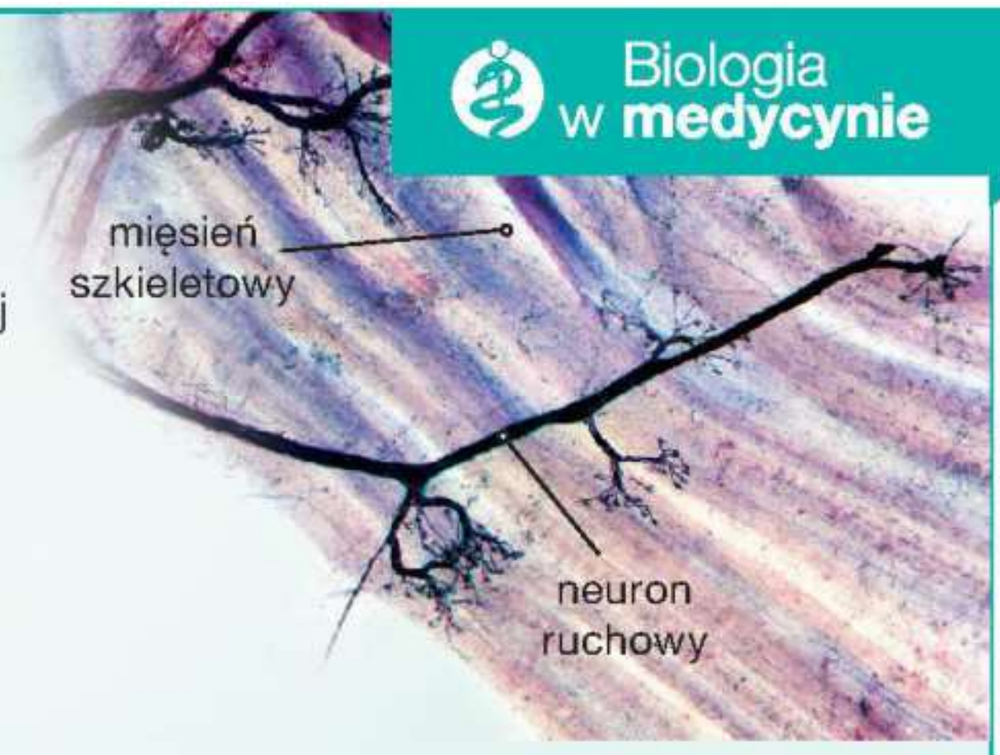
Diagnostyka chorób układu nerwowego

W przypadku chorób wynikających z procesów uszkadzających układ nerwowy pacjent zostaje skierowany do **neurologa**, który zleca odpowiedni zestaw badań diagnostycznych. Do podstawowych metod diagnostyki układu nerwowego należą: elektroencefalografia, tomografia komputerowa i rezonans magnetyczny.

Metody diagnostyki chorób układu nerwowego		
elektroencefalografia (EEG)	**tomografia komputerowa (TK)**	**rezonans magnetyczny (MRI)**
Metoda ta służy badaniu czynności bioelektrycznej mózgu. Na głowie pacjenta umieszczane są elektrody, które rejestrują zmiany potencjału elektrycznego, wynikające z aktywności neuronów kory mózgowej.	Jest to metoda wykorzystująca promieniowanie rentgenowskie, które pozwala uzyskać obrazy wnętrza organizmu. W diagnostyce neurologicznej najczęściej wykonuje się tomografię komputerową głowy.	Metoda ta, podobnie jak tomografia komputerowa, służy do uzyskania obrazów wnętrza organizmu. Nie wykorzystuje się w niej jednak szkodliwego promieniowania rentgenowskiego, ale silne pole magnetyczne.
		

Biologia w **medycynie**

Leczenie rdzeniowego zaniku mięśni terapią genową

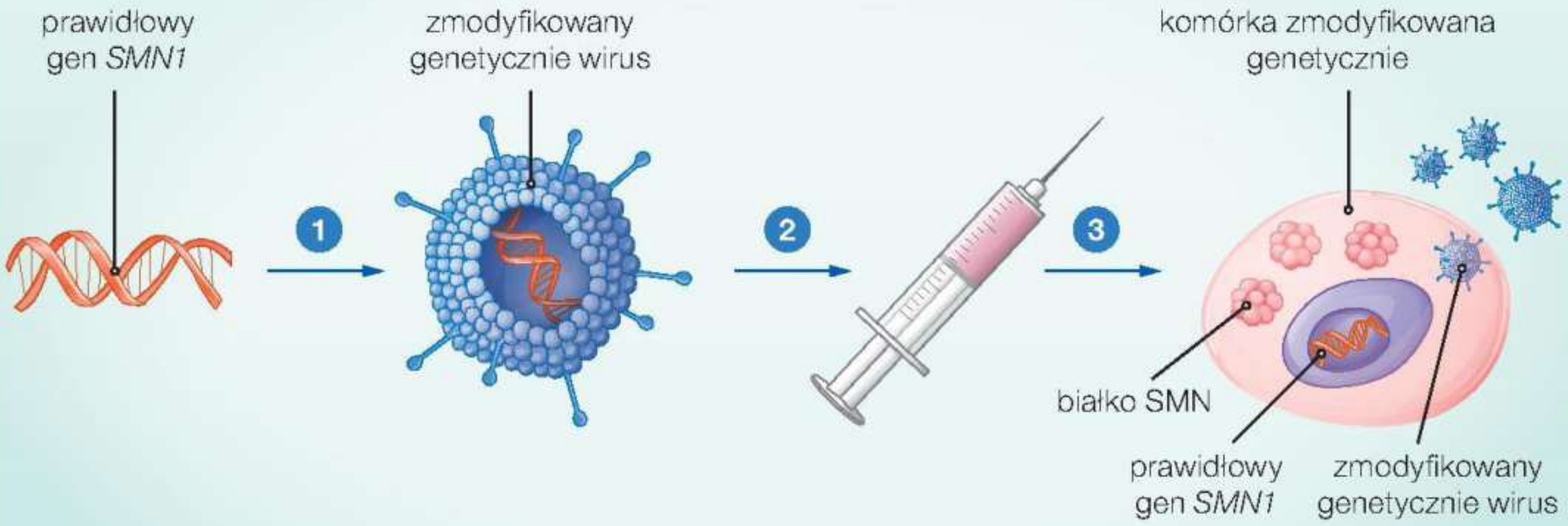


Rdzeniowy zanik mięśni (SMA) to choroba genetyczna, której przyczyną jest mutacja w genie *SMN1*. Mutacja uniemożliwia produkcję białka SMN, które jest niezbędne do właściwego funkcjonowania neuronów rdzeniowych, odpowiedzialnych za ruch mięśni szkieletowych. Niedobór ten prowadzi do obumierania neuronów, a w konsekwencji – do braku pobudzania mięśni ze strony układu nerwowego. W ten sposób dochodzi do stopniowego zaniku mięśni szkieletowych, co może prowadzić do śmierci.

dwa zmutowane allele genu *SMN1* → niedobór białka SMN → obumieranie neuronów → obumieranie mięśni szkieletowych

Terapia genowa rdzeniowego zaniku mięśni

Terapia genowa jest nowoczesną metodą leczenia chorób genetycznych. U osób chorych na rdzeniowy zanik mięśni polega ona na wprowadzeniu do komórek prawidłowo funkcjonującej wersji uszkodzonego genu *SMN1* za pośrednictwem zmodyfikowanego genetycznie wirusa. Dzięki temu komórki pacjenta mogą produkować białko SMN, a neurony – normalnie funkcjonować. Wcześnie zastosowana terapia genowa w połączeniu z fizjoterapią pozwalają chorym na powrót do zdrowia.



1. Wstawienie prawidłowego genu *SMN1* do genomu wirusa.
2. Wprowadzenie zmodyfikowanego genetycznie wirusa do organizmu chorego.
3. Wprowadzenie prawidłowego genu *SMN1* do jądra komórkowego za pośrednictwem wirusa. Dzięki temu w komórce może zachodzić produkcja białka SMN.

Polecenia kontrolne

1. Opisz znaczenie snu dla zdrowia człowieka.
2. Wyjaśnij mechanizm powstawania uzależnień.
3. Porównaj przebieg choroby Parkinsona z przebiegiem choroby Alzheimera.
4. Zaproponuj działania, które można podjąć, aby pomóc osobie zmagającej się z depresją.

Podsumowanie

1 **Funkcje układu nerwowego to:**

- odbieranie i analizowanie bodźców pochodzących ze środowiska zewnętrznego i z wnętrza ciała,
- reagowanie na bodźce,
- regulowanie i koordynowanie pracy innych układów narządów,
- sterowanie wyższymi czynnościami nerwowymi, takimi jak pamięć, inteligencja i emocje.

2 **Podział układu nerwowego**

Układ nerwowy			
podział anatomiczny		podział funkcjonalny	
ośrodkowy układ nerwowy	obwodowy układ nerwowy	somatyczny układ nerwowy	autonomiczny układ nerwowy
• mózgowie i rdzeń kręgowy • odbiera i analizuje bodźce, decyduje o reakcji organizmu	• nerwy czaszkowe i nerwy rdzeniowe • pośredniczy w przewodzeniu sygnałów pomiędzy układem ośrodkowym a receptorami i efektorami	• odbiera bodźce spoza organizmu • odpowiada za świadome czynności organizmu	• odbiera bodźce z wnętrza organizmu • odpowiada za czynności niezależne od woli

3 **Neurony** – komórki nerwowe, których zadaniem jest przekazywanie informacji w postaci sygnału elektrycznego.

Rodzaje neuronów

neurony czuciowe	neurony ruchowe	neurony pośredniczące
• przewodzą impulsy nerwowe od receptorów (np. receptora dotyku w skórze) do ośrodkowego układu nerwowego	• przewodzą impulsy nerwowe z ośrodkowego układu nerwowego do odpowiednich narządów, np. mięśni	• przewodzą impulsy nerwowe pomiędzy neuronami czuciowymi a neuronami ruchowymi

4 **Mechanizm powstawania impulsu nerwowego**

Stan spoczynku błony neuronu	→	Depolaryzacja błony neuronu i wytworzenie impulsu nerwowego	→	Repolaryzacja błony
Błona neuronu jest spolaryzowana: wewnętrzna powierzchnia błony jest naładowana ujemnie, a zewnętrzna – dodatnio. W wyniku działania pompy sodowo-potasowej występuje wysokie stężenie jonów sodu po zewnętrznej stronie błony neuronu, a jonów potasu – po wewnętrznej stronie błony.		Pod wpływem bodźca kanały sodowe w błonie neuronu otwierają się, co powoduje, że jony sodu przemieszczają się do wnętrza neuronu. Następuje chwilowe odwrócenie ładunków po obu stronach błony, czyli depolaryzacja.		Kanały sodowe zamykają się, a otwierają się kanały potasowe, co powoduje, że jony potasu przepływają na zewnątrz neuronu. Pompa sodowo-potasowa przywraca pierwotny układ jonów potasu i sodu po obu stronach błony neuronu – błona wraca do stanu polaryzacji.

5 Budowa i rodzaje synaps

Synapsy – połączenia między zakończeniem aksonu jednego neuronu a dendrytem kolejnego neuronu albo między zakończeniem aksonu a błoną komórki gruczołowej lub komórki mięśniowej.

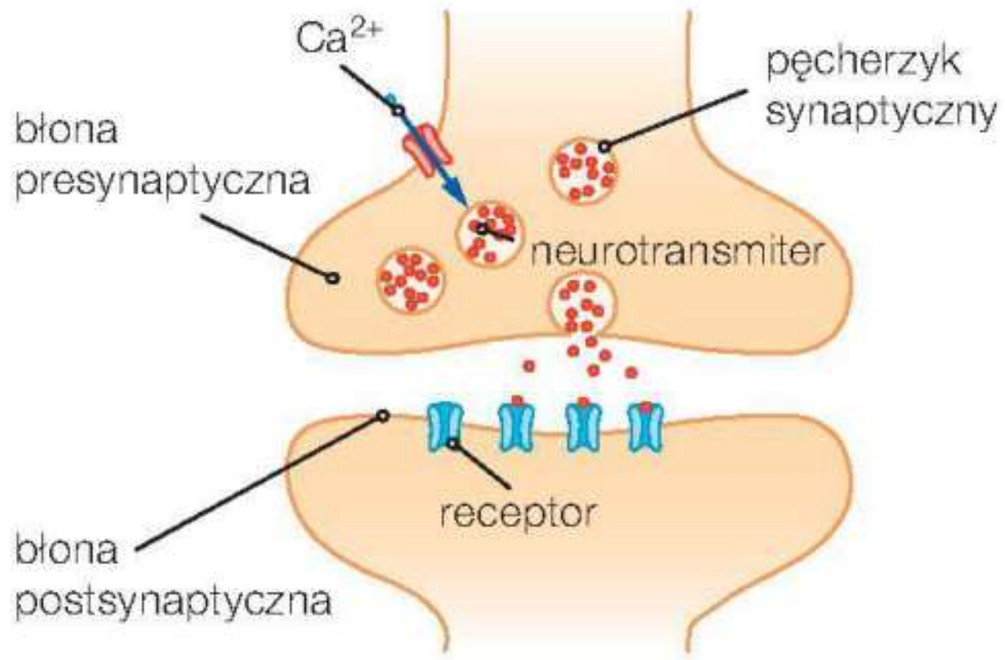
Rodzaje synaps

synapsy chemiczne

- Między komórkami występuje szczelina, przez którą impuls nerwowy jest przekazywany za pomocą substancji chemicznej, tzw. neuroprzekaźnika. W przekazywaniu impulsu nerwowego występuje opóźnienie.

synapsy elektryczne

- Komórki stykają się tak ściśle, że impuls elektryczny jest przekazywany bezpośrednio z jednej komórki do drugiej. Impuls jest przekazywany szybko i bez opóźnień.



6 Neuroprzekaźniki

Neuroprzekaźniki – związki chemiczne, które przekazują informacje w synapsach chemicznych. Wyróżnia się **neuroprzekaźniki pobudzające** (m.in. serotonina, dopamina, adrenalina) oraz **neuroprzekaźniki hamujące** (np. GABA).

7 Budowa i funkcje mózgowia

Część mózgowia	Funkcje
Mózg	Odpowiada za integrację i przetwarzanie informacji, zarządzanie pracą poszczególnych części ciała oraz wyższe czynności układu nerwowego, takie jak zapamiętywanie, analizowanie informacji czy uczenie się.
Pień mózgu	Odpowiada za podstawowe funkcje życiowe człowieka, takie jak: oddychanie, praca serca, regulacja ciśnienia krwi i temperatury ciała.
Móżdżek	Uczestniczy w koordynacji ruchowej organizmu.

8 Rdzeń kręgowy

Do głównych funkcji **rdzenia kręgowego** należy:

- kontrola reakcji odruchowych zachodzących bez udziału woli, np. kontrola napięcia mięśni czy odruch kolanowy,
- zapewnienie komunikacji między mózgowiem a obwodowym układem nerwowym.

9 Odruchy

Odruchy – reakcje organizmu, które zachodzą z udziałem obwodowego układu nerwowego i ośrodkowego układu nerwowego, lecz bez udziału świadomości.

Rodzaje odruchów

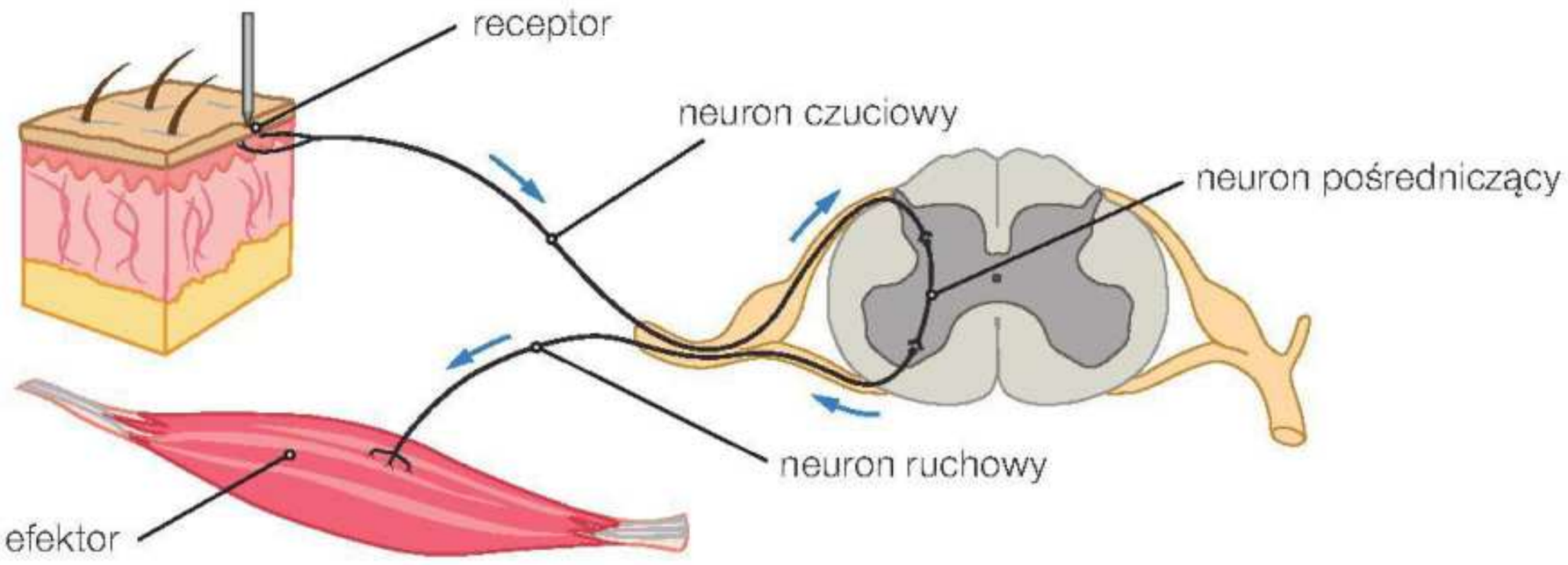
odruchy bezwarunkowe

- wrodzone
- takie same u wszystkich osobników gatunku
- nie uczestniczy w nich kora mózgowa
- nie podlegają modyfikacjom pod wpływem działania środowiska lub woli

odruchy warunkowe

- nabyte
- indywidualne dla każdego osobnika
- uczestniczy w nich kora mózgowa
- mogą podlegać modyfikacjom pod wpływem działania środowiska lub woli

10 Elementy łuku odruchowego



11 Podział i funkcje autonomicznego układu nerwowego

Autonomiczny układ nerwowy

współczulny	przywspółczulny
• koordynuje pracę narządów w sytuacji stresowej	• koordynuje pracę narządów w stanie relaksacji

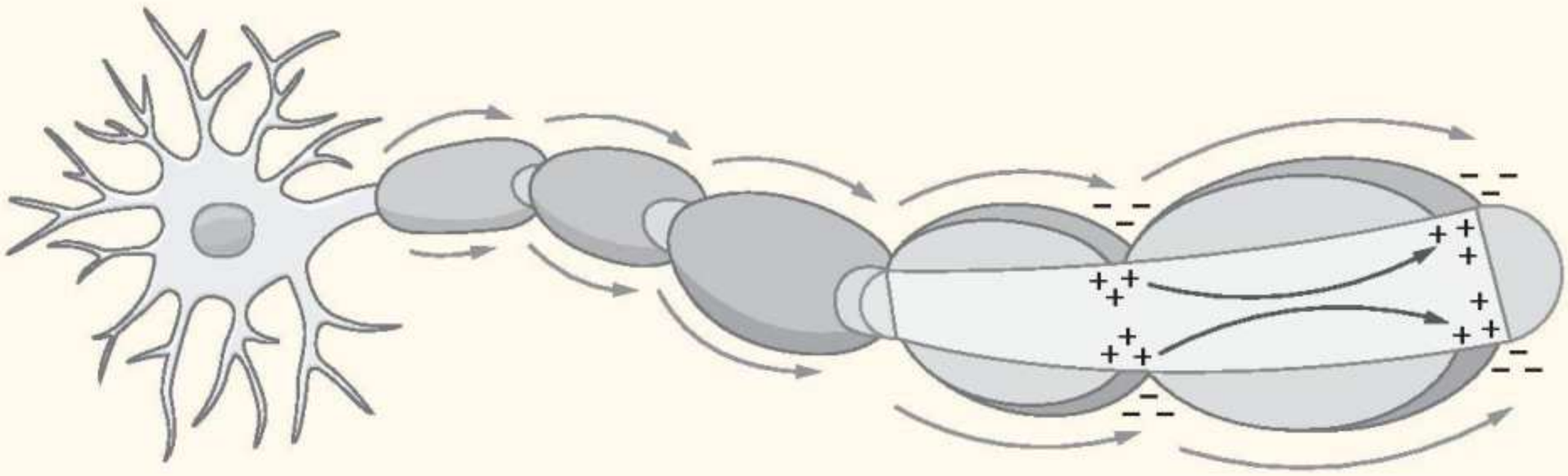
12 Choroby układu nerwowego

Nazwa	Główne objawy	Przyczyny	Profilaktyka
Choroba Alzheimera	Zaburzenia pamięci, mowy, orientacji w czasie i przestrzeni.	W przebiegu tej choroby w mózgu powstają nieprawidłowe formy pewnych białek. Tworzą one toksyczne złogi wewnątrz i na zewnątrz neuronów.	Brak. Przypuszcza się, że aktywność intelektualna opóźnia objawy choroby.
Choroba Parkinsona	Utrata zdolności precyzyjnego wykonywania ruchów w związku ze sztywnością mięśni, z drżeniem kończyn, a także ze spowolnieniem ruchowym.	Przyczyną choroby Parkinsona jest obumieranie komórek nerwowych mózgu odpowiedzialnych za produkcję dopaminy.	Brak. Uważa się, że do uniknięcia zachorowania może przyczynić się dieta bogata w witaminy E, B_6, C.
Schizofrenia	Zaburzenia myślenia i przeżywania emocji, niezgodność pomiędzy przeżywaniem, myśleniem a odczuwaniem, omamy, urojenia, zaniki pamięci.	Przyczyny tej choroby nie są do końca znane. Do jej rozwoju przyczyniają się czynniki: biologiczne (przebyte infekcje, udary mózgu), genetyczne, społeczne i środowiskowe.	Brak.
Depresja	Obniżony nastrój, utrata zainteresowań i zdolności do okazywania radości, wzmożona męczliwość, osłabienie koncentracji uwagi, niska samoocena, poczucie winy, myśli i próby samobójcze.	Uwarunkowania genetyczne, zaburzenia przekazywania informacji w mózgu, występowanie przewlekłych chorób, uzależnienia, trudne i stresujące wydarzenia życiowe, samotność.	Dbanie o relacje z innymi, zdrowy sen i aktywność fizyczna, w razie potrzeby – konsultacje psychiatryczne i psychologiczne.

Sposób na zadania

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Schemat przedstawia skokowe przewodzenie impulsu nerwowego we włóknie mielinowym.



Na podstawie: N.A. Campbell i in., *Biologia*, Poznań 2013, s. 1056.

a) Wyjaśnij, w jaki sposób dochodzi do utworzenia dodatniego ładunku po wewnętrznej powierzchni błony neuronu podczas depolaryzacji.

b) Oceń prawdziwość stwierdzenia: „Impuls nerwowy jest przekazywany szybciej przez włókna mielinowe niż przez włókna bezmielinowe". Odpowiedź uzasadnij.

c) Podaj nazwę pierwiastka, którego aniony biorą udział w przewodzeniu impulsu nerwowego.

Wskazówki

Podpunkt a)

1. Przypomnij sobie, na czym polega mechanizm przewodzenia impulsu nerwowego. Informacje na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 326–327.
2. Zwróć szczególną uwagę na procesy prowadzące do depolaryzacji oraz na kierunek transportu poszczególnych jonów przez błonę neuronu.
3. Sformułuj odpowiedź.

Podpunkt b)

1. Przypomnij sobie, w jaki sposób jest przewodzony impuls nerwowy we włóknach mielinowych. Przeanalizuj ten proces na podstawie dołączonego schematu.
2. Zastanów się, czym różni się przewodzenie impulsu nerwowego przez włókna mielinowe od przewodzenia impulsu nerwowego przez włókna bezmielinowe. Informację na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 330. Zwróć szczególną uwagę na szybkość przemieszczania się impulsu przez oba rodzaje włókien.
3. Sformułuj odpowiedź na podstawie zgromadzonych informacji.

Podpunkt c)

1. Odszukaj informację na temat jonów biorących udział w przewodzeniu impulsów nerwowych. Znajdziesz ją w podręczniku na s. 326–327.
2. Zwróć szczególną uwagę na aniony, czyli jony mające ładunek ujemny.
3. Sformułuj odpowiedź.

Zadania powtórzeniowe

WYKONAJ W ZESZYCIE

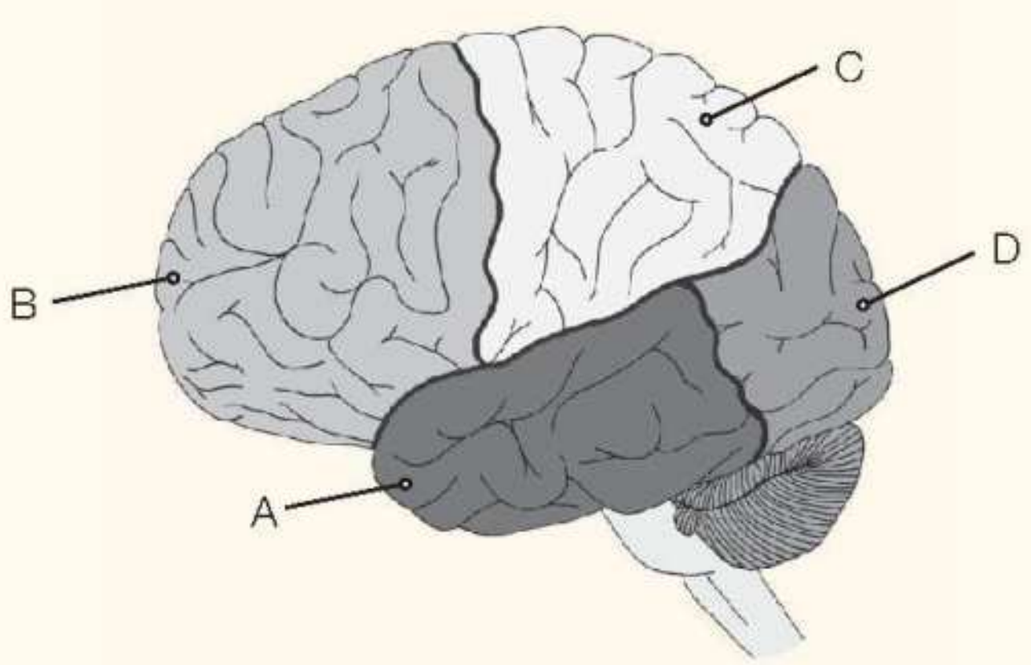
1 Między zakończeniem aksonu jednego neuronu a dendrytem kolejnego neuronu lub między zakończeniem neuronu a inną komórką, np. komórką mięśniową, występują wyspecjalizowane połączenia umożliwiające przekazywanie impulsów nerwowych, zwane synapsami. W organizmie człowieka wyróżnia się dwa rodzaje takich połączeń: synapsy chemiczne, w których pobudzenie przekazywane jest za pomocą neuroprzekaźników, oraz synapsy elektryczne.

a) Określ, który rodzaj synaps – synapsy chemiczne czy elektryczne – występuje na styku neuronów ruchowych i włókien mięśniowych. Odpowiedź uzasadnij.

b) Uzupełnij poniższe zdania tak, aby zawierały prawdziwe informacje dotyczące neuroprzekaźników. Wybierz właściwe określenia spośród podanych.

1. Neuroprzekaźnikiem, który wycisza sygnał i nie wywołuje impulsu elektrycznego w następnym neuronie, jest *GABA / serotonina / dopamina / adrenalina*.
2. Niedobór *GABA / serotoniny / dopaminy / adrenaliny* prowadzi do wystąpienia choroby Parkinsona.
3. *GABA / Serotonina / Dopamina / Adrenalina* reguluje apetyt.

2 Schemat przedstawia budowę półkuli mózgu, którą podzielono na cztery płaty (A–D). W każdym z płatów są zlokalizowane ośrodki korowe, które pełnią wyspecjalizowane funkcje.



a) Podaj nazwy oraz oznaczenia płatów półkuli mózgu (A–D), w których znajdują się ośrodki pełniące wymienione funkcje związane z mową (1–3).

1. Rozpoznawanie słyszanych słów.
2. Wypowiadanie słów.
3. Czytanie wyrazów.

b) Dokończ zdanie. Wybierz odpowiedź A lub B oraz jej uzupełnienie 1–3.

Korę mózgu tworzy

A.	istota biała,	która jest zbudowana z	1.	komórek nerwowych.
B.	istota szara,		2.	ciał komórek nerwowych.
			3.	dendrytów i aksonów.

c) Wybierz zdanie, które zawiera prawdziwą informację na temat kory mózgu.

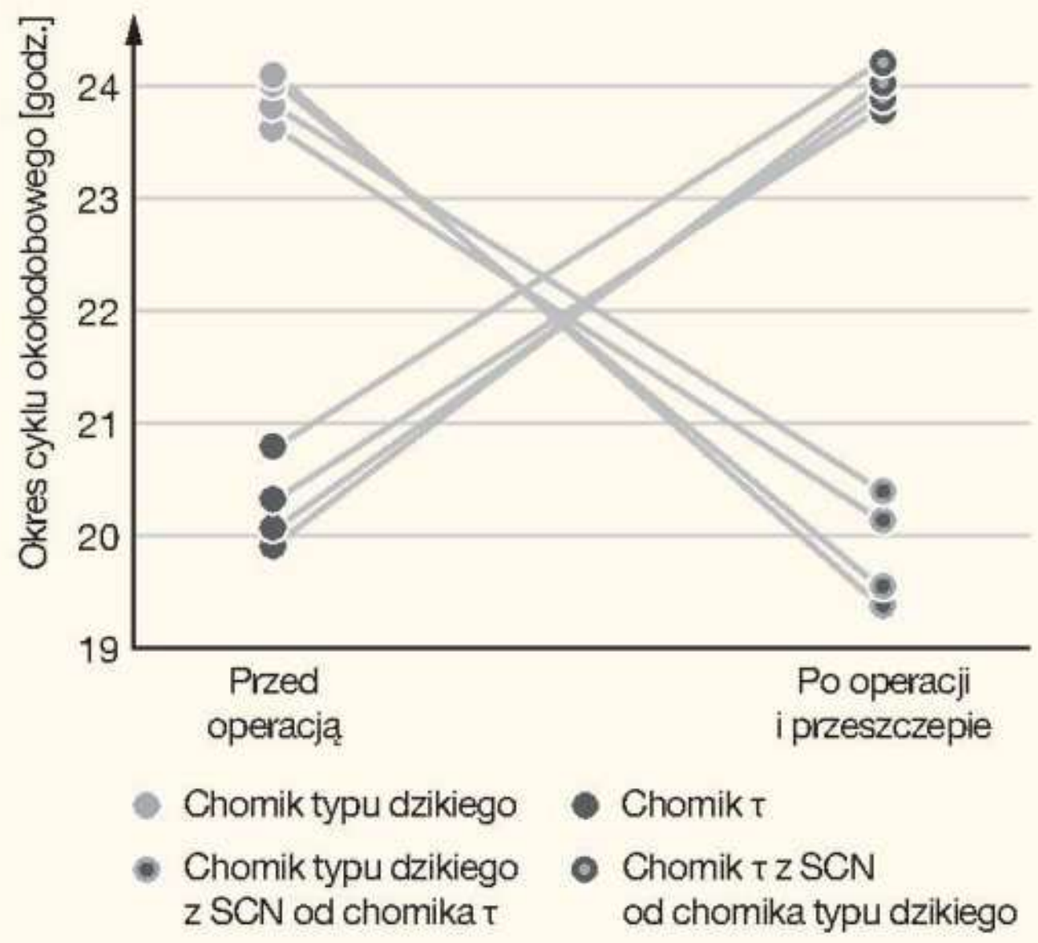
A. Pokrywa półkule kresomózgowia.

B. Występuje tylko u ssaków.

C. Uczestniczy w produkcji hormonów.

D. Pofałdowanie jej powierzchni występuje tylko u człowiekowatych.

3 Wykres przedstawia wyniki doświadczenia przeprowadzonego na dwóch grupach chomików – chomikach typu dzikiego, których cykl okołodobowy trwa 24 godz., oraz chomikach τ (tau), u których wystąpiła mutacja zmieniająca cykl okołodobowy na cykl trwający tylko ok. 20 godz. Chomikom z obu grup usunięto chirurgicznie jądro nadskrzyżowaniowe (SCN), które znajduje się w podwzgórzu. Kilka tygodni później każdemu chomikowi transplantowano jądro nadskrzyżowaniowe (SCN) pochodzące od chomika przeciwnego typu.



Na podstawie: N.A. Campbell i in., *Biologia*, Poznań 2013, s. 1073.

a) Sformułuj problem badawczy do przedstawionego doświadczenia.

b) Oceń, czy na podstawie wyników doświadczenia można sformułować wnioski podane w tabeli. Zaznacz T, jeśli wniosek wynika z doświadczenia, albo N – jeśli z niego nie wynika.

1.	Chomiki typu dzikiego, bez względu na przeprowadzone procedury, mają 24-godzinny cykl okołodobowy.	T	N
2.	Jądro nadskrzyżowaniowe bierze udział w regulacji cyklu okołodobowego.	T	N
3.	Chomiki pozbawione jądra nadskrzyżowaniowego zachowują dobową rytmiczną aktywność.	T	N

c) Podaj nazwę części mózgowia ssaków, w której znajduje się podwzgórze.

d) Wyjaśnij, w jaki sposób rytm okołodobowy wpływa na aktywność autonomicznego układu nerwowego. W odpowiedzi odwołaj się do obu części współtworzących ten układ.

4 Ze względu na pełnione funkcje układ nerwowy dzieli się na układy: somatyczny (SUN) i autonomiczny (AUN). Układy te współpracują ze sobą w utrzymaniu homeostazy.

a) Wyjaśnij, w jaki sposób współpraca somatycznego układu nerwowego i autonomicznego układu nerwowego pozwala na utrzymanie stałej temperatury ciała w sytuacji spadku temperatury otoczenia.

b) Do podanych poniżej nazw części autonomicznego układu nerwowego (A–B) dopasuj właściwe reakcje układu pokarmowego człowieka, warunkowane przez pobudzenie odpowiedniej części AUN (1–4).

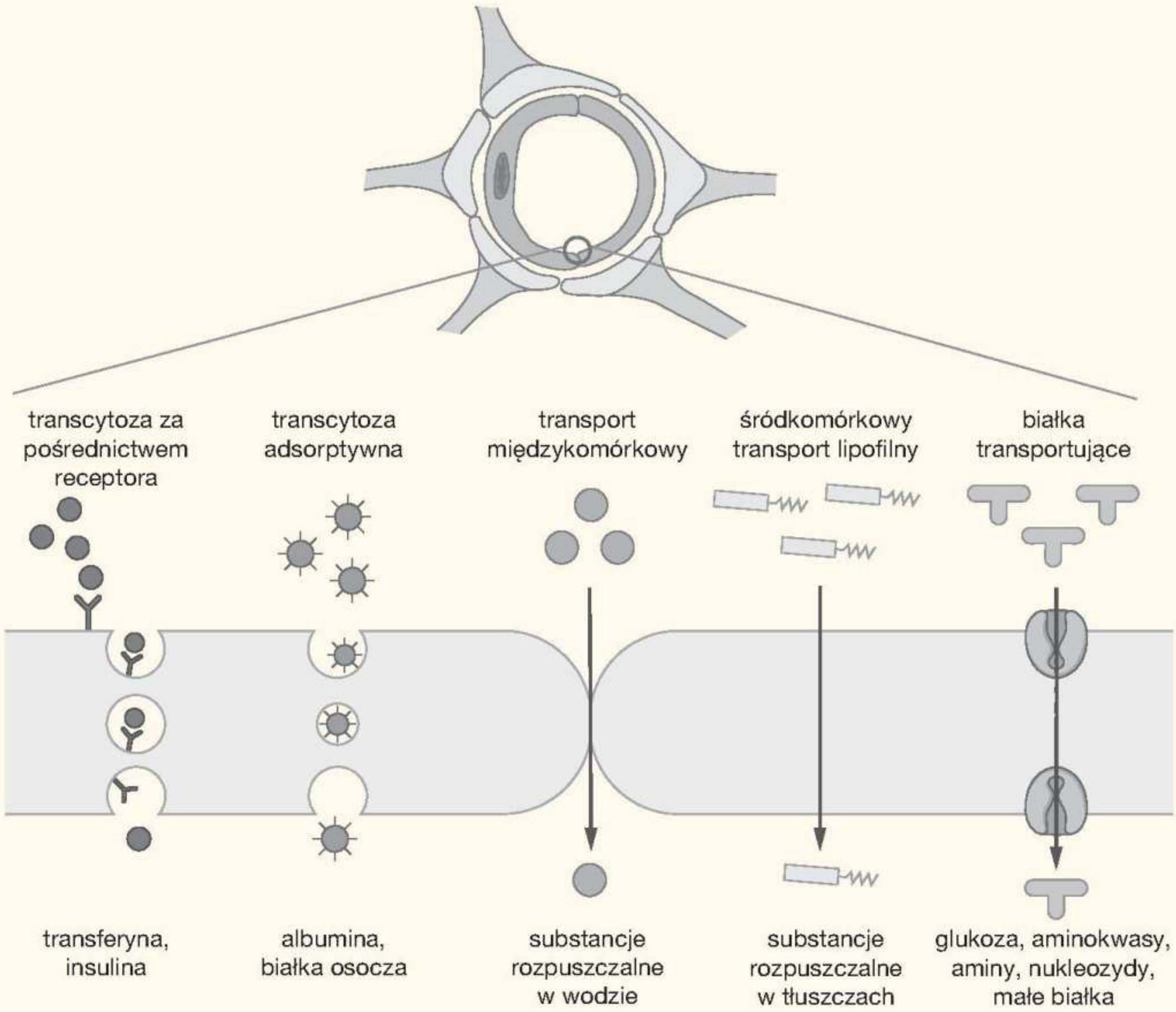
Uwaga: obu częściom autonomicznego układu nerwowego może być przyporządkowana więcej niż jedna reakcja układu pokarmowego człowieka.

A. Część przywspółczulna AUN.

B. Część współczulna AUN.

1. Pobudzanie wydzielania soku żołądkowego.
2. Pobudzanie uwalniania glukozy z wątroby.
3. Hamowanie perystaltyki jelit.
4. Pobudzanie wydzielania insuliny.

5 Schemat przedstawia budowę i rodzaje transportu przez barierę krew–mózg. Barierę tę tworzą ściśle połączone ze sobą komórki śródbłonka naczyń krwionośnych, komórki okołonaczyniowe, zwane perycytami, oraz astrocyty.



Na podstawie: K. Brzezińska, M. Ziaja, *Struktura i funkcje bariery krew–mózg*, „Postępy Biologii Komórki" 2012, 39 (1), s. 84–99.

a) Wyjaśnij znaczenie bariery krew–mózg dla prawidłowego funkcjonowania układu nerwowego.

b) Określ rolę astrocytów w procesie transportu niezbędnych substancji do neuronów.

c) Wyjaśnij, dlaczego do przenoszenia substancji rozpuszczalnych w tłuszczach jest wykorzystywany transport śródkomórkowy, a nie – międzykomórkowy.

d) Oceń, czy poniższe stwierdzenia dotyczące transportu przez barierę krew–mózg są prawdziwe. Zaznacz P, jeśli stwierdzenie jest prawdziwe, albo F – jeśli jest fałszywe.

1.	Transcytoza w komórkach śródbłonka jest transportem aktywnym.	P	F
2.	Transcytoza powoduje zmiany w strukturze błony komórkowej, ponieważ oddzielanie się pęcherzyków transportujących wpływa na ubytek błony, a zlewanie się pęcherzyków – na wzrost jej powierzchni.	P	F
3.	Glukoza i aminokwasy są transportowane przez barierę krew–mózg wyłącznie zgodnie z gradientem stężeń.	P	F

9. Narządy zmysłów

9.1. Narządy zmysłów u zwierząt
9.2. Budowa i działanie narządu wzroku
9.3. Ucho – narząd słuchu i równowagi
9.4. Narządy smaku oraz węchu

Fot. Komórki słuchowe (mikrofotografia elektronowa).

9.1. Narządy zmysłów u zwierząt

Zwróć uwagę na:
- podział receptorów ze względu na rodzaj odbieranego bodźca,
- budowę narządów zmysłów.

Do odbioru bodźców w układzie nerwowym służą receptory, do których należą wolne zakończenia nerwowe lub wyspecjalizowane komórki zmysłowe. Receptory mogą być rozproszone w ciele albo skupione w narządach zmysłów.

Kryteria podziału receptorów

Ze względu na miejsce pochodzenia bodźca receptory dzieli się na:

- **eksteroreceptory**, które odbierają bodźce pochodzące ze środowiska zewnętrznego, np. fotoreceptory w oku pochłaniają światło o określonej długości fali,
- **interoreceptory**, które odbierają bodźce pochodzące z wnętrza organizmu, np. baroreceptory w ścianach naczyń krwionośnych reagują na zmianę ciśnienia krwi przepływającej tymi naczyniami.

Narządy zmysłów u zwierząt

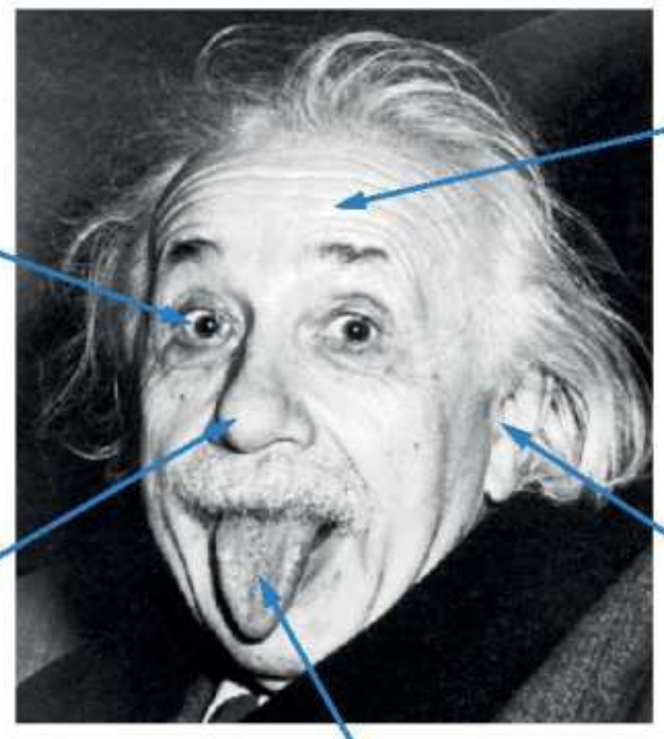
Narządy zmysłów są zbudowane z komórek receptorowych, którym towarzyszą zazwyczaj inne komórki ułatwiające odbiór bodźca. Do podstawowych rodzajów zmysłów należą: dotyk, wzrok, słuch, równowaga, węch oraz smak. U poszczególnych gatunków zwierząt są

Podział receptorów ze względu na rodzaj odbieranego bodźca

Rodzaj receptorów	Charakterystyka
Mechanoreceptory 	• odbierają bodźce mechaniczne, np. ucisk, dotyk, rozciąganie • są zlokalizowane przede wszystkim w powłokach ciała, narządach słuchu i równowagi oraz w naczyniach krwionośnych (baroreceptory reagujące na zmiany ciśnienia krwi)
Chemoreceptory 	• odbierają bodźce chemiczne, m.in. smakowe i węchowe • znajdują się głównie w powłokach ciała, narządach jamy gębowej, narządach węchu i ścianach naczyń krwionośnych (osmoreceptory reagujące na zmiany ciśnienia osmotycznego płynów ustrojowych)
Termoreceptory 	• odbierają zmiany temperatury • znajdują się zwykle w powłokach ciała oraz narządach wewnętrznych
Nocyreceptory 	• odbierają bodźce bólowe • znajdują się w różnych narządach ciała i umożliwiają reakcje na bodźce uszkadzające tkanki – mogą to być np. bodźce mechaniczne, chemiczne, termiczne czy elektryczne
Fotoreceptory 	• odbierają bodźce świetlne, np. zmiany barwy i natężenia światła • mieszczą się zwykle w narządach wzroku – oczkach i oczach
Elektroreceptory 	• odbierają zmiany natężenia i kierunku pola elektrycznego • są zlokalizowane w powłokach ciała

Narządy zmysłów

Narządy zmysłów to struktury, w których występują receptory wyspecjalizowane w odbieraniu określonych rodzajów bodźców. Na przykład w ciele człowieka znajduje się pięć głównych narządów zmysłów: oko, ucho, nos, kubki smakowe oraz skóra.



Oko

Oko jest narządem wzroku. Umożliwia rozróżnianie barw i widzenie obiektów znajdujących się w różnych odległościach.

Skóra

Skóra to narząd dotyku. Znajdują się w niej także receptory: bólu, zimna i ciepła.

Nos

Nos – a dokładnie nabłonek węchowy w nosie – jest narządem węchu. Reaguje na substancje lotne rozpuszczone w śluzie błony śluzowej nosa.

Kubki smakowe

Kubki smakowe są narządem smaku. Znajdują się głównie w brodawkach języka.

Ucho

Ucho jest narządem słuchu oraz narządem równowagi. Umożliwia odbiór fal dźwiękowych i ocenę położenia ciała.

one rozwinięte w różnym stopniu. Zmysł, który odgrywa główną rolę, określa się mianem dominującego. Na przykład u ptaków, w związku z ich przystosowaniem do lotu, zmysłem dominującym jest zwykle wzrok, a u większości ssaków – bardzo przydatny na lądzie słuch. Wyjątek stanowią ssaki naczelne, dla których najważniejszym zmysłem jest wzrok. U niektórych zwierząt, np. u ryb chrzęstnoszkieletowych, istnieje dodatkowy zmysł elektryczny.

Zmysł dotyku

Narządami zmysłu dotyku są **mechanoreceptory** rozmieszczone w powłoce ciała, które odbierają bodźce bezpośrednie: dotyk, ucisk, rozciąganie oraz wibracje. Mechanoreceptorami mogą być zarówno komórki zmysłowe, jak i wolne zakończenia włókien nerwowych.

Receptory dotyku występują m.in. na czułkach, głaszczkach i wąsach pierścienic oraz na czułkach stawonogów i ślimaków. U kręgowców receptory dotyku są rozmieszczone w skórze. Narządem zmysłu dotyku jest również **linia boczna** ryb, larw płazów oraz niektórych dorosłych płazów. Składa się ona z receptorów umiejscowionych tuż pod powierzchnią skóry. Receptory są ułożone w jednej linii w kanalikach biegnących wzdłuż całego ciała i rozgałęziających się po obu stronach głowy. Dzięki linii bocznej ryby i płazy odczuwają ruchy wody wywoływane przez inne zwierzęta lub przez fale odbijające się od przeszkód.



Receptory dotyku są szczególnie liczne u wieloszczetów. Występują m.in. na wąsach parapodialnych oraz narządach głowowych, np. czułkach i głaszczkach.

Zmysł wzroku

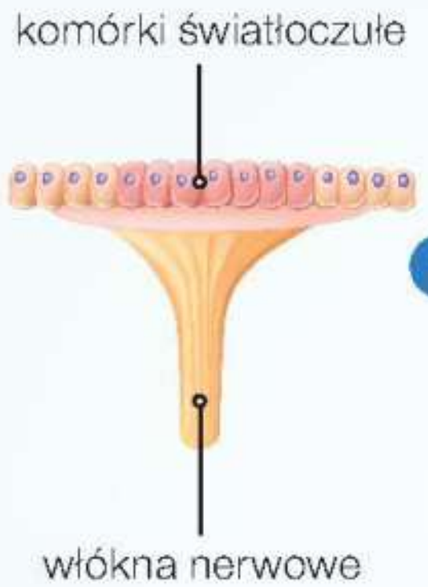
Narządami wzroku są **oczy**. Składają się one z fotoreceptorów, które odbierają bodźce świetlne, a następnie przetwarzają je na impulsy nerwowe. U wielu zwierząt w procesie tym uczestniczy barwnik – **rodopsyna** – który rozkłada się pod wpływem światła, co powoduje powstanie impulsu nerwowego.

U większości zwierząt występują **oczy proste**. Spośród nich najmniej zaawansowane ewolucyjnie są **skupiska komórek światłoczułych**, które pozwalają odróżnić światło od ciemności. Występują one np. u skąposzczetów. Bardziej złożone są **oczy kubkowe** m.in. wirków, umożliwiające określenie kierunku padającego światła. Z kolei głowonogi oraz kręgowce mają skomplikowane **oczy pęcherzykowe**, które pozwalają na uzyskanie ostrego obrazu oraz precyzyjne rozróżnianie kształtów i kolorów. Oczy pęcherzykowe bezkręgowców i kręgowców rozwinęły się niezależnie od siebie, są więc **narządami analogicznymi**. U bezkręgowców powstają one przede wszystkim z komórek nabłonkowych, natomiast u kręgowców – głównie z komórek mózgowia.

Oczy złożone, zwane również oczami fasetkowymi, występują u większości stawonogów (wijów, owadów i części skorupiaków). Są one zbudowane z dużej liczby ommatidiów (fasetek), czyli jednakowych, ciasno upakowanych elementów. Każdy z nich zawiera fotoreceptory, komórki barwnikowe oraz soczewkę skupiającą światło. Oczy złożone wytwarzają **obraz mozaikowy**, będący sumą obrazów powstałych w poszczególnych ommatidiach. Jakość otrzymanego obrazu zależy od liczby ommatidiów. Oczy złożone odróżniają zmiany natężenia światła oraz pozwalają na rozpoznawanie kształtów. Mają również zdolność rozróżniania kolorów.

Ewolucja oka prostego

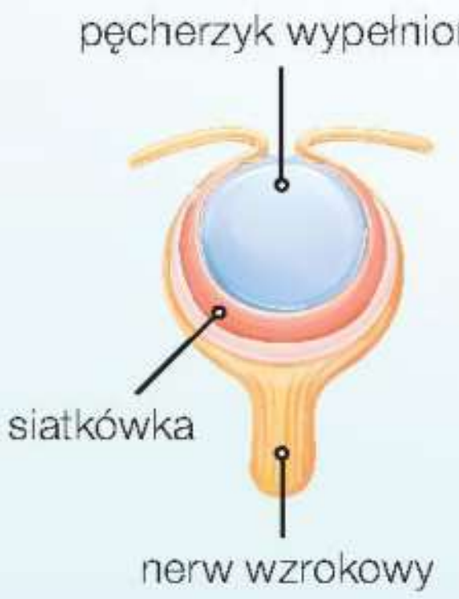
U zwierząt rozwój oka zachodził wraz z rozwojem ogólnej budowy ciała. Na stopień komplikacji tego narządu miały również wpływ warunki środowiska oraz prowadzony tryb życia (np. u wielu drapieżników oczy są lepiej rozwinięte niż u roślinożerców lub pasożytów należących do tej samej grupy systematycznej).



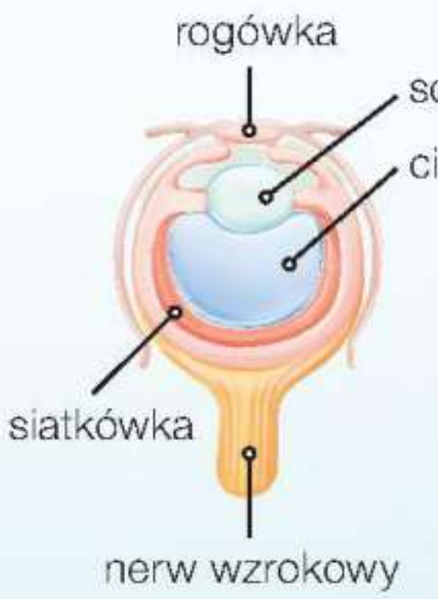
1 **Skupisko komórek światłoczułych** znajdujące się na zewnętrznej powłoce ciała ma stosunkowo niewielką powierzchnię wzrokową.



2 **Oko kubkowe** składa się z fotoreceptorów leżących w zagłębieniu powłoki ciała. Ma ono większą powierzchnię wzrokową niż skupisko komórek światłoczułych.



3 **W oku pęcherzykowym** fotoreceptory zajmują znacznie większą powierzchnię niż w oku kubkowym, co zwiększa ostrość obrazu.



4 **W oku pęcherzykowym z soczewką** ostre widzenie jest możliwe niezależnie od odległości od oglądanego obiektu (akomodacja).

Zmysły słuchu i równowagi

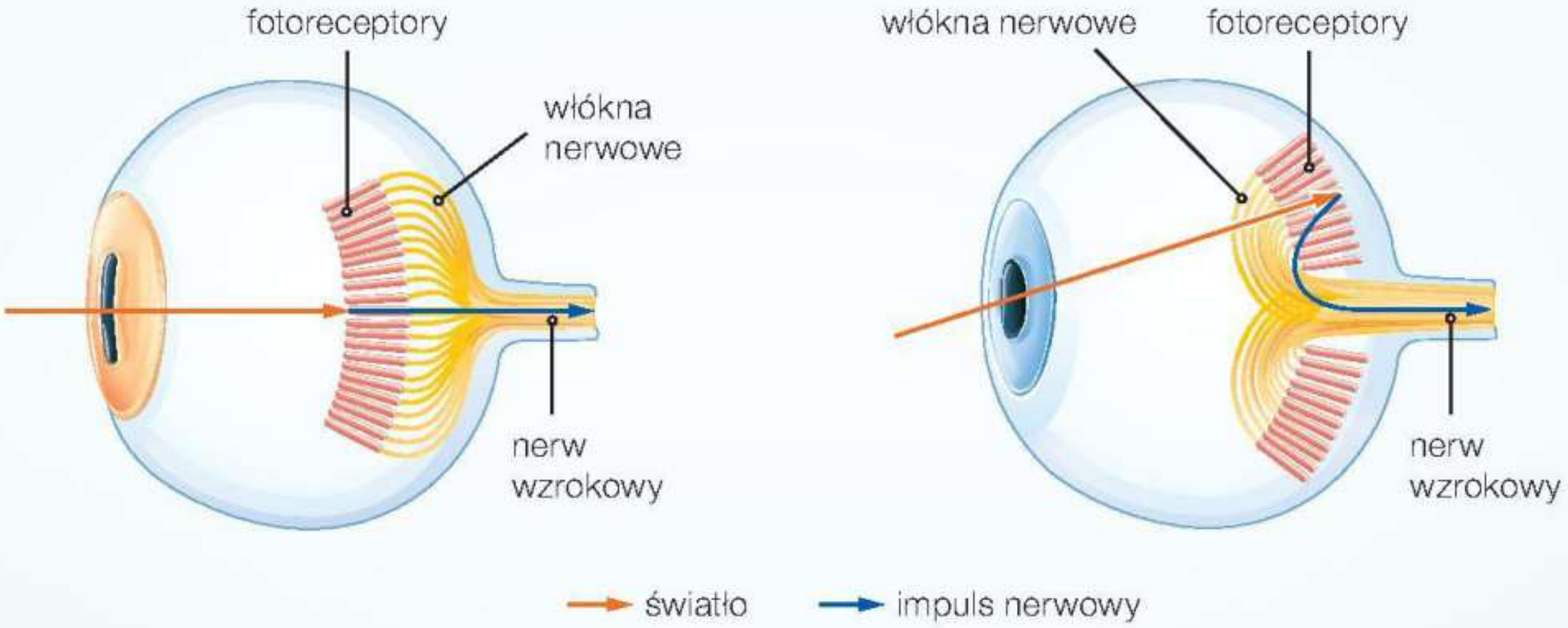
U większości zwierząt występują narządy słuchu i równowagi, w których funkcjonowaniu główną rolę odgrywają mechanoreceptory. U bezkręgowców **mechanoreceptory** mieszczą się w **statocystach**, a u kręgowców – w **uchu wewnętrznym**.

Działanie narządu słuchu polega na odbieraniu i analizowaniu drgań powietrza lub wody. Do rejestrowania dźwięków zdolne są owady wyposażone w **narządy tympanalne** oraz większość kręgowców, u których funkcję słuchową pełni **narząd spiralny** mieszczący się w uchu wewnętrznym. U ryb ważną rolę w odbiorze dźwięków odgrywa też **pęcherz pławny** wzmacniający bodźce dźwiękowe. Kręgowce lądowe są wyposażone w dodatkowe elementy zwiększające czułość słuchu. Płazy, gady i ptaki mają błonę bębenkową, a także jedną kosteczkę słuchową (strzemiączko, kolumienkę). U ssaków pojawiają się dodatkowe kosteczki słuchowe – młoteczek i kowadełko – a także ucho zewnętrzne. Zakres odbieranych fal dźwiękowych jest różny u różnych grup zwierząt, np. nietoperze odbierają ultradźwięki niesłyszalne dla większości ssaków.

Narządy równowagi informują o położeniu organizmu w przestrzeni. U bezkręgowców funkcję tę pełnią statocysty, czyli pęcherzyki zbudowane z orzęsionego nabłonka, w którym występują mineralne kryształy – **statolity**. Na podobnej zasadzie działa **błędnik błoniasty** kręgowców. Tworzą go zwykle trzy kanały półkoliste, a także przedsionek składający się z komórek rzęsatych oraz mineralnych kryształów – **otolitów**. Zmiana położenia ciała wywołuje ruch płynu wypełniającego kanały oraz przesunięcie otolitów i nacisk na inne partie rzęsek. To powoduje powstanie impulsu nerwowego, który przesyła informację do mózgowia.

Oczy pęcherzykowe u bezkręgowców i kręgowców

Oczy pęcherzykowe bezkręgowców (głównie głowonogów) i kręgowców powstały w toku ewolucji niezależnie od siebie. W rozwoju zarodkowym bezkręgowców narządy te rozwijają się w wyniku wpuklania się powierzchni ciała, natomiast w rozwoju zarodkowym kręgowców tworzą się z pęcherzyków ocznych, które są uwypukleniami międzymózgowia. W budowie obu rodzajów oczu można wyróżnić podobne elementy, m.in. źrenicę, soczewkę, ciało szkliste i siatkówkę.

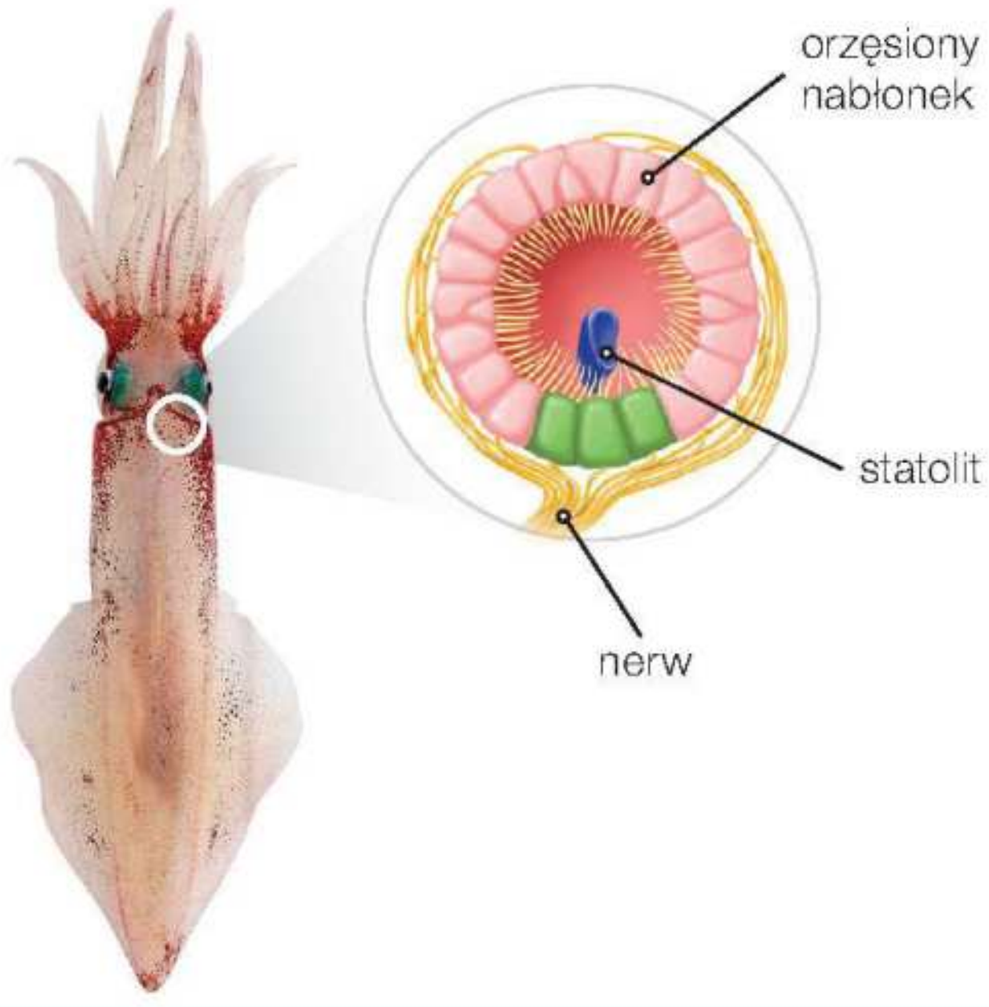


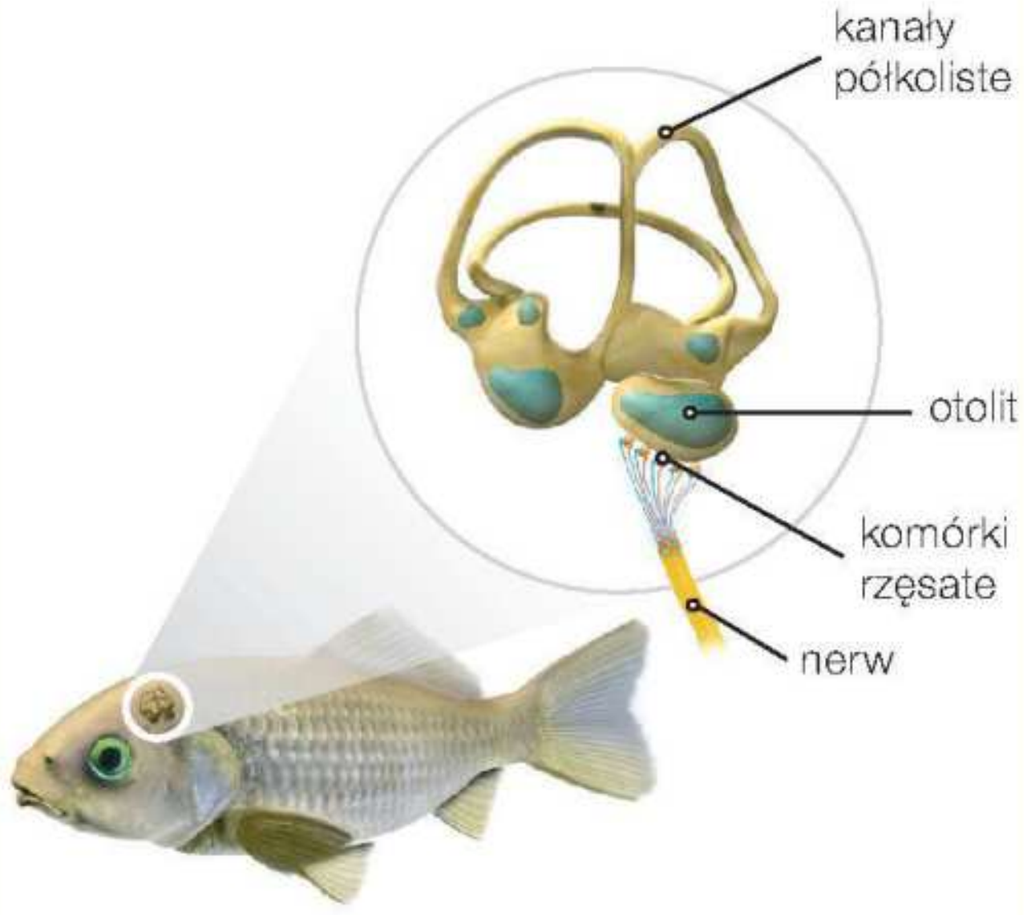
U głowonogów włókna nerwowe znajdują się pod warstwą fotoreceptorów i zbiegają się wprost w nerw wzrokowy.

U kręgowców włókna nerwowe znajdują się nad warstwą fotoreceptorów. Dlatego najpierw skręcają w stronę mózgu, a dopiero później zbiegają się w nerw wzrokowy.

Oko pęcherzykowe kręgowców jest mniej doskonałe od oka głowonogów, ponieważ zanim światło trafi do receptorów, musi przejść przez kilka warstw komórek. Dłuższa i bardziej skomplikowana jest także droga impulsu nerwowego.

Narządy równowagi	
bezkręgowce	**kręgowce**
Zwykle statocysty, czyli pęcherzyki wyścielane orzęsionym nabłonkiem, które zawierają mineralne kryształy – statolity.	Błędnik błoniasty, zbudowany z przedsionka i kanałów półkolistych, w których znajdują się komórki rzęsate oraz mineralne kryształy – otolity.



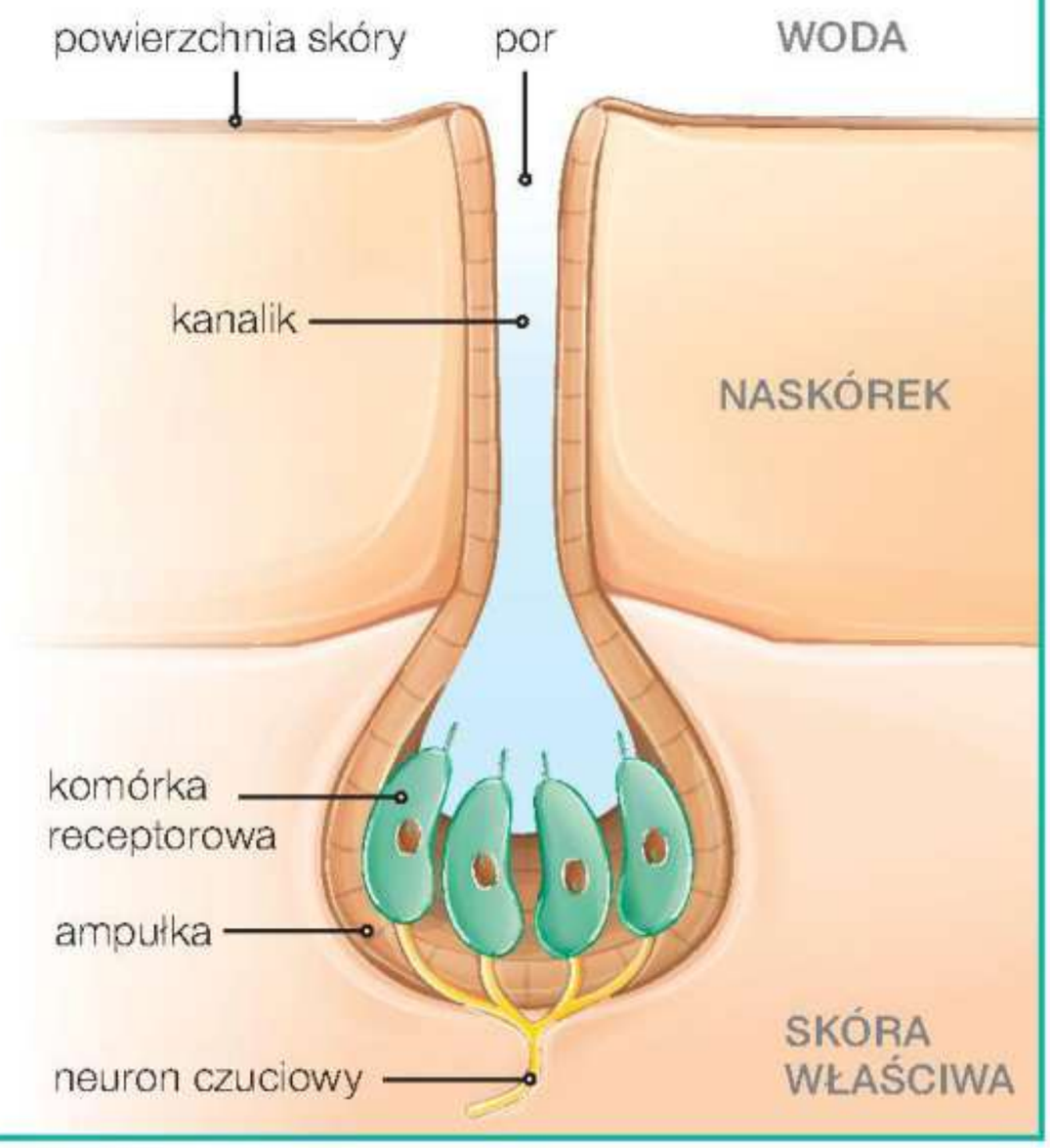


Dowiedz się więcej

Zmysł elektryczny

Zdolność do odbioru i rozpoznawania zaburzeń pola elektrycznego nosi nazwę elektrorecepcji. Wykształciło ją wiele ryb, w tym również takie, które same nie mają narządów elektrycznych. Elektrorecepcja pozwala na wykrywanie potencjałów elektrycznych wytwarzanych przez inne zwierzęta, które stanowią np. pokarm lub zagrożenie.

Do elektroreceptorów należą m.in. receptory ampułkowate, zwane również ampułkami Lorenziniego [wym. lorenciniego]. Występują one w skórze morskich ryb spodoustych (rekinów oraz płaszczek) i reagują na zmiany pola elektrycznego. Receptory ampułkowate mają kształt kanalików, które z jednej strony otwierają się porami do środowiska zewnętrznego, a z drugiej – są zakończone ampułkami. Kanaliki wypełnia galaretowata substancja o dużym przewodnictwie elektrycznym. Z kolei w ampułkach znajdują się komórki receptorowe, od których odchodzą neurony czuciowe, przesyłające sygnały do ośrodkowego układu nerwowego.



Zmysły węchu i smaku

Chemoreceptory występują u wszystkich zwierząt i reagują na substancje chemiczne obecne w środowisku. W zależności od gatunku zwierzęcia chemoreceptory mogą być rozproszone w ciele lub zlokalizowane w narządach zmysłów węchu oraz smaku. U zwierząt wodnych występują wyłącznie narządy węchu, natomiast u większości zwierząt lądowych – zarówno narządy węchu, jak i narządy smaku.

- U bezkręgowców chemoreceptory znajdują się często na całym ciele, przy czym najliczniej występują w okolicy otworu gębowego oraz na czułkach.
- U kręgowców wodnych chemoreceptory (narządy węchu) są zwykle zlokalizowane na grzbietowej stronie głowy. Mogą mieć postać dołków wyścielanych komórkami węchowymi.
- U kręgowców lądowych narządy węchu mieszczą się w jamie nosowej, a narządy smaku – głównie na języku i w powłoce wyścielającej jamę gębową.



Zwierzęta o wyjątkowo czułym węchu, np. psy i pszczoły, pomagają ludziom w wykrywaniu niebezpiecznych substancji, m.in. materiałów wybuchowych.

Chemorecepcja u owadów

Najbardziej czułym węchem cechują się owady – ich receptory węchu potrafią wykryć pojedyncze cząsteczki związków chemicznych. Owady mają również dobrze rozwinięte receptory smaku, np. pszczoły rozróżniają smaki: gorzki, słodki i słony.





Na czułkach znajdują się receptory smaku oraz płytki porowate, które odbierają wrażenia węchowe.

płytki porowate



nasada języka

U nasady języka znajdują się receptory smaku.



przylgi

Na przylgach pierwszej pary odnóży krocznych występują receptory smaku.

Polecenia kontrolne

1. Wymień rodzaje receptorów ze względu na rodzaj odbieranego bodźca.
2. Omów kolejne stadia ewolucji oka prostego u zwierząt.
3. Wyjaśnij, dlaczego większość narządów zmysłów u zwierząt znajduje się w przednim odcinku ciała.

9.2. Budowa i działanie narządu wzroku

Zwróć uwagę na:
- budowę i działanie oka,
- podstawowe zasady higieny wzroku.

Narządem wzroku człowieka jest oko. Umożliwia ono widzenie przedmiotów znajdujących się w różnych odległościach, a także rozróżnianie barw. Oko składa się z gałki ocznej, nerwu wzrokowego oraz narządów dodatkowych: aparatu ochronnego gałki ocznej i aparatu ruchowego. Gałka oczna leży w kostnym oczodole wyścielanym tkanką tłuszczową.

Budowa gałki ocznej

Gałka oczna jest wypełniona galaretowatym płynem, zwanym **ciałem szklistym**. Ścianę gałki ocznej tworzą trzy błony:
- zewnętrzna błona włóknista,
- środkowa błona naczyniowa,
- wewnętrzna błona światłoczuła – siatkówka.

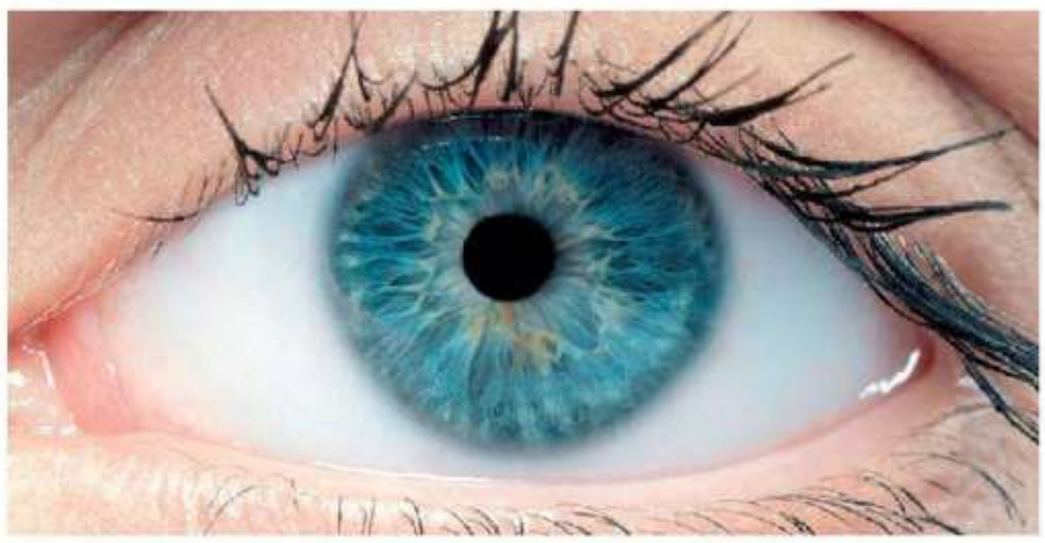
Błona włóknista

Błona włóknista w tylnej części gałki ocznej jest nieprzezroczysta i nosi nazwę **twardówki**. Jej barwa zmienia się z wiekiem – u dzieci jest biało-niebieskawa, a u osób starszych przyjmuje odcień żółtawy. W przedniej części gałki ocznej błona włóknista jest cieńsza, przezroczysta i bardziej wypukła. Ten obszar nosi nazwę **rogówki**.

Błona naczyniowa

Błona naczyniowa składa się z trzech elementów: naczyniówki, ciała rzęskowego i tęczówki. **Naczyniówka** zawdzięcza swoją nazwę dobrze rozbudowanej sieci włosowatych naczyń krwionośnych. Zawiera ciemny barwnik pochłaniający światło, co zapobiega odbiciom światła wewnątrz gałki ocznej. Środkowa część błony naczyniowej – **ciało rzęskowe** – otacza gałkę oczną na kształt pierścienia. Jego najważniejszą częścią jest mięsień rzęskowy, który powoduje zmianę kształtu **soczewki** – przezroczystej, dwuwypukłej struktury załamującej promienie świetlne. Zmiana kształtu soczewki umożliwia akomodację oka, czyli zdolność skupiania obrazu na siatkówce, co pozwala na ostre widzenie obiektów bez względu na ich odległość od oka.

Tęczówka, dobrze widoczna w przedniej części gałki ocznej, przyjmuje różne zabarwienie, które jest uzależnione od ilości barwnika – **melaniny** – występującego w jej komórkach. W centralnej części tęczówki znajduje się otwór zwany **źrenicą**. Jego średnica może się zmieniać w zależności od natężenia światła, co umożliwia adaptację oka do widzenia przy różnym oświetleniu.



Tęczówka zawiera dwa mięśnie, które działają antagonistycznie. Jeden z nich rozszerza źrenicę, a drugi ją zwęża. Dzięki temu zachodzi regulacja dopływu światła do wnętrza gałki ocznej.

Siatkówka

Siatkówka jest światłoczułą błoną, zbudowaną m.in. z dwóch rodzajów komórek receptorowych: pręcików i czopków. **Pręciki** są niewrażliwe na barwę, odpowiadają za postrzeganie

kształtu i ruchu obiektów, dobrze funkcjonują w półmroku. Znacznie więcej pręcików znajduje się w peryferyjnej części siatkówki, dlatego w warunkach słabego oświetlenia lepiej widoczne są obiekty umieszczone z boku. W jednym oku znajduje się blisko 120 mln pręcików. **Czopki** są mniej liczne (w jednym oku jest ich ok. 7 mln). Są wrażliwe na barwę, umożliwiają dostrzeganie szczegółów obrazu, funkcjonują najlepiej przy intensywnym oświetleniu. Część siatkówki zawierającą największe skupienie czopków nazywa się **plamką**. Leży ona na środku siatkówki i sprawia, że barwne obrazy umieszczone naprzeciwko obserwatora są przez niego widziane bardzo wyraźnie.

W siatkówce znajduje się także początek nerwu wzrokowego, zwany **tarczą nerwu wzrokowego**. Nie zawiera on komórek receptorowych, dlatego nie odbiera bodźców świetlnych.



Nerwy wzrokowe (obraz rezonansu magnetycznego) przekazują informację do mózgowia. Nerwy te, podobnie jak mózgowie, są otoczone oponami.

Budowa oka

Tęczówka zawiera komórki barwnikowe oraz mięśnie gładkie. Skurcz tych mięśni zwęża źrenicę, co zapobiega wnikaniu do oka nadmiernej ilości światła i umożliwia widzenie przy różnym oświetleniu.

Źrenica to otwór w centralnej części tęczówki, przepuszczający światło w głąb oka.

Rogówka to przezroczysta błona, która skupia światło oraz chroni przednią część gałki ocznej.

Komory oka to przestrzenie wypełnione płynem wodnistym, który uczestniczy w regulacji ciśnienia wewnątrzgałkowego.

Soczewka jest przezroczystą, dwuwypukłą strukturą załamującą promienie świetlne. Odpowiada za zdolność ostrego widzenia.

Ciało rzęskowe zawiera mięsień rzęskowy, który zmienia kształt soczewki

Naczyniówka zawiera sieć włosowatych naczyń krwionośnych. Jej funkcją jest odżywianie gałki ocznej.

Twardówka to mocna, włóknista błona, która chroni gałkę oczną przed urazami.

Plamka to miejsce o największej ostrości widzenia.

Tarcza nerwu wzrokowego jest początkiem nerwu wzrokowego.

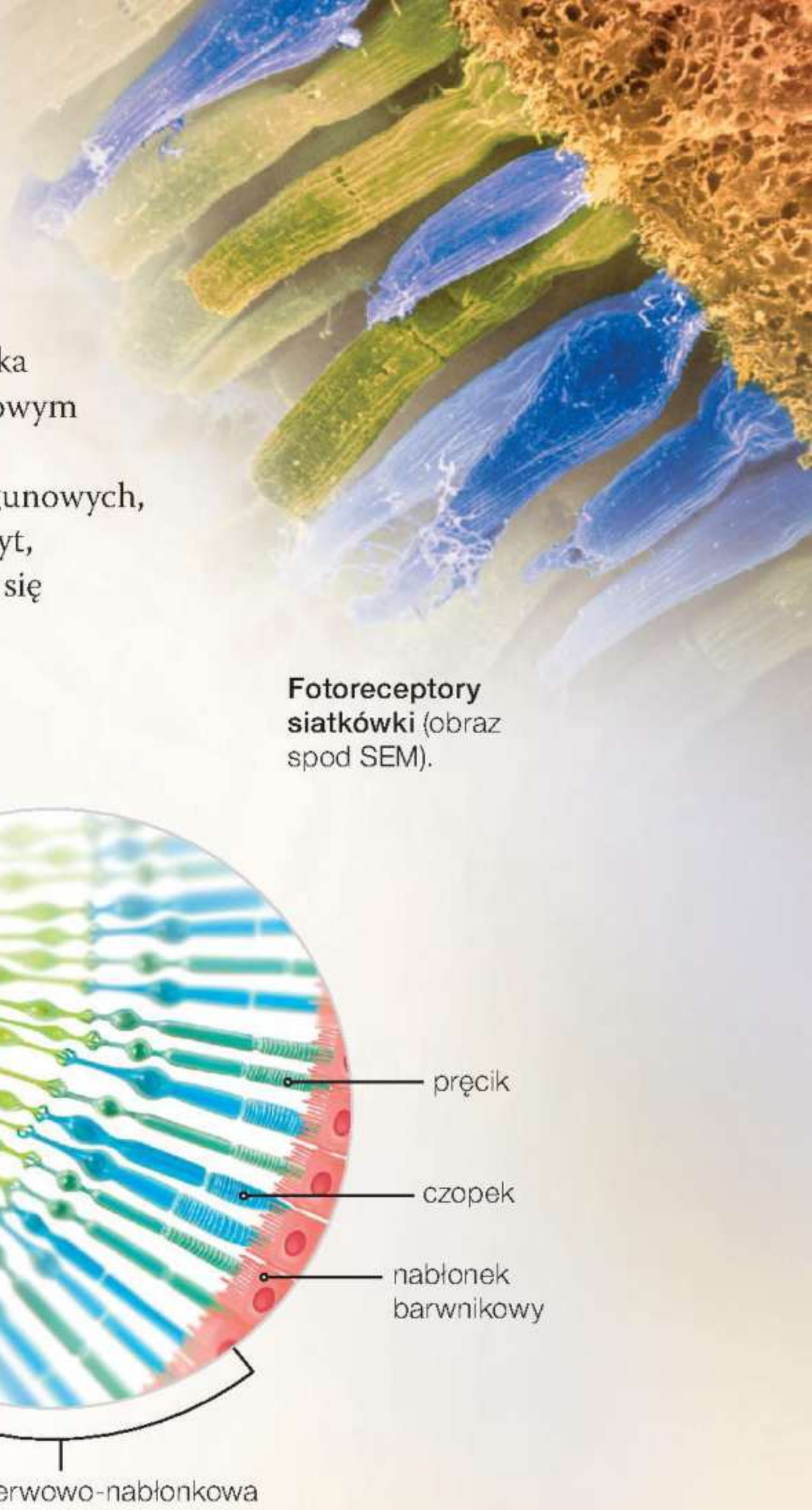
Siatkówka zawiera komórki światłoczułe – pręciki i czopki – które odbierają bodźce świetlne.

Ciało szkliste jest przezroczystą substancją wypełniającą wnętrze gałki ocznej. Nadaje gałce ocznej kształt, załamuje promienie świetlne oraz uczestniczy w regulacji ciśnienia wewnątrzgałkowego.

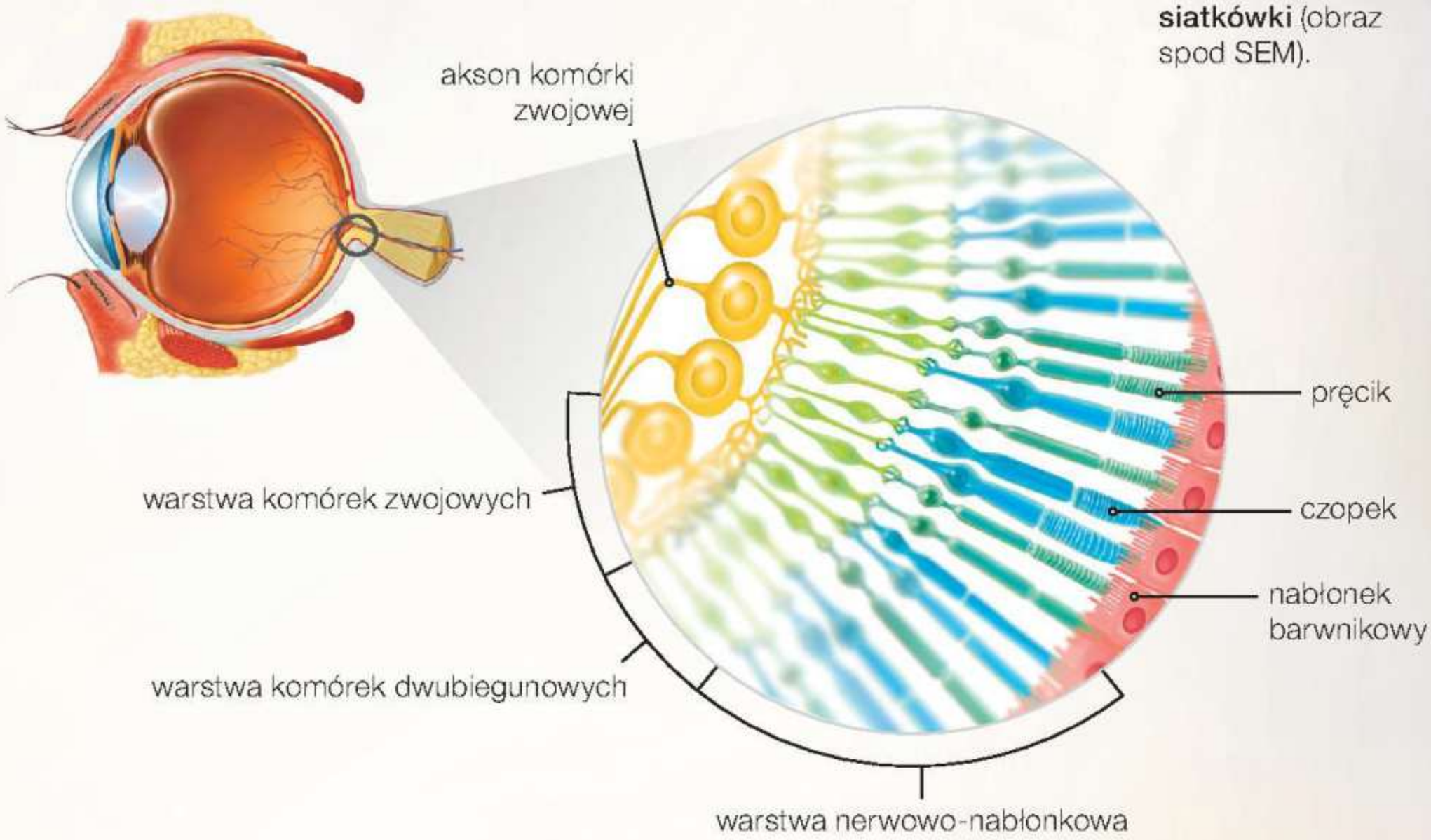
Budowa siatkówki

Siatkówka składa się z trzech warstw komórek:

- warstwy nerwowo-nabłonkowej, zbudowanej z fotoreceptorów (pręcików i czopków) oraz nabłonka barwnikowego, który jest nabłonkiem jednowarstwowym sześciennym,
- warstwy środkowej zbudowanej z komórek dwubiegunowych, czyli neuronów mających jeden akson i jeden dendryt,
- warstwy komórek zwojowych, których aksony łączą się w nerw wzrokowy.



Fotoreceptory siatkówki (obraz spod SEM).



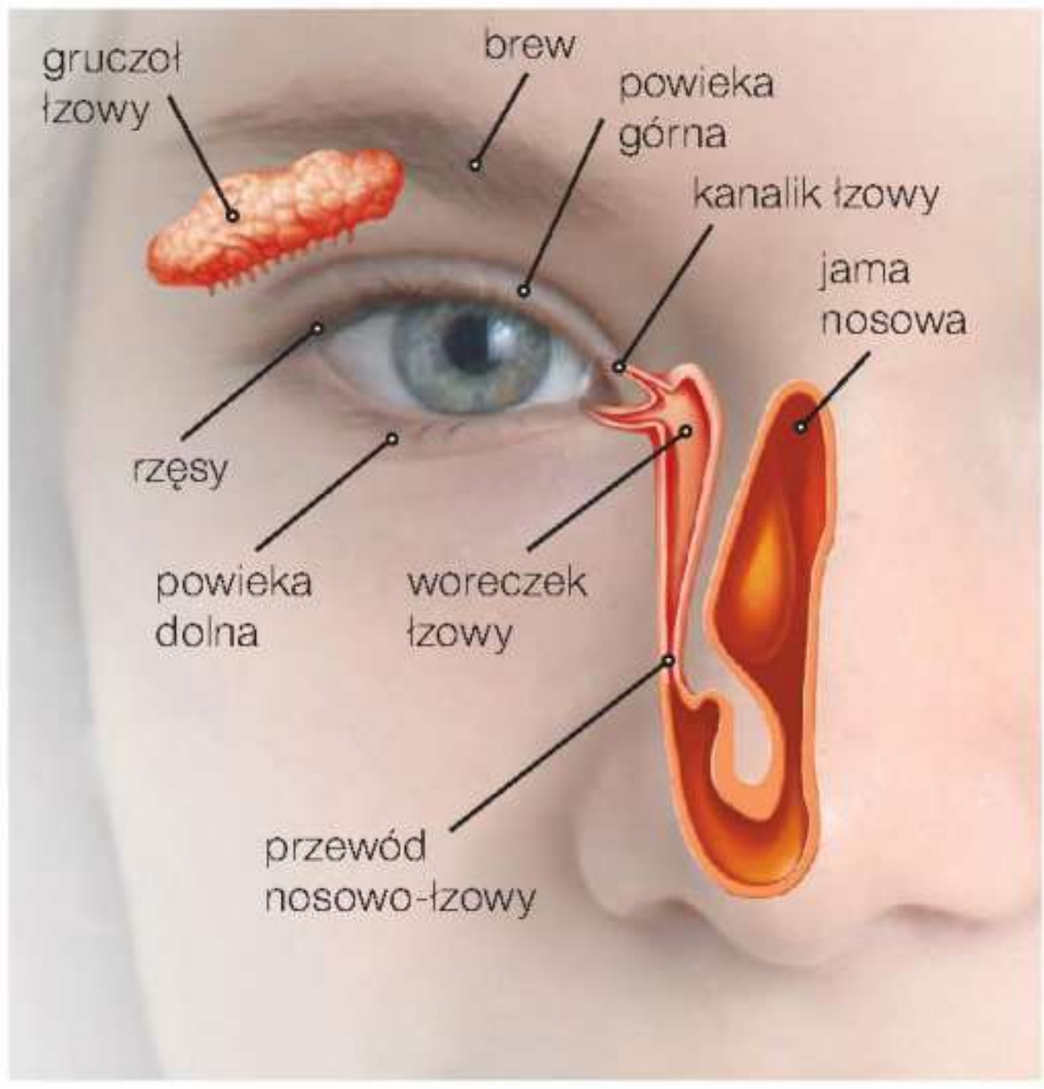
Porównanie komórek światłoczułych

Cecha	Pręciki	Czopki
Budowa komórki		
Liczba komórek w siatkówce oka	ok. 120 mln	ok. 7 mln
Sposób rozmieszczenia	więcej w obwodowej części siatkówki	więcej w środkowej części siatkówki (najwięcej w plamce)
Wrażliwość na barwy	niewrażliwe na barwy	wrażliwe na barwy
Optymalne warunki funkcjonowania	półmrok	intensywne oświetlenie
Barwnik światłoczuły	rodopsyna	jodopsyna
Znaczenie	• Zapewniają rozróżnianie kształtów. • Wykazują dużą czułość w rejestrowaniu ruchu.	• Zapewniają precyzyjne widzenie obiektów. • Umożliwiają widzenie barw.

Aparat ochronny gałki ocznej

Aparat ochronny gałki ocznej stanowią: powieki, spojówka, narząd łzowy oraz brwi.

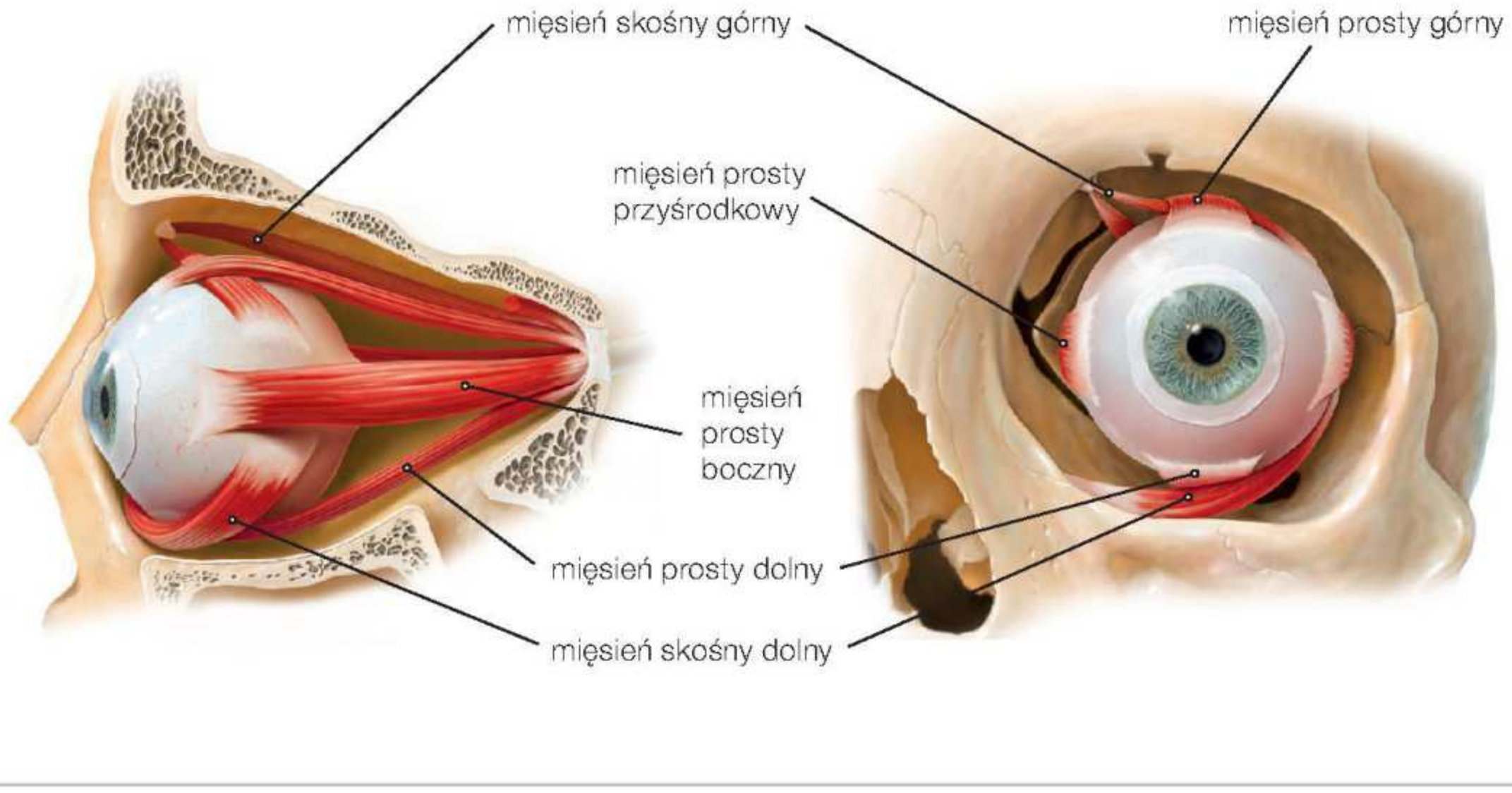
- **Powieki** – dolna i górna – to dwa zaopatrzone w mięśnie fałdy, które mogą się otwierać i zamykać. Chronią one gałkę oczną i rozprowadzają na jej powierzchni łzy. Na brzegach powiek znajdują się rzęsy zatrzymujące cząstki kurzu oraz pyłów. W sąsiedztwie rzęs występują gruczoły tarczkowe, których wydzielina natłuszcza brzegi powiek.
- **Spojówka** jest gładką, wilgotną błoną wyścielającą wnętrze powiek i część gałki ocznej. Nabłonek spojówki wytwarza śluz zmniejszający tarcie podczas ruchów powiek.
- **Narząd łzowy** składa się z gruczołów łzowych, których wydzielinę stanowią łzy. Zawierają one **lizozym** – enzym o właściwościach bakteriobójczych. Ich zadaniem jest nawilżanie i oczyszczanie spojówki oraz rogówki.
- **Brwi** znajdują się nad powiekami górnymi. Zatrzymują one – podobnie jak rzęsy – cząstki kurzu oraz pyłów.



Elementy aparatu ochronnego gałki ocznej.

Aparat ruchowy oka

Aparat ruchowy każdego oka składa się z sześciu mięśni. Z jednej strony mięśnie są przyczepione do ściany gałki ocznej, z drugiej – do ściany oczodołu. Mięśnie gałki ocznej umożliwiają jej ruchy wewnątrz oczodołu. Są one zbudowane z tkanki mięśniowej poprzecznie prążkowanej i działają zależnie od woli.



Mechanizm widzenia

Promienie świetlne odbite od obserwowanego obiektu trafiają do wnętrza gałki ocznej i skupiają się dokładnie na siatkówce. Tak precyzyjny przebieg promieni jest możliwy dzięki elementom gałki ocznej tworzącym **układ optyczny oka**. W skład układu optycznego wchodzą: rogówka, płyn komory przedniej oka, soczewka oraz ciało szkliste. Podczas przechodzenia przez układ optyczny promienie świetlne odbite od obserwowanego obiektu ulegają załamaniu. W rezultacie obraz powstający na siatkówce jest odwrócony i pomniejszony. Zdolność załamywania promieni świetlnych przez wszystkie elementy układu optycznego oka nazywa się **refrakcją oka**. Wyraża się ją w jednostkach zwanych dioptriami.

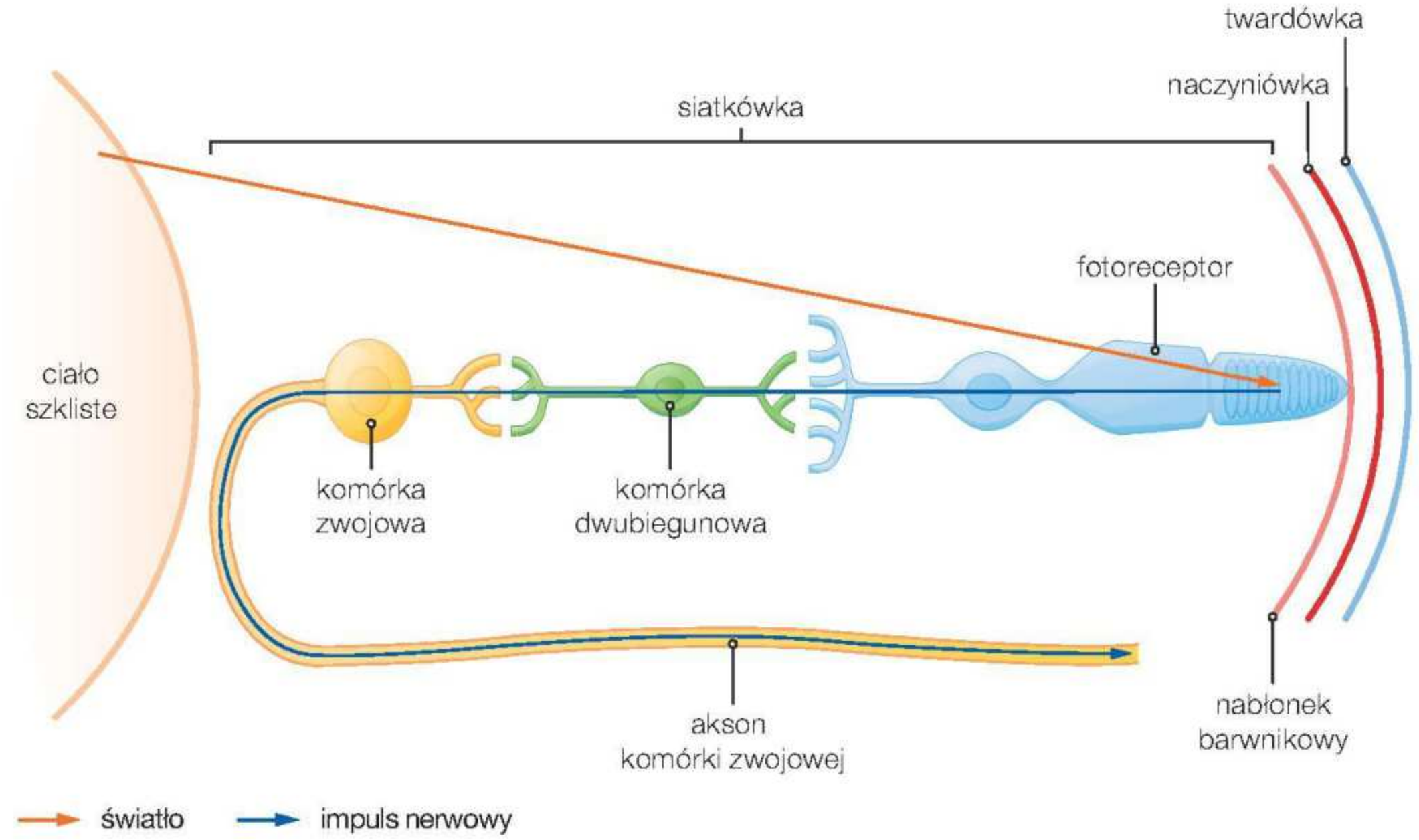
Po przejściu przez wszystkie elementy optyczne oka światło dociera do **siatkówki**. Tam zostaje pochłonięte przez fotoreceptory – pręciki i czopki. Fotoreceptory w szczytowych częściach zawierają dyski z barwnikami wzrokowymi. W pręcikach jest to **rodopsyna**, natomiast w czopkach – **jodopsyna**. Pod wpływem światła barwniki ulegają przemianom chemicznym, w wyniku których powstaje impuls nerwowy.

Rodopsyna składa się z białka błonowego – **opsyny** – oraz związku zwanego **retinalem**, który jest pochodną witaminy A. W ciemności retinal występuje w postaci izomeru *cis*. Pod wpływem światła izomer *cis* przekształca się w izomer *trans*, który odłącza się od opsyny. Rozkład rodopsyny do *trans*-retinalu i opsyny prowadzi do powstania impulsu nerwowego. Impuls ten jest przekazywany przez kolejne komórki siatkówki do nerwu wzrokowego, który przesyła go do płata potylicznego w korze mózgu. W ciemności *trans*-retinal przekształca się w *cis*-retinal lub w witaminę A, która ulega przemianie w *cis*-retinal. Ten z kolei łączy się z opsyną, w wyniku czego rodopsyna jest odtwarzana.

Droga, którą pokonuje światło przez gałkę oczną

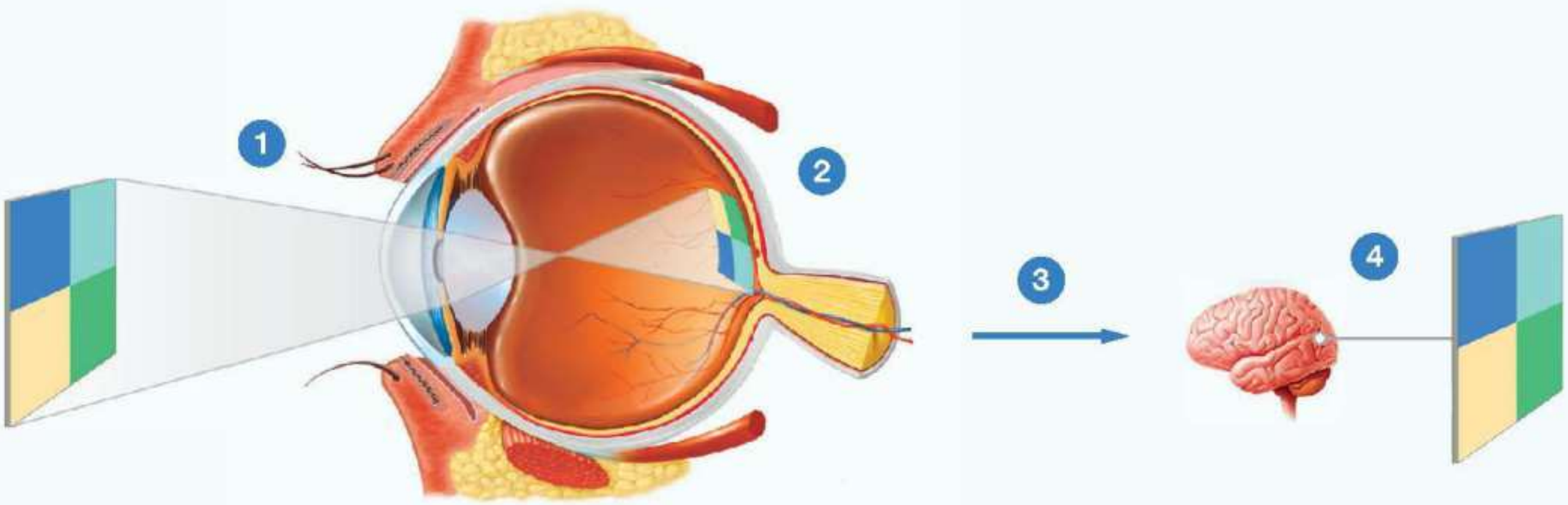
rogówka → komora przednia oka → źrenica → soczewka → ciało szkliste oka → siatkówka

Droga, którą pokonują światło, a następnie impuls nerwowy w obrębie siatkówki



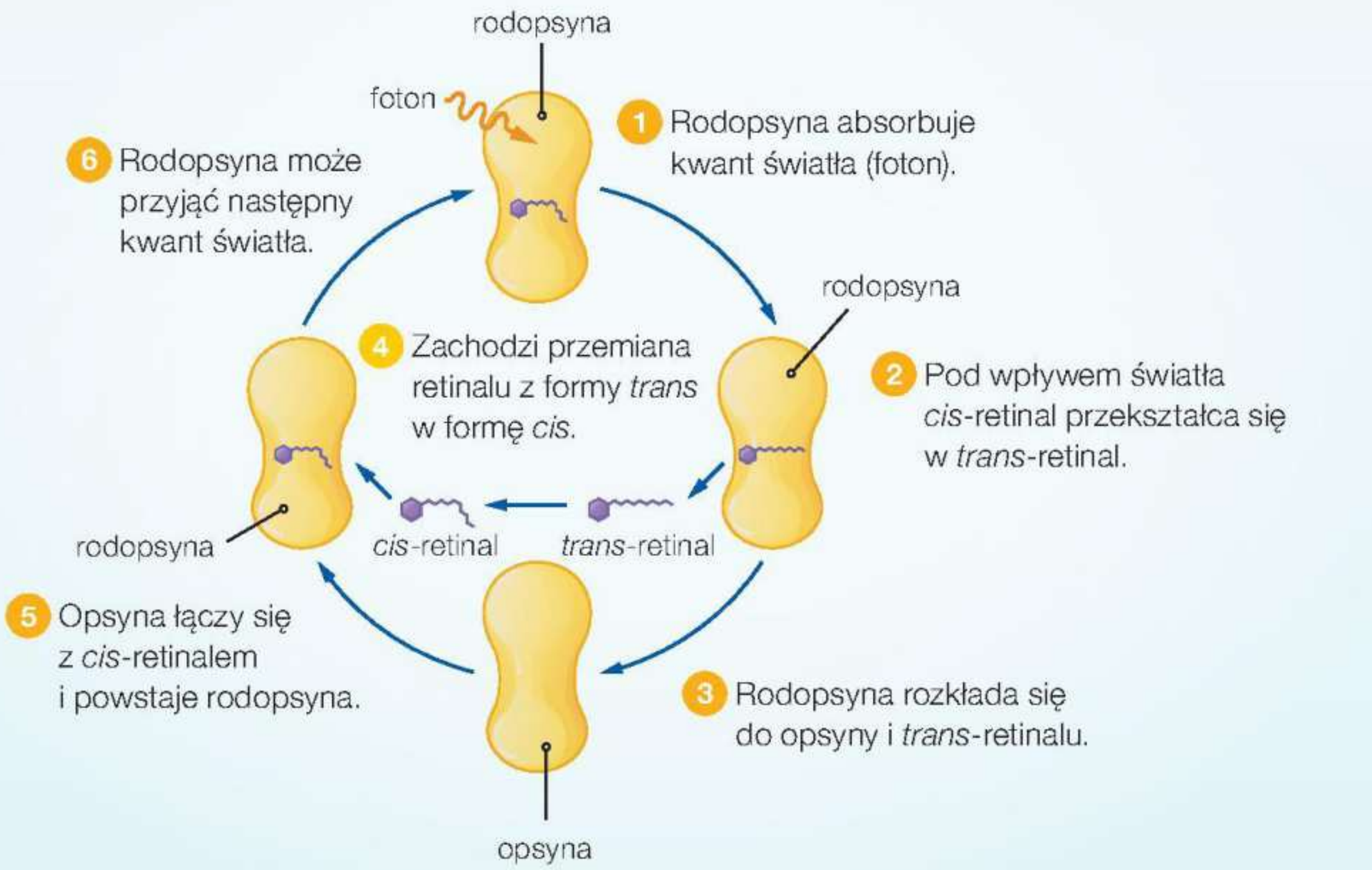
W jaki sposób widzimy?

Mechanizm widzenia jest uwarunkowany zarówno procesami fizycznymi, m.in. załamywaniem się fal świetlnych na różnych strukturach gałki ocznej, jak i procesami chemicznymi, m.in. rozkładem barwników wzrokowych w obrębie siatkówki.



1. Promienie światła odbitego od oglądanego obiektu dostają się przez rogówkę, komorę przednią oka i źrenicę do soczewki.
2. Dzięki możliwości zmiany kształtu soczewka skupia promienie świetlne na siatkówce – części światłoczułej, w której występują fotoreceptory. Na siatkówce powstaje odwrócony i pomniejszony obraz oglądanego obiektu.
3. Z siatkówki informacja o obrazie jest przekazywana za pomocą nerwu wzrokowego do ośrodka wzroku, który znajduje się w płacie potylicznym kory mózgu.
4. Mózg koryguje obraz, dzięki czemu obiekt jest postrzegany w prawidłowy sposób.

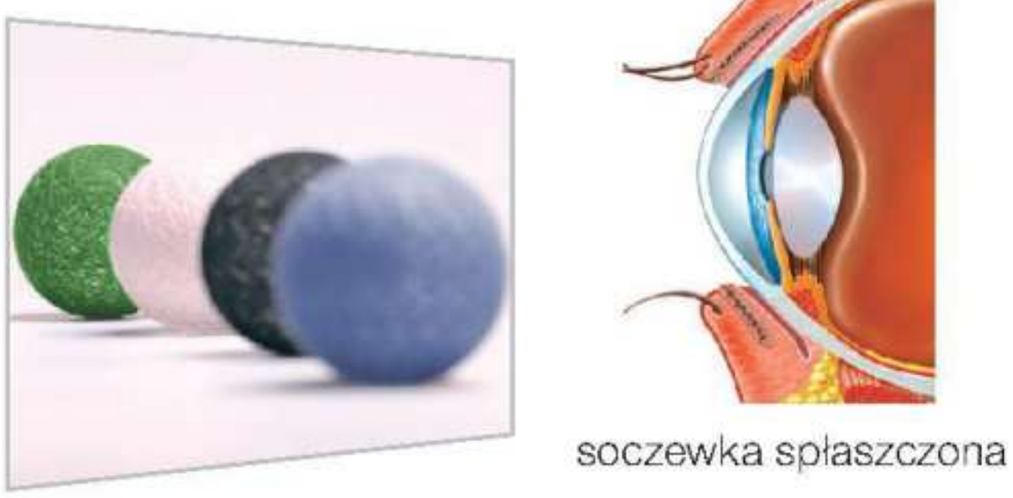
Procesy chemiczne zachodzące w pręcikach

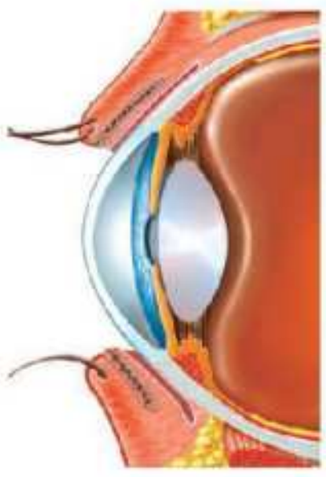


Akomodacja oka

Akomodacja to zdolność dostosowania się oka do wyraźnego widzenia obiektów z różnych odległości. Jest ona możliwa m.in. dzięki zmianom kształtu soczewki, za które odpowiada mięsień rzęskowy.

Widzenie dalekie



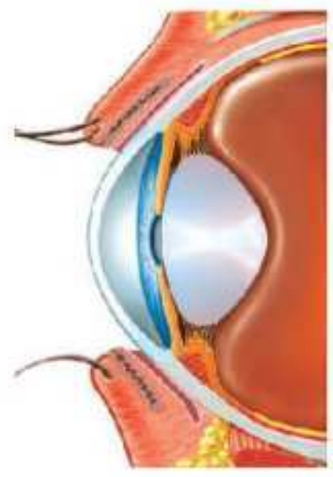


soczewka spłaszczona

Rozkurcz mięśnia rzęskowego powoduje spłaszczenie soczewki. Dzięki temu wyraźnie widoczne są obiekty znajdujące się w oddali.

Widzenie bliskie





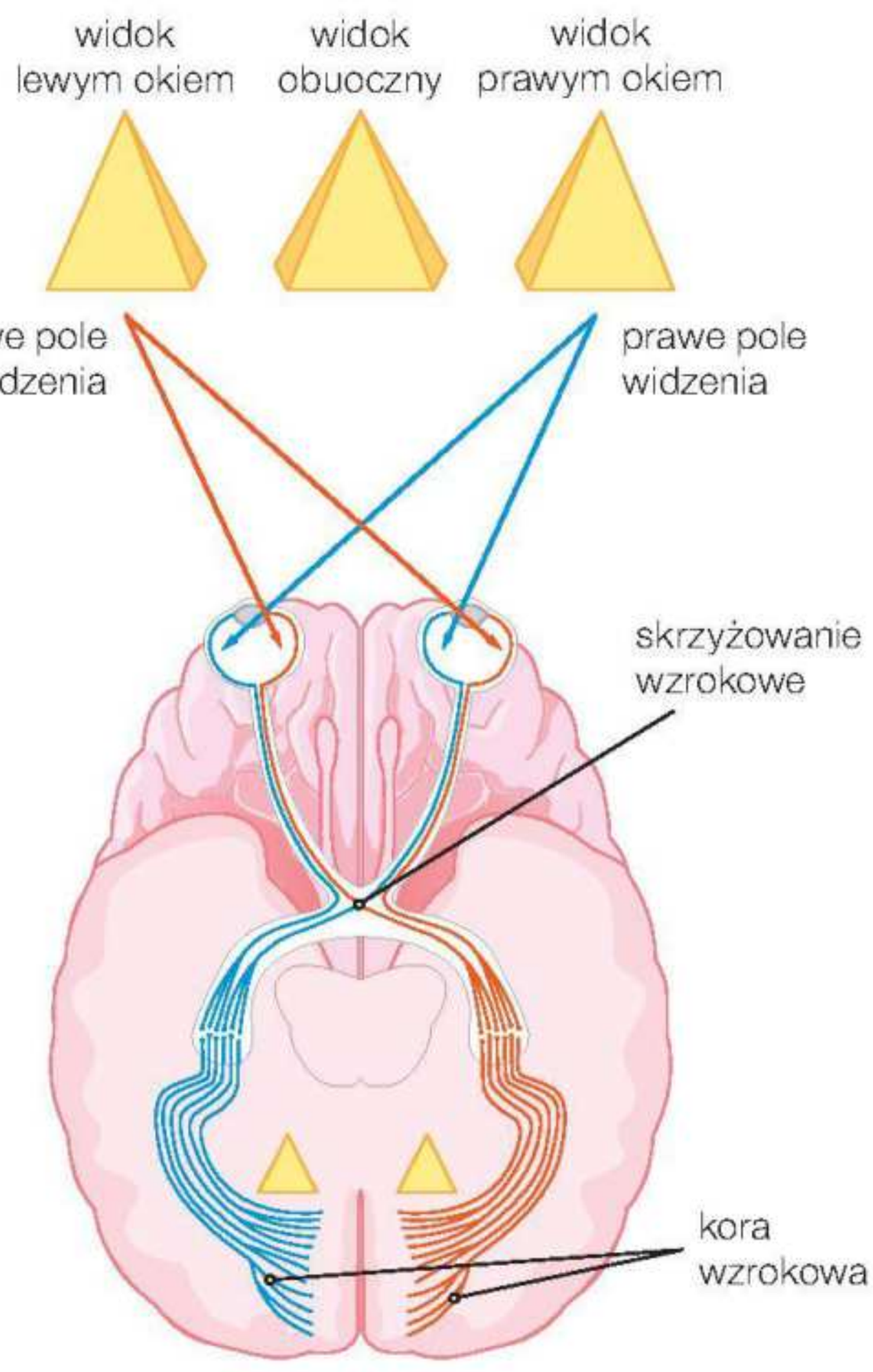
soczewka wypukła

Skurcz mięśnia rzęskowego powoduje uwypuklenie soczewki. Umożliwia to wyraźne widzenie obiektów znajdujących się blisko.

Widzenie przestrzenne

Człowiek ma oczy umiejscowione z przodu głowy. Takie położenie oczu umożliwia widzenie przestrzenne (stereoskopowe), a zatem także dokładną ocenę odległości od oglądanego obiektu. Dzieje się tak, ponieważ obraz rejestrowany przez jedno oko różni się od obrazu rejestrowanego przez drugie oko, jednak **pola widzenia**[1] obu oczu częściowo się pokrywają. W ten sposób mózg otrzymuje dwa nieco inne obrazy, które składają się w jeden obraz przestrzenny.

Widzenie przestrzenne jest związane z przetwarzaniem informacji wzrokowych w mózgu. Nerwy wzrokowe po wejściu do jamy czaszki łączą się ze sobą i tworzą **skrzyżowanie wzrokowe**. W jego obrębie część włókien każdego nerwu wzrokowego przechodzi na stronę przeciwną. Od skrzyżowania wzrokowego odchodzą **drogi wzrokowe**, które docierają do **kory wzrokowej** kresomózgowia. Wówczas lewa połowa kory wzrokowej przetwarza informacje pochodzące z lewej części siatkówki obu gałek ocznych (prawe pole widzenia), a prawa połowa kory wzrokowej przetwarza informacje pochodzące z prawej części siatkówki obu gałek ocznych (lewe pole widzenia).



Dzięki skrzyżowaniu wzrokowemu kora wzrokowa każdej półkuli mózgu otrzymuje informacje z obu gałek ocznych.

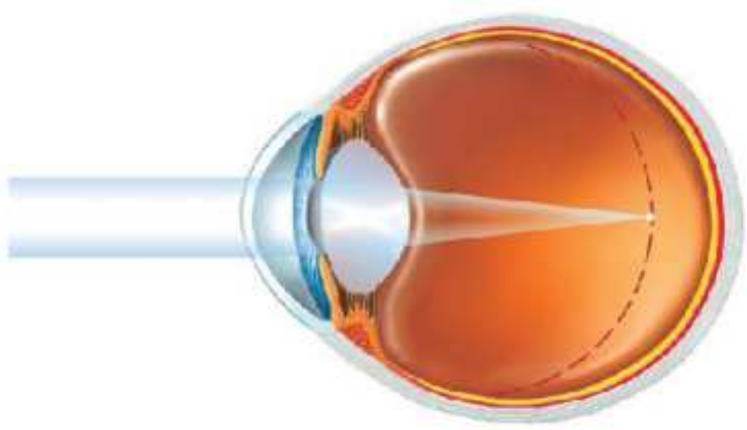
[1] **Pole widzenia** – zakres przestrzeni, której obraz pada na siatkówkę nieruchomego oka.

☑ Wady wzroku i sposoby ich korekcji

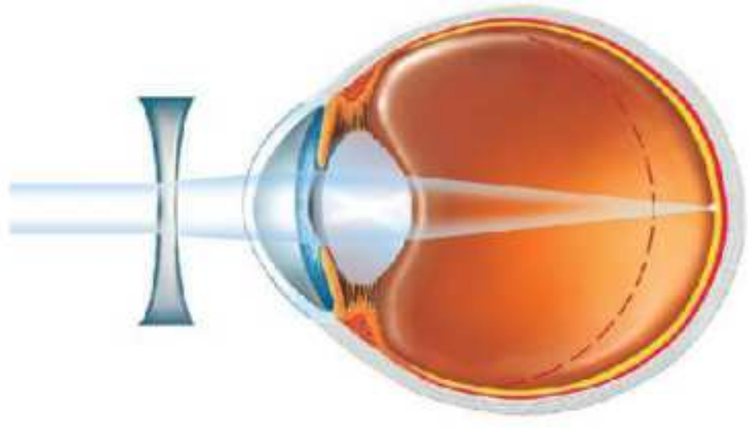
Wady wzroku, takie jak krótkowzroczność, dalekowzroczność i astygmatyzm, wynikają z zaburzenia refrakcji i akomodacji oka.

■ Krótkowzroczność

Wada występuje wtedy, gdy oko nieprawidłowo skupia promienie świetlne przed siatkówką. Obraz obiektów znajdujących się w oddali jest zamazany. W celu korekcji wady stosuje się dwuwklęsłe soczewki rozpraszające. Przy braku korekcji oraz na skutek nieprzestrzegania higieny pracy wzroku krótkowzroczność się nasila.



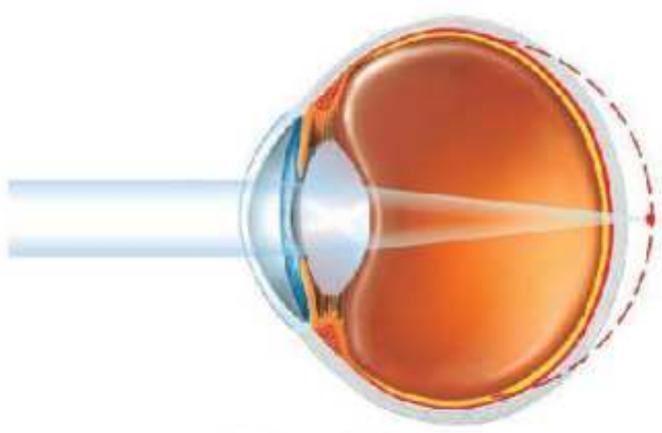
Oko krótkowzroczne.



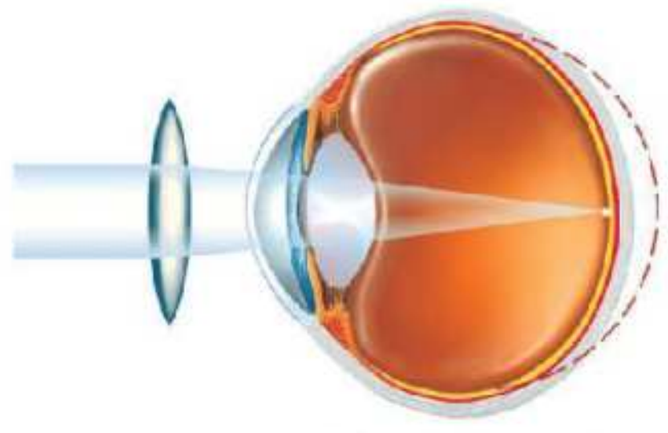
Korekcja wady.

■ Dalekowzroczność

Wada występuje wtedy, gdy oko nieprawidłowo skupia promienie świetlne za siatkówką. Obraz obiektów znajdujących się blisko jest nieostry. Do korekcji tej wady stosuje się dwuwypukłe soczewki skupiające. Dalekowzroczność jest wadą typową dla ludzi starszych, których soczewka traci swoją naturalną elastyczność, a jednocześnie zdolność akomodacji.



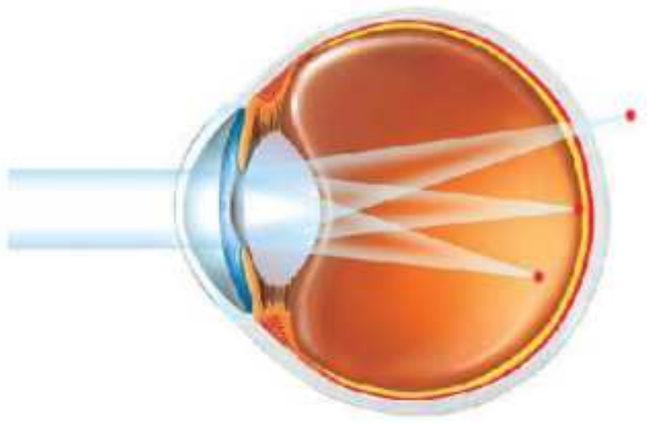
Oko dalekowzroczne.



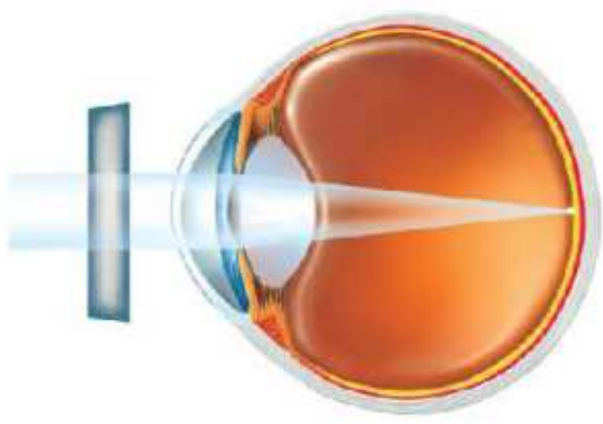
Korekcja wady.

■ Astygmatyzm

Wada występuje wtedy, gdy oko nieprawidłowo skupia promienie świetlne w kilku miejscach – na siatkówce oraz przed i poza nią. W efekcie odbierany obraz jest nieostry i zniekształcony, niezależnie od odległości. Do korekcji tej wady stosuje się soczewki cylindryczne (walcowate).



Oko astygmatyczne.



Korekcja wady.

Wybrane choroby oczu i zaburzenia widzenia

Choroby i zaburzenia widzenia mogą znacząco upośledzać odbiór wrażeń wzrokowych.

Zaćma

Zaćma to choroba spowodowana zmętnieniem soczewki, które ogranicza jej przepuszczalność dla promieni świetlnych. W efekcie chory widzi nieostry obraz. Zaćma może być wrodzona lub nabyta w wyniku infekcji. Występuje też u osób w podeszłym wieku. Leczenie zaćmy polega na wszczepieniu sztucznej soczewki w miejscu soczewki zmienionej chorobowo.



Osoba chora na zaćmę widzi obraz jak przez taflę wody.

Zwyrodnienie plamki związane z wiekiem

W chorobie tej dochodzi do uszkodzenia siatkówki, zwłaszcza plamki, co prowadzi do pogorszenia lub nawet całkowitej utraty wzroku. Zwyrodnienie plamki najczęściej występuje u osób po 50. roku życia, dlatego wiek stanowi główny czynnik ryzyka wystąpienia choroby. Jednak bezpośrednie przyczyny nie są znane. Leczenie zwyrodnienia plamki skupia się na hamowaniu postępu choroby m.in. przez dietę bogatą w warzywa i owoce oraz stosowanie leków poprawiających ukrwienie gałki ocznej.



Osoba ze zwyrodnieniem plamki widzi nieprawidłowo centralną część obrazu.

Jaskra

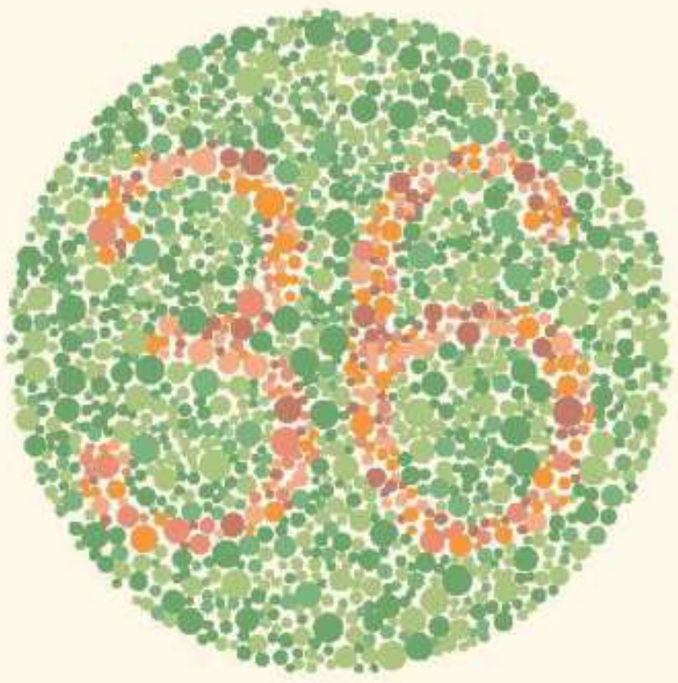
Jaskra to choroba prowadząca do nieodwracalnego uszkodzenia nerwu wzrokowego i niektórych komórek siatkówki. Uszkodzenie następuje pod wpływem nadmiernego wzrostu ciśnienia wewnątrz gałki ocznej. Leczenie jaskry polega m.in. na stosowaniu leków obniżających ciśnienie w gałce ocznej.



Osoba cierpiąca na jaskrę ma zawężone pole widzenia.

Daltonizm, czyli wrodzona ślepota barw

Daltonizm to potoczna nazwa grupy zaburzeń związanych z widzeniem barw, zwanych ślepotą barw. Osoby z tym zaburzeniem nie widzą różnic pomiędzy niektórymi barwami, najczęściej między barwą zieloną a barwą czerwoną. Daltonizm jest uwarunkowany genetycznie i nie można mu zapobiec.



Aby ocenić, czy dana osoba ma daltonizm, stosuje się specjalne barwne tablice. Na ilustracji obok osoba prawidłowo rozróżniająca barwy dostrzeże liczbę 36.

Higiena narządu wzroku

Dla utrzymania oczu w dobrej kondycji ważne są:

- właściwe oświetlenie – zbyt jasne światło może uszkodzić wzrok, dlatego w słoneczne dni warto nosić okulary przeciwsłoneczne. Należy też unikać zbyt długiego wpatrywania się w ekran monitora lub telefonu. Przyczyną pogorszenia się widzenia może być również za słabe oświetlenie, dlatego nie należy np. czytać książek w półmroku;
- unikanie wpatrywania się w przedmioty leżące zbyt blisko – mięśnie regulujące kształt soczewki są wtedy stale skurczone, a oczy mogą się męczyć. Podczas czytania lub pracy na komputerze warto więc co jakiś czas oderwać wzrok i przez chwilę popatrzeć w dal;
- unikanie zanieczyszczeń pyłowych oraz dymu – gdy zanieczyszczenia te dostaną się do oczu, mogą spowodować ich podrażnienie lub uszkodzenie. Dlatego np. podczas pracy w zapylonym pomieszczeniu powinno się używać okularów ochronnych;
- właściwa dieta – pokarmy bogate w kwasy omega-3, luteinę, zeaksantynę i witaminy B_2 oraz A mogą pomóc w zapobieganiu wadom i chorobom oczu.



Dieta przyjazna dla oczu obejmuje dużą ilość warzyw oraz ryby, jaja i produkty mleczne.

Dowiedz się więcej

Synestezja, czyli jak zobaczyć dźwięki

Synestezja to umiejętność odbierania danego bodźca za pomocą dodatkowego zmysłu, np. dźwięku za pomocą zmysłu smaku. Dla synestetów cyfry, litery czy dźwięki mają określone kolory albo smaki. Dlaczego tak się dzieje? Istnieją dwie teorie tłumaczące to zjawisko. Według pierwszej z nich w mózgu synestety występują nietypowe połączenia ośrodków przetwarzających doznania zmysłowe, które nie występują u innych osób. Mózg takiej osoby łączy ze sobą zmysły, np. słuchu i wzroku czy dotyku i węchu. Według drugiej teorii dodatkowe wrażenia zmysłowe wynikają z braku hamowania impulsów docierających do różnych ośrodków zmysłów.



Polecenia kontrolne

1. Wymień elementy aparatu ochronnego oka, a następnie określ ich funkcje.
2. Wyjaśnij mechanizm akomodacji oka.
3. Określ, dzięki czemu możliwe jest widzenie barw.
4. Wyjaśnij, na czym polegają krótkowzroczność i dalekowzroczność. Omów sposoby korekcji każdej z tych wad wzroku.

9.3. Ucho – narząd słuchu i równowagi

Zwróć uwagę na:

- budowę ucha oraz funkcje jego poszczególnych elementów,
- mechanizm odbierania i rozpoznawania dźwięków,
- funkcję ucha wewnętrznego jako narządu równowagi,
- podstawowe zasady higieny narządu słuchu i równowagi.

Ucho jest narządem dwóch zmysłów – słuchu i równowagi. W narządzie tym znajdują się **mechanoreceptory**. Niektóre z nich – odpowiedzialne za słuch – odbierają bodźce mechaniczne w postaci drgań cząsteczek powietrza rozchodzących się jako fale dźwiękowe (fale akustyczne). Inne – odpowiedzialne za równowagę – rejestrują bodźce mechaniczne powodowane ruchem otolitów.

Budowa ucha

Ucho składa się z trzech głównych części: ucha zewnętrznego, ucha środkowego i ucha wewnętrznego. **Ucho zewnętrzne** to jedyna widoczna część narządu słuchu. Służy ono do wychwytywania fal dźwiękowych. Składa się z:

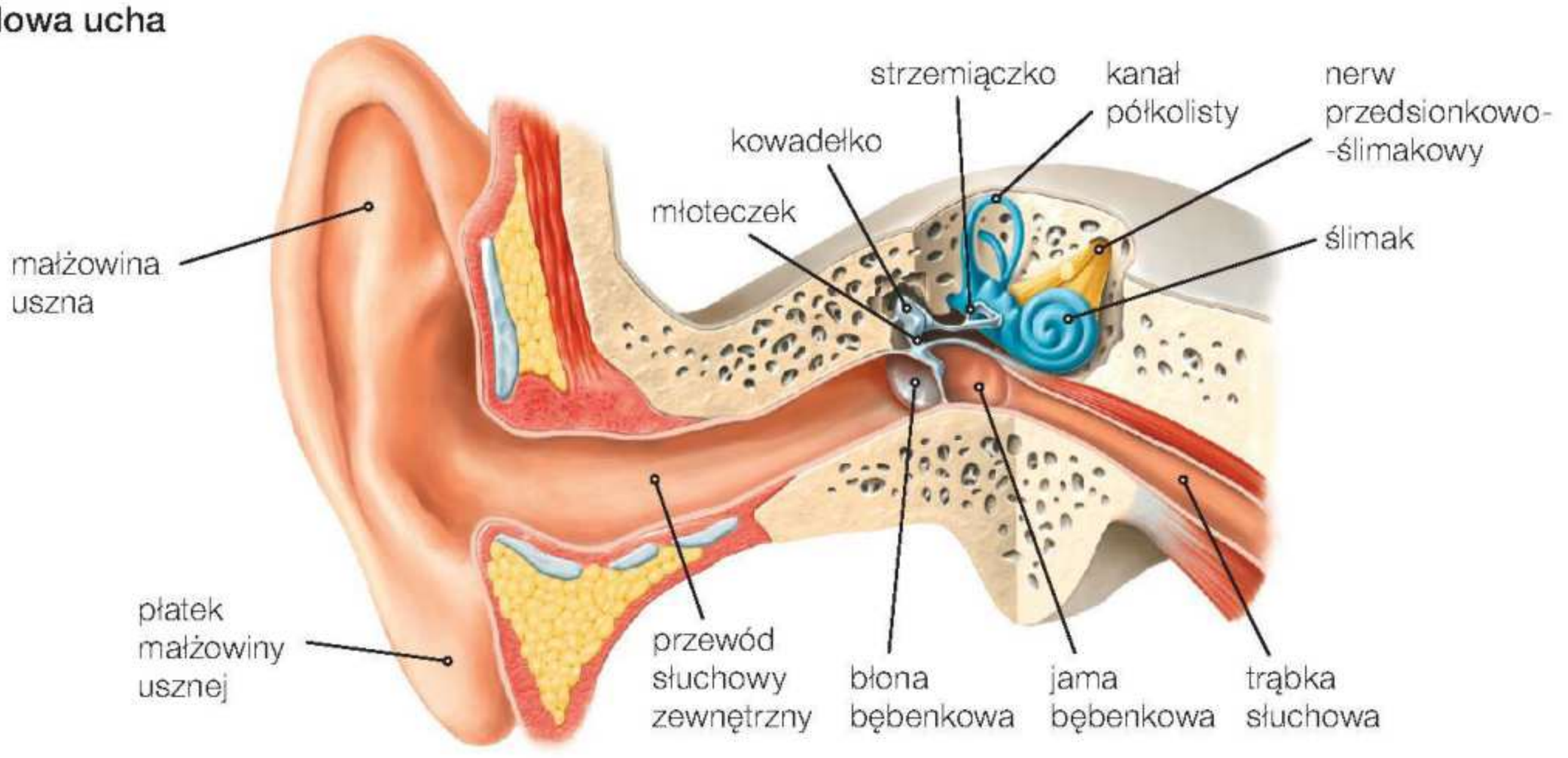
- **małżowiny usznej** – fałdu skórnego, wewnątrz którego występuje tkanka chrzęstna. Jej dolna część, zwana płatkiem, nie zawiera chrząstki;
- **przewodu słuchowego** – kanału, który kieruje falę dźwiękową na błonę bębenkową. Jego wnętrze wyścieła lipidowa substancja, zwana woskowiną. Wraz z wyrastającymi w początkowym odcinku przewodu krótkimi, grubymi włosami zapobiega ona przedostawaniu się zanieczyszczeń do dalszych części ucha.

Przewód słuchowy zamyka cienka **błona bębenkowa**, która równocześnie stanowi granicę między uchem zewnętrznym a uchem środkowym.

Ucho środkowe przenosi i wzmacnia drgania fal dźwiękowych. Tworzą je:

- **jama bębenkowa**, czyli wypełniona powietrzem przestrzeń, która zawiera trzy **kosteczki słuchowe**: młoteczek, kowadełko i strzemiączko. Młoteczek przyrasta do wewnętrznej części błony bębenkowej. Umożliwia to przenoszenie drgań błony na pozostałe

Budowa ucha



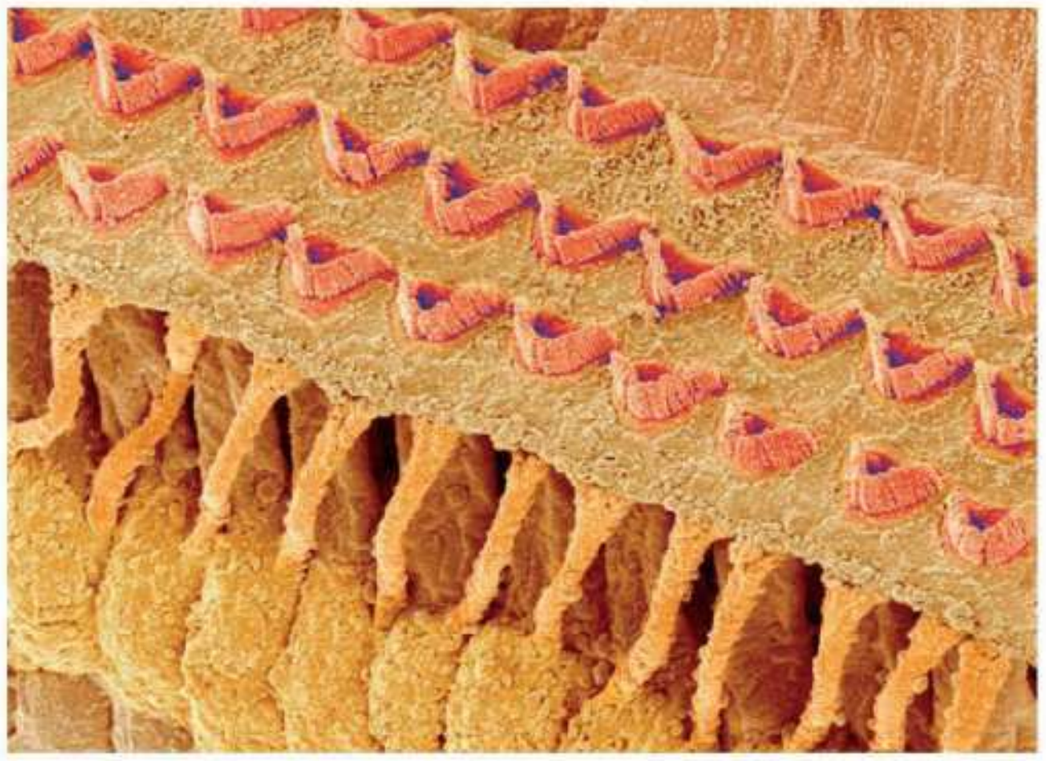
połączone stawowo kosteczki, czyli kolejno na kowadełko i strzemiączko. Drgania strzemiączka są następnie przekazywane na **błonę okienka owalnego** umieszczoną po przeciwnej stronie jamy bębenkowej. Błona ta przesłania **okienko owalne**, które stanowi granicę pomiędzy uchem środkowym a uchem wewnętrznym. Kosteczki słuchowe nie tylko przenoszą drgania błony bębenkowej, lecz także wzmacniają je ok. 10-krotnie. Ponadto zabezpieczają właściwy narząd słuchu – narząd spiralny – przed zbyt głośnymi dźwiękami (odruch strzemiączkowy);

- **trąbka słuchowa** (trąbka Eustachiusza) – przewód prowadzący z jamy bębenkowej do nosowej części gardła. Jej zadaniem jest utrzymanie jednakowego ciśnienia powietrza w przewodzie słuchowym i jamie bębenkowej. Przy szybkiej zmianie wysokości (np. podczas startu samolotu) odczuwa się przytępienie słuchu. Wrażenie to jest wywołane różnicą ciśnień powietrza między uchem zewnętrznym (gdzie powstaje wysokie ciśnienie) a uchem środkowym (w którym utrzymuje się niskie ciśnienie). W wyniku powstałej różnicy trąbka słuchowa się zaciska. Po wykonaniu kilku ruchów połykania (np. śliny) trąbka staje się drożna i zostaje przywrócone prawidłowe słyszenie. Z tego względu poleca się ssanie cukierków lub żucie gumy w trakcie lotu – zwiększa się przez to wydzielanie śliny i następuje jej regularne przełykanie. Upośledzenie słuchu występuje także podczas kataru i silnego wydmuchiwania nosa. W tych przypadkach ciśnienie wewnątrz ucha środkowego jest wyższe od ciśnienia atmosferycznego.

Ucho wewnętrzne, ze względu na zawiły układ wielu jam i kanałów, jest nazywane błędnikiem. Błędnik jest zbudowany z części zewnętrznej (kostnej) i części wewnętrznej (błoniastej).

Błędnik kostny to system przestrzeni i kanałów w kości skroniowej, które są wypełnione płynem zwanym **przychłonką** (perylimfą). W skład błędnika kostnego wchodzą: **ślimak, przedsionek** oraz trzy **kanały półkoliste**. W przychłonce zanurzony jest **błędnik błoniasty**, wypełniony płynem zwanym **śródchłonką** (endolimfą). W ślimaku mieści się przewód ślimakowy, a w nim – **narząd spiralny**, zwany również narządem Cortiego [wym. kortiego], który stanowi właściwy narząd słuchu. Zawiera on **komórki rzęsate**, czyli receptorowe komórki słuchowe, przetwarzające fale dźwiękowe na impulsy nerwowe, analizowane następnie w odpowiednich obszarach mózgu. Oprócz komórek rzęsatych w narządzie spiralnym znajdują się także komórki podporowe. Między narządem spiralnym a wewnętrzną ścianą ślimaka leży **błona pokrywająca**, która ma postać galaretowatej masy.

Wewnątrz przedsionka znajdują się **woreczek** i **łagiewka**, natomiast w kanałach półkolistych błędnika kostnego są zlokalizowane **przewody półkoliste**. Woreczek, łagiewka i przewody półkoliste stanowią narząd równowagi.



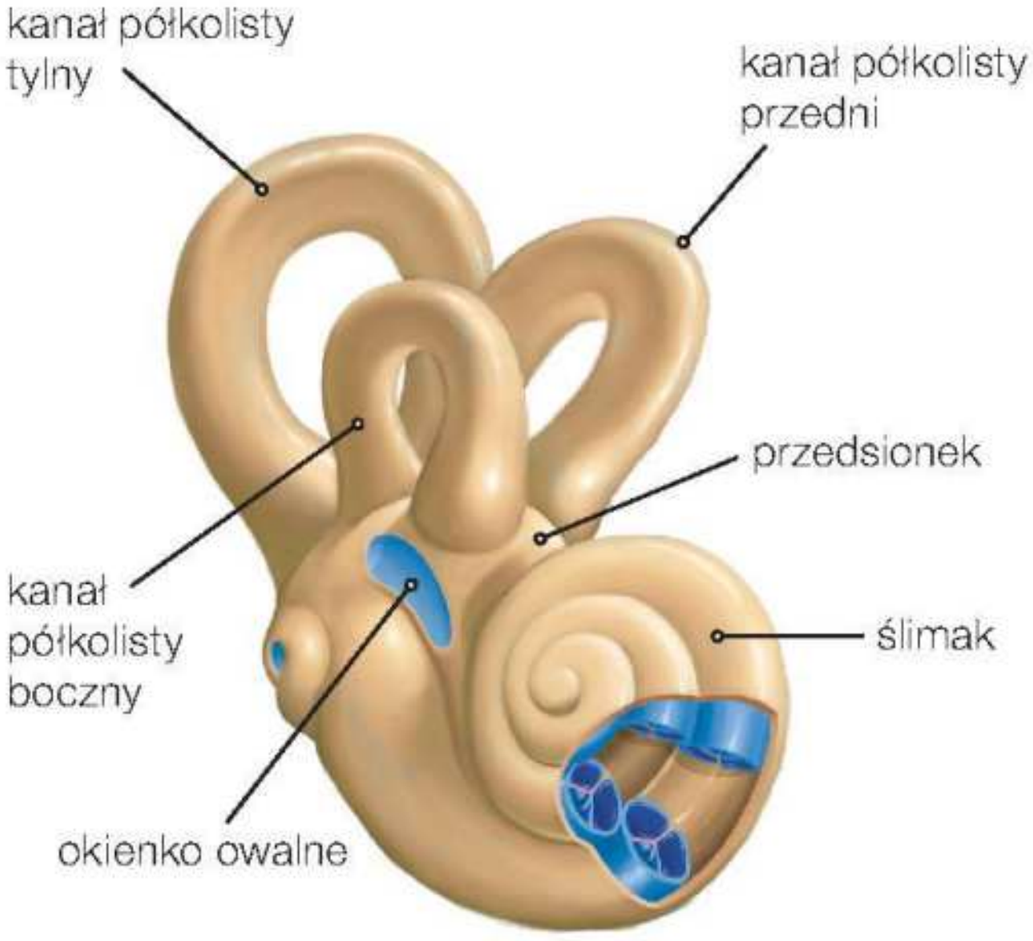
Komórki słuchowe (obraz spod SEM) są wyposażone w rzęski. Na powierzchni jednej komórki znajduje się 100–300 rzęsek. Układają się one w kształt litery U. Liczba rzęsek z wiekiem maleje.

Czy wiesz, że...

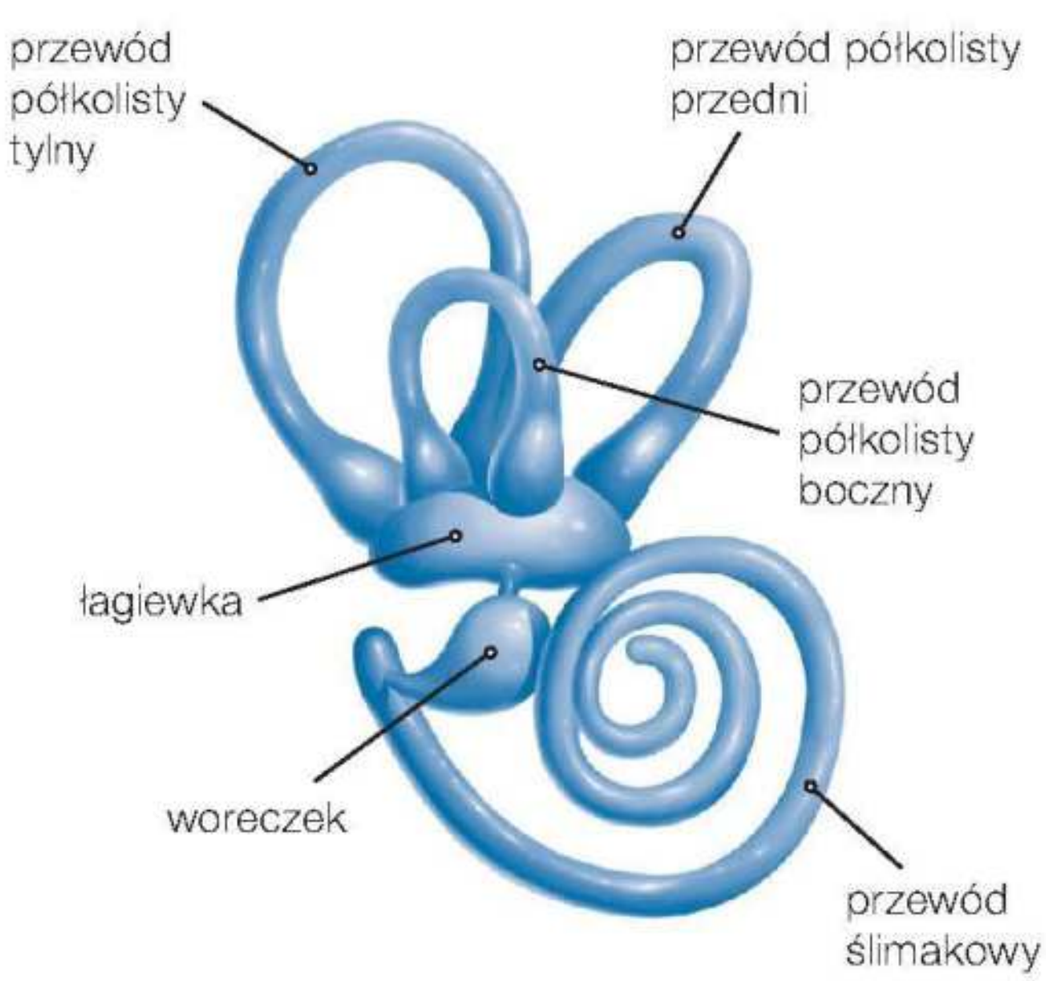
W odruchu strzemiączkowym uczestniczą dwa mięśnie: mięsień naprężacz błony bębenkowej i mięsień strzemiączkowy. Przy zbyt dużym natężeniu dźwięków oba mięśnie kurczą się i osłabiają drgania kosteczek słuchowych. Dzięki temu zabezpieczają narząd spiralny przed uszkodzeniem.

Budowa ucha wewnętrznego

Ucho wewnętrzne składa się z błędnika kostnego i błędnika błoniastego. Błędnik kostny to system przestrzeni i kanałów znajdujących się w kości skroniowej. Wewnątrz niego znajduje się błędnik błoniasty – łącznotkankowy element o nieregularnym kształcie.



Błędnik kostny składa się ze ślimaka, z przedsionka oraz trzech kanałów półkolistych.



Błędnik błoniasty składa się z przewodu ślimakowego, w którym znajduje się narząd spiralny – właściwy narząd słuchu, oraz z woreczka, łagiewki i przewodów półkolistych – właściwego narządu równowagi.

Powstawanie wrażeń słuchowych – funkcjonowanie ślimaka

Fala dźwiękowa skierowana do przewodu słuchowego jest przenoszona w postaci drgań do jego wnętrza przez kolejne elementy narządu słuchu, którymi są: błona bębenkowa, młoteczek, kowadełko, strzemiączko oraz błona okienka owalnego. Potem drgania przenoszą się na śródchłonkę, czyli płyn wypełniający przewód ślimakowy, a następnie na narząd spiralny zbudowany z komórek słuchowych spoczywających na blaszce podstawnej. Na skutek drgań rzęski komórek słuchowych dotykają błony pokrywającej i się uginają. Odkształcenia błony komórkowej powodują powstanie impulsu nerwowego. Jest on przekazywany wzdłuż aksonów komórek słuchowych, tworzących nerw słuchowy. Gdy impulsy te dotrą do płata skroniowego kory mózgu, odbiera się informację dźwiękową.

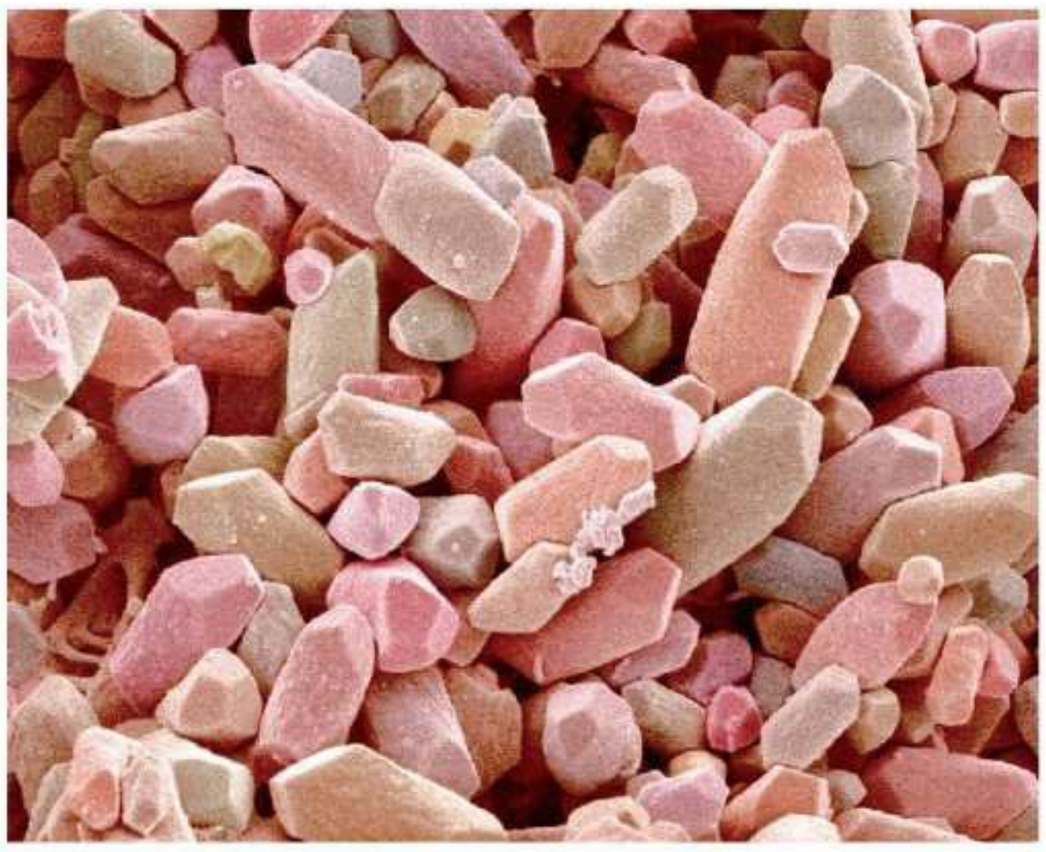
Budowa i funkcjonowanie narządu równowagi

Narząd równowagi mieści się w uchu wewnętrznym. Jest zbudowany z woreczka, łagiewki oraz połączonych z nią przewodów półkolistych, ułożonych w trzech różnych płaszczyznach. W woreczku i łagiewce zlokalizowane są **plamki statyczne**. Plamkę statyczną tworzą komórki zmysłowe zaopatrzone w rzęski (komórki rzęsate) oraz kamyczki błędnikowe (otolity), zbudowane z kryształów węglanu wapnia i fosforanu wapnia. Rzęski wraz z kamyczkami błędnikowymi są zanurzone w galaretowatej substancji – **błonie kamyczkowej**. Pochylenie głowy na boki, do przodu lub do tyłu powoduje przemieszczanie się płynu – śródchłonki. To z kolei wywołuje ruch otolitów, które uciskają rzęski komórek zmysłowych i wzbudzają w nich impuls nerwowy, przekazywany następnie do mózgowia.

Przewody półkoliste rozszerzają się w odcinkach końcowych i tworzą w ten sposób **bańki**. W bańkach znajdują się **grzebienie bańkowe**. Są to skupienia komórek zmysłowych zaopatrzonych w rzęski (komórek rzęsatych). Rzęski są zanurzone w galaretowatej substancji zwanej **osklepkiem**. Ruch głowy sprawia, że porusza się płyn wypełniający przewody. Powoduje to zmianę położenia galaretowatej masy oraz rzęsek. Ugięcie rzęsek prowadzi do powstania impulsu nerwowego. W ten sposób odbierane są informacje o obrotach głowy i reszty ciała. Impulsy nerwowe są przekazywane do ośrodków mózgowia (znajdujących się w móżdżku i korze mózgowej), które uruchamiają odruchy zapewniające utrzymanie równowagi.

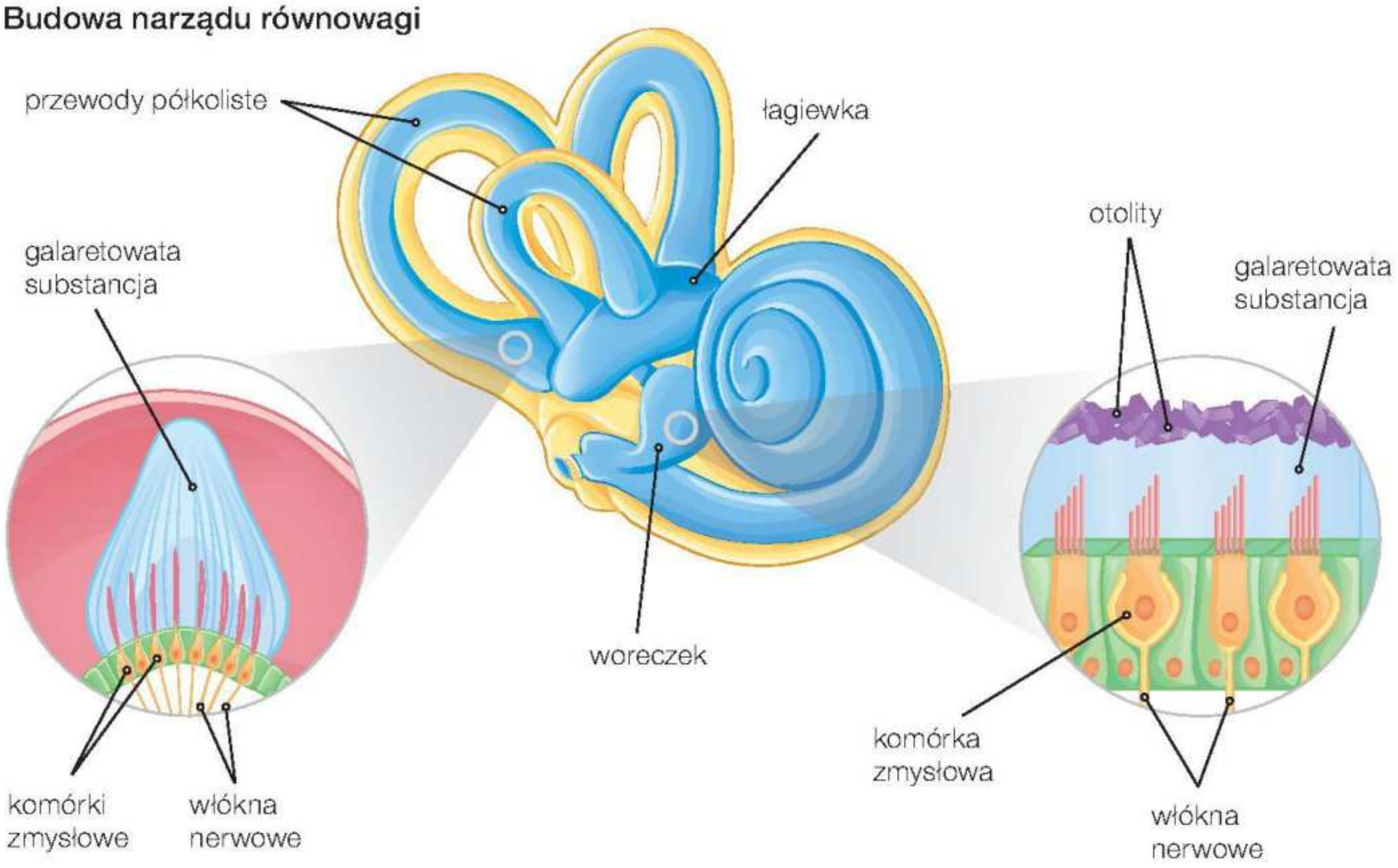
Nadmierne pobudzenie narządu równowagi (np. podczas podróży statkiem, samochodem, samolotem, a także w następstwie huśtania się, szybkiego obracania itp.) wywołuje zespół objawów określanych mianem **choroby lokomocyjnej**. Należą do nich m.in.: zawroty głowy, nudności (a niekiedy wymioty), zaburzenia czynności serca oraz zmniejszenie koordynacji ruchów. Nasilenie objawów zależy od wrażliwości osobniczej. Zaburzenia mijają po zaprzestaniu działania wywołującego je bodźca. Zapobiegawczo stosuje się środki zmniejszające wrażliwość narządu równowagi.

Zachowanie równowagi zależy od zintegrowania informacji płynących z receptorów różnych narządów. Są to głównie receptory narządu równowagi w uchu wewnętrznym, a także receptory narządu wzroku, receptory czucia głębokiego w obrębie mięśni, ścięgien i stawów oraz receptory skóry, zwłaszcza dotyku i ucisku.



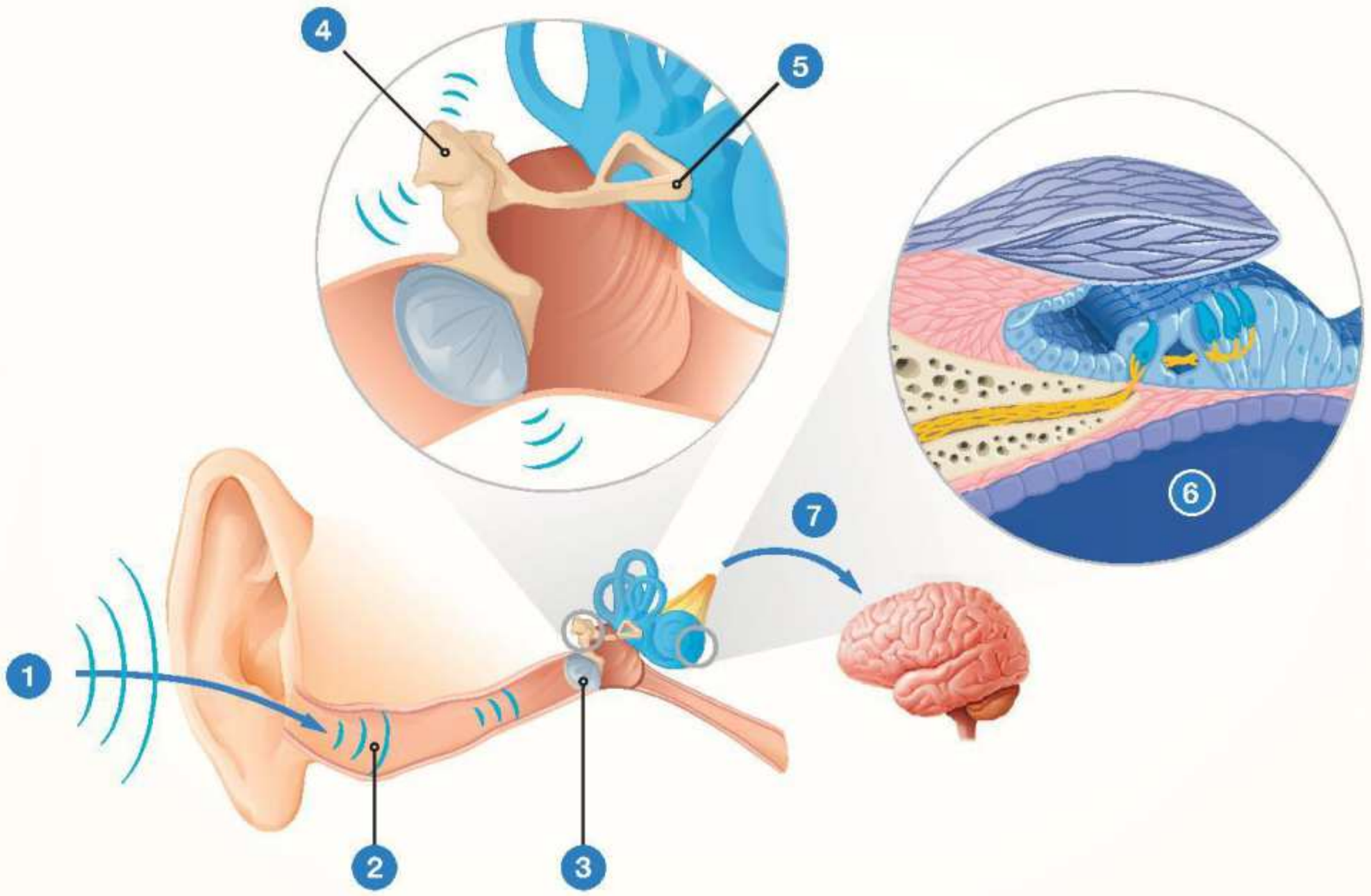
Otolity (obraz spod SEM) to małe kryształki węglanu wapnia i fosforanu wapnia.

Budowa narządu równowagi



W jaki sposób słyszymy?

Mechanizm słyszenia jest uwarunkowany głównie procesami fizycznymi, m.in. wzmacnianiem fal dźwiękowych (mechanicznych) w uchu środkowym oraz w uchu wewnętrznym.



1. Dźwięk w postaci fali dźwiękowej dociera do ucha.
2. Małżowina uszna wychwytuje falę dźwiękową i kieruje ją do przewodu słuchowego.
3. Przewodem słuchowym fala dźwiękowa dociera do błony bębenkowej i wprawia ją w drgania.
4. Drgania z błony bębenkowej są przenoszone na kolejne kosteczki słuchowe: młoteczek, kowadełko i strzemiączko.
5. Drgania strzemiączka są odbierane przez błonę okienka owalnego, która wywołuje ruch śródchłonki wypełniającej wnętrze przedsionka oraz ślimaka.
6. Wewnątrz ślimaka znajduje się **narząd spiralny**, czyli właściwy narząd słuchu, zawierający komórki słuchowe – mechanoreceptory. Komórki te mają liczne rzęski, które uginają się pod wpływem ruchu śródchłonki. Odkształcenia rzęsek powodują powstanie impulsów nerwowych w komórkach słuchowych.
7. Impulsy te są następnie przekazywane nerwem słuchowym (część nerwu przedsionkowo-ślimakowego) do ośrodka słuchu znajdującego się w płacie skroniowym kory mózgu. Tam następuje ich interpretacja i wytworzenie wrażenia dźwiękowego.

Droga, którą pokonuje dźwięk w uchu

małżowina uszna → przewód słuchowy → błona bębenkowa → kosteczki słuchowe → okienko przedsionka → ślimak (narząd spiralny)

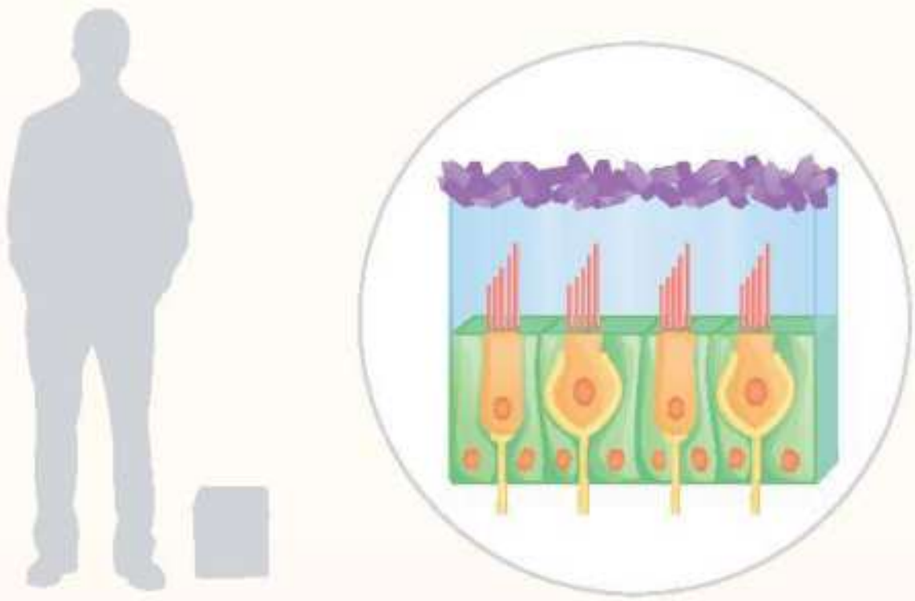
Działanie narządu równowagi

Narząd równowagi dostarcza głównie informacji o kierunku oddziaływania siły ciężkości oraz ruchach głowy w przestrzeni. Receptory zlokalizowane w woreczku i łagiewce reagują przede wszystkim na ruchy głowy w płaszczyźnie góra–dół, natomiast receptory przewodów półkolistych – na ruchy obrotowe.

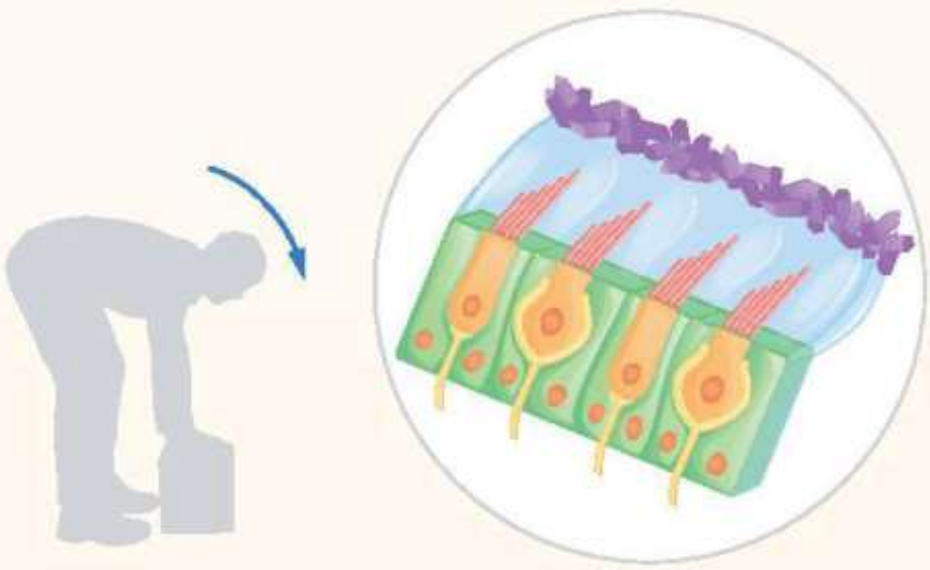


Utrzymanie równowagi jest procesem bardzo złożonym. Poza narządem równowagi biorą w nim udział m.in. wzrok oraz receptory ucisku i rozciągania występujące w mięśniach, ścięgnach i torebkach stawowych.

Ruch w płaszczyźnie pionowej

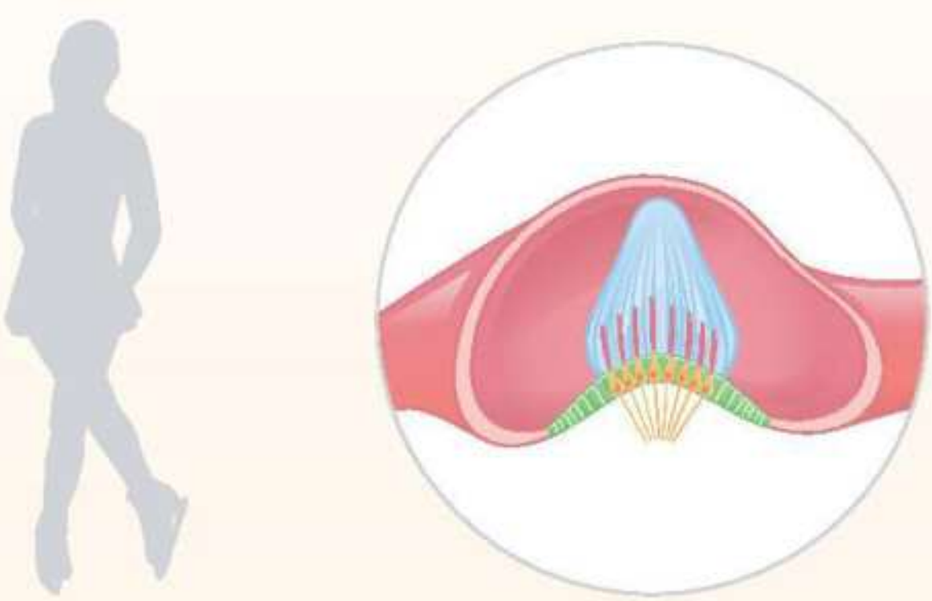


Gdy ciało jest w pozycji wyprostowanej, otolity nie poruszają się i nie powodują ugięcia się rzęsek komórek zmysłowych. Nie powstaje więc impuls nerwowy.

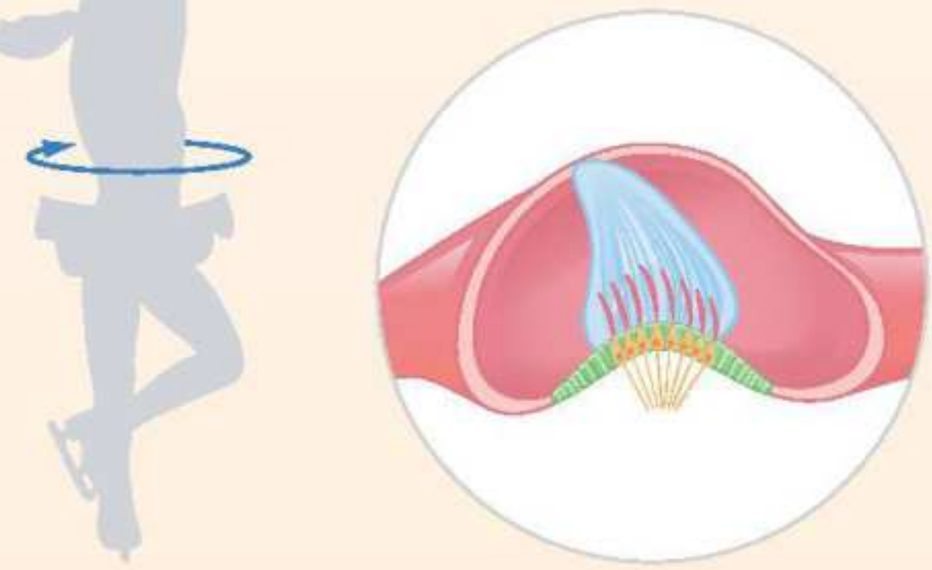


Gdy ciało jest pochylone, otolity pod wpływem siły ciężkości przemieszczają się i uciskają rzęski komórek zmysłowych. Powoduje to wytworzenie impulsu nerwowego i przekazanie do mózgowia informacji o zmianie położenia głowy w przestrzeni.

Ruch w płaszczyźnie poziomej



Gdy ciało jest w bezruchu, płyn wypełniający przewody półkoliste nie porusza się. Rzęski komórek zmysłowych nie uginają się i nie powstaje impuls nerwowy.



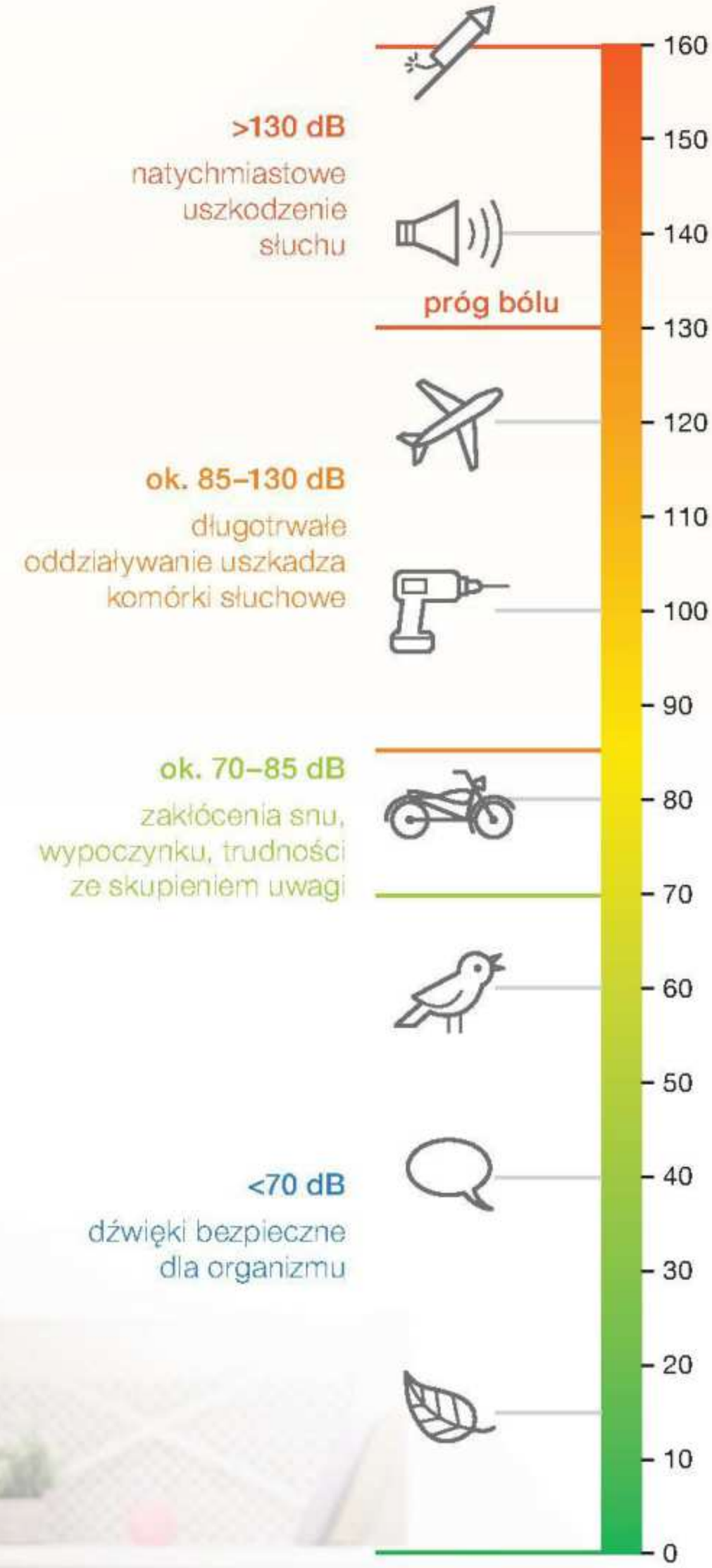
Gdy ciało wykonuje ruch obrotowy, płyn w przewodach półkolistych przemieszcza się, co powoduje ugięcie się rzęsek komórek zmysłowych. W efekcie powstaje impuls nerwowy i informacja o ruchu ciała jest przekazywana do mózgowia.

Dlaczego hałas jest szkodliwy?

Hałas może uszkodzić narząd słuchu i doprowadzić do utraty słuchu. Zbyt głośne dźwięki mogą spowodować m.in. pęknięcie błony bębenkowej, uszkodzenie kosteczek słuchowych lub zniszczenie komórek receptorowych. Warto również pamiętać, że hałas wpływa negatywnie nie tylko na narząd słuchu, lecz także na cały organizm.

Hałas powoduje:

- **zaburzenia działania zmysłu równowagi** – wywołanie gwałtownego ruchu płynu wypełniającego błędnik błoniasty, przez co zmysł równowagi przesyła błędne informacje dotyczące położenia ciała,
- **zaburzenia pracy układu krążenia** – zwiększenie częstości skurczów serca, podwyższenie ciśnienia tętniczego oraz zmiany przepływu krwi w obrębie narządów wewnętrznych,
- **zaburzenia czynności gruczołów dokrewnych** – głównie tarczycy (nadczynność tarczycy), nadnerczy oraz gruczołów płciowych,
- **pogorszenie widzenia** – ograniczenie pola widzenia, pogorszenie widzenia nocnego, a także zmniejszenie zdolności rozróżniania barw,
- **zaburzenia funkcjonowania przewodu pokarmowego** – w tym osłabienie jego perystaltyki,
- **zmniejszenie masy ciała potomstwa** – jeżeli kobiety w czasie ciąży są narażone na hałas.





Słuchanie muzyki jest dobrą metodą relaksu. Gdy korzysta się ze słuchawek, nie należy przekraczać bezpiecznego poziomu głośności.

Osoby niedosłyszące i niesłyszące

Do częściowej lub całkowitej utraty słuchu może dochodzić m.in. na skutek urazów ucha lub niektórych chorób, np. zapalenia ucha, zapalenia opon mózgowo-rdzeniowych czy stwardnienia rozsianego. Poza tym niektórzy ludzie rodzą się z niedosłuchem, spowodowanym m.in. zaburzeniami w rozwoju zarodkowym lub rozwoju płodowym.



U osób z głębokim niedosłuchem stosuje się często implant ślimakowy. Jest to elektroniczne urządzenie, które umożliwia słyszenie dźwięków. Implant składa się z części zewnętrznej, która przetwarza dźwięki dobiegające z otoczenia, oraz z części wewnętrznej, czyli elektrod wprowadzonych do ślimaka.

Język migowy

Wiele osób z wrodzonym niedosłuchem nie wykształca również umiejętności mowy artykułowanej. Dlatego powstały języki migowe, które służą do porozumiewania się za pomocą gestów. W ten sposób można przekazać informacje na każdy temat, zarówno konkretny, jak i abstrakcyjny.



Język migowy nie jest uniwersalny. Na przykład polski język migowy jest inny niż angielski język migowy.

Polecenia kontrolne

1. Wymień trzy podstawowe elementy ucha. Określ funkcje każdego z nich.
2. Wyjaśnij, w jaki sposób trąbka słuchowa wyrównuje ciśnienie powietrza po obu stronach błony bębenkowej.
3. Wymień elementy ucha człowieka zgodnie z kolejnością, w jakiej przechodzi przez nie fala dźwiękowa.
4. Wyjaśnij, w jaki sposób płyn wypełniający kanały półkoliste generuje powstawanie bodźców przekształcanych w impulsy nerwowe.
5. Porównaj sposób pobudzenia receptorów słuchu ze sposobem pobudzenia receptorów równowagi.
6. Na podstawie dostępnych źródeł scharakteryzuj zakres wrażliwości ludzkiego słuchu, uwzględniając wysokość oraz natężenie rejestrowanych dźwięków.
7. Wymień przykładowe konsekwencje, jakie dla zdrowia człowieka ma częste słuchanie dźwięków przekraczających 90 dB.

9.4. Narządy smaku oraz węchu

Zwróć uwagę na:
- budowę i funkcje narządów smaku i węchu,
- mechanizm powstawania wrażeń węchowych i smakowych.

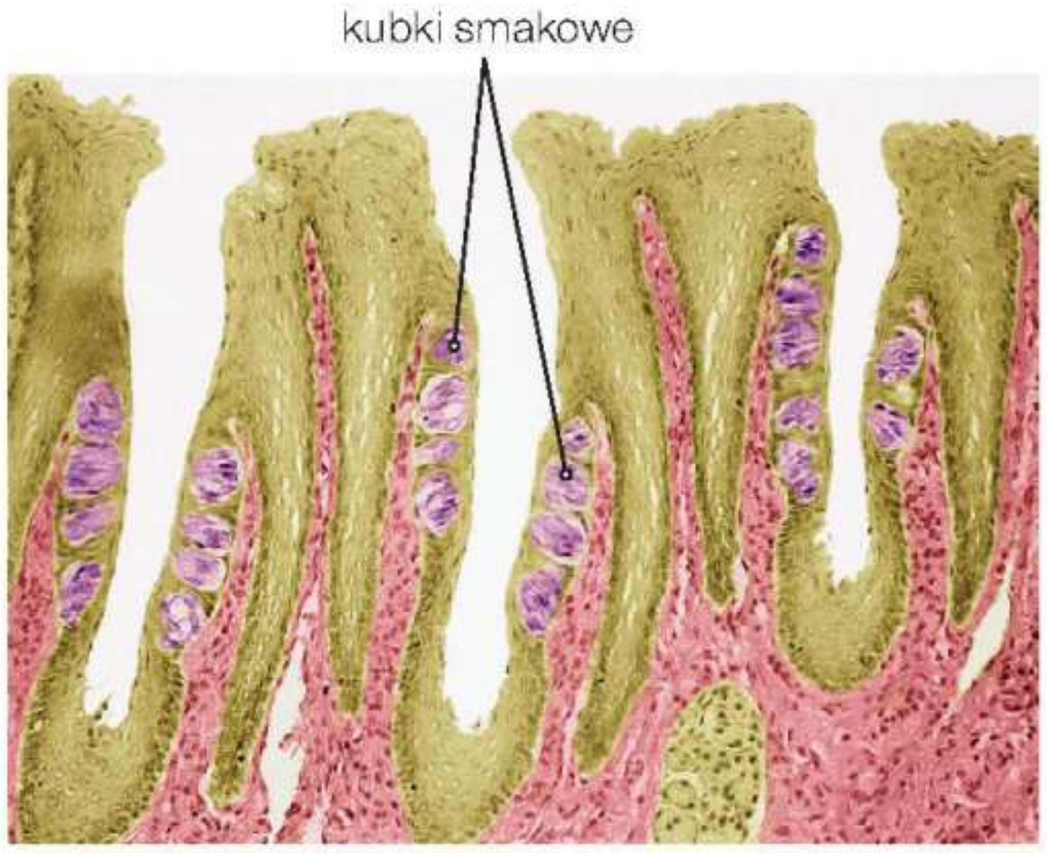
Zmysły smaku i węchu umożliwiają głównie jakościową ocenę pokarmu. Pokarm o nieprzyjemnym zapachu i smaku może np. być zgniły lub zawierać toksyczne substancje (wiele trucizn ma gorzki smak). Ponadto oba zmysły uczestniczą w regulacji czynności układu pokarmowego.

Narząd smaku znajduje się w jamie ustnej, a narząd węchu – w jamie nosowej. Receptory obu narządów należą do chemoreceptorów.

Budowa i funkcje narządu smaku

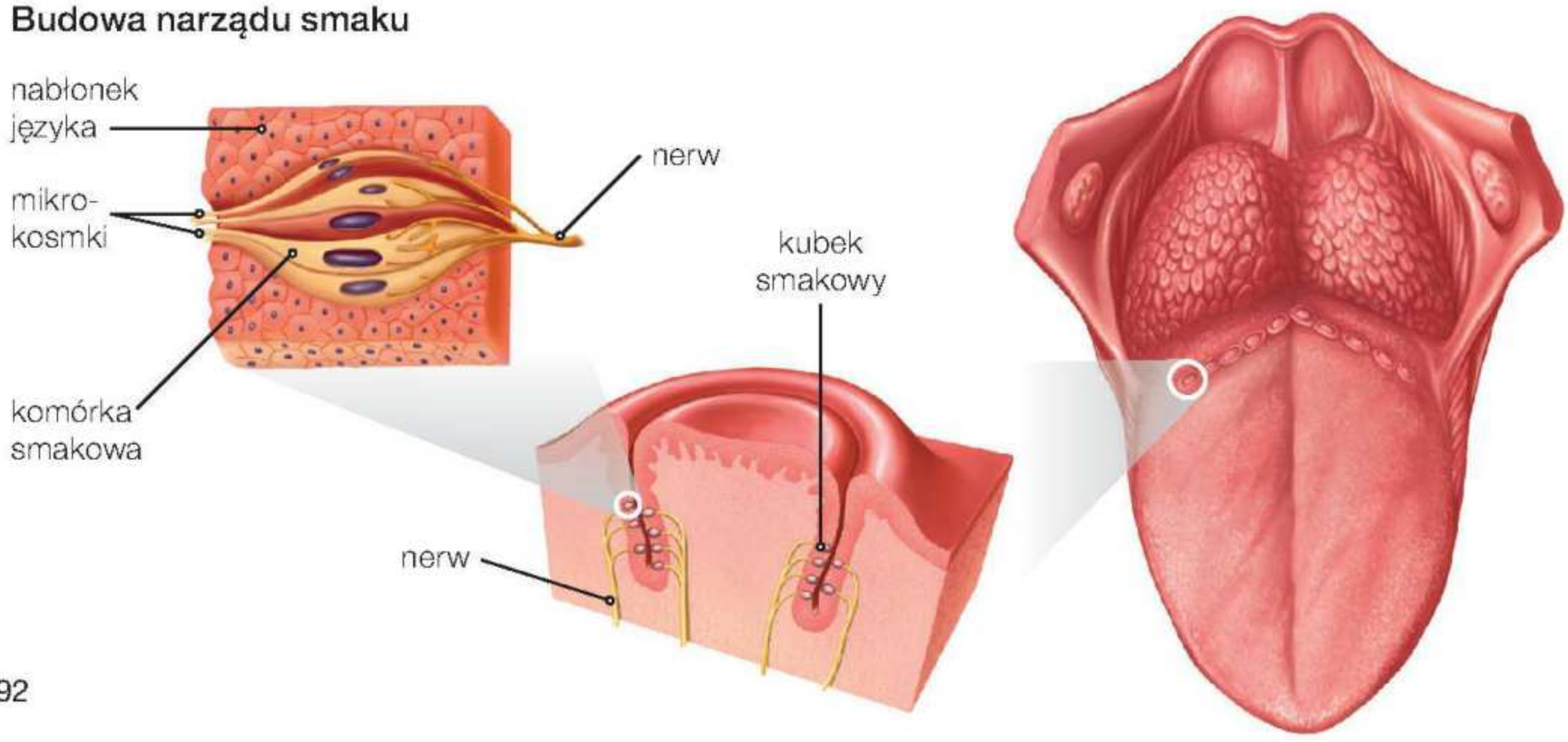
Narządem smaku są **kubki smakowe**, rozmieszczone przede wszystkim w **brodawkach języka**, a także w obrębie innych części jamy ustnej. Biologiczna funkcja receptorów smaku polega na określeniu przydatności pokarmu do spożycia oraz odruchowym pobudzeniu wydzielniczej czynności gruczołów układu pokarmowego, co w znacznym stopniu usprawnia obróbkę i przyswajanie pokarmu. Receptory smaku wykazują wrażliwość tylko na substancje rozpuszczone w wodzie. Z tego powodu suchy pokarm znajdujący się w jamie ustnej powinien być odpowiednio nawilżony śliną.

Człowiek rozróżnia pięć podstawowych smaków: słony, kwaśny, słodki, gorzki oraz umami, czyli mięsny. Smak umami jest odczuwany w kontakcie z glutaminianem (jeden z aminokwasów białkowych). Każdy kubek smakowy zawiera receptory wrażliwe na wszystkie smaki, dzięki czemu odbiera się je całą powierzchnią języka. Z tego powodu nie można stworzyć mapy lokalizacji odczuwania poszczególnych smaków na języku.



Kubki smakowe na powierzchni języka (obraz spod mikroskopu optycznego).

Budowa narządu smaku



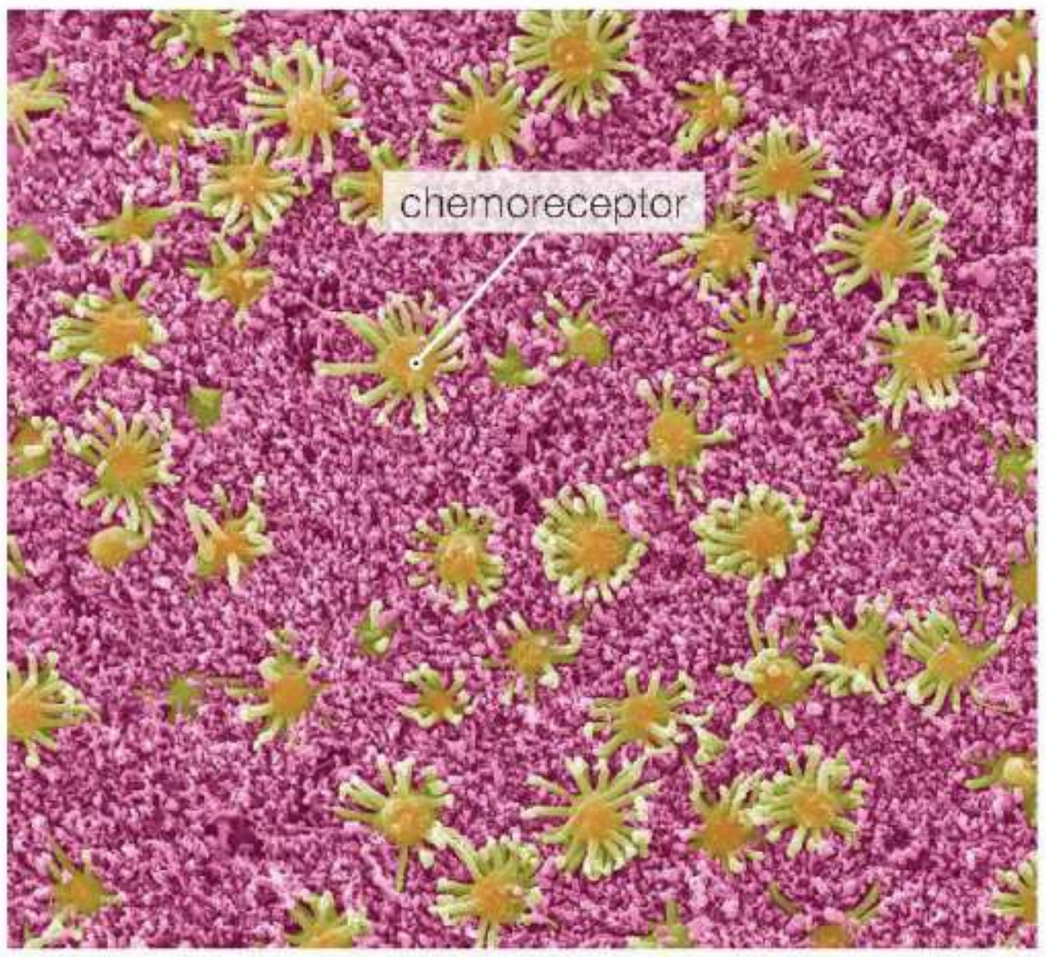
Jak powstają wrażenia smakowe?

Pokarm, który trafia do jamy ustnej, częściowo rozpuszcza się w ślinie. Rozpuszczone substancje dostają się do wnętrza brodawek smakowych i pobudzają komórki smakowe, co wywołuje w nich impulsy nerwowe. Impulsy te są następnie przekazywane do ośrodka smaku w mózgowiu, gdzie zachodzi ich analiza i interpretacja.

Konkretne wrażenie smakowe powstaje w wyniku odpowiedniego połączenia podstawowych smaków. W niektórych przypadkach, np. podczas spożywania ostrej papryki, dochodzi również do pobudzenia receptorów bólu. Na odbiór wrażeń smakowych wpływają ponadto temperatura i konsystencja pokarmu, a także jego wygląd i zapach.

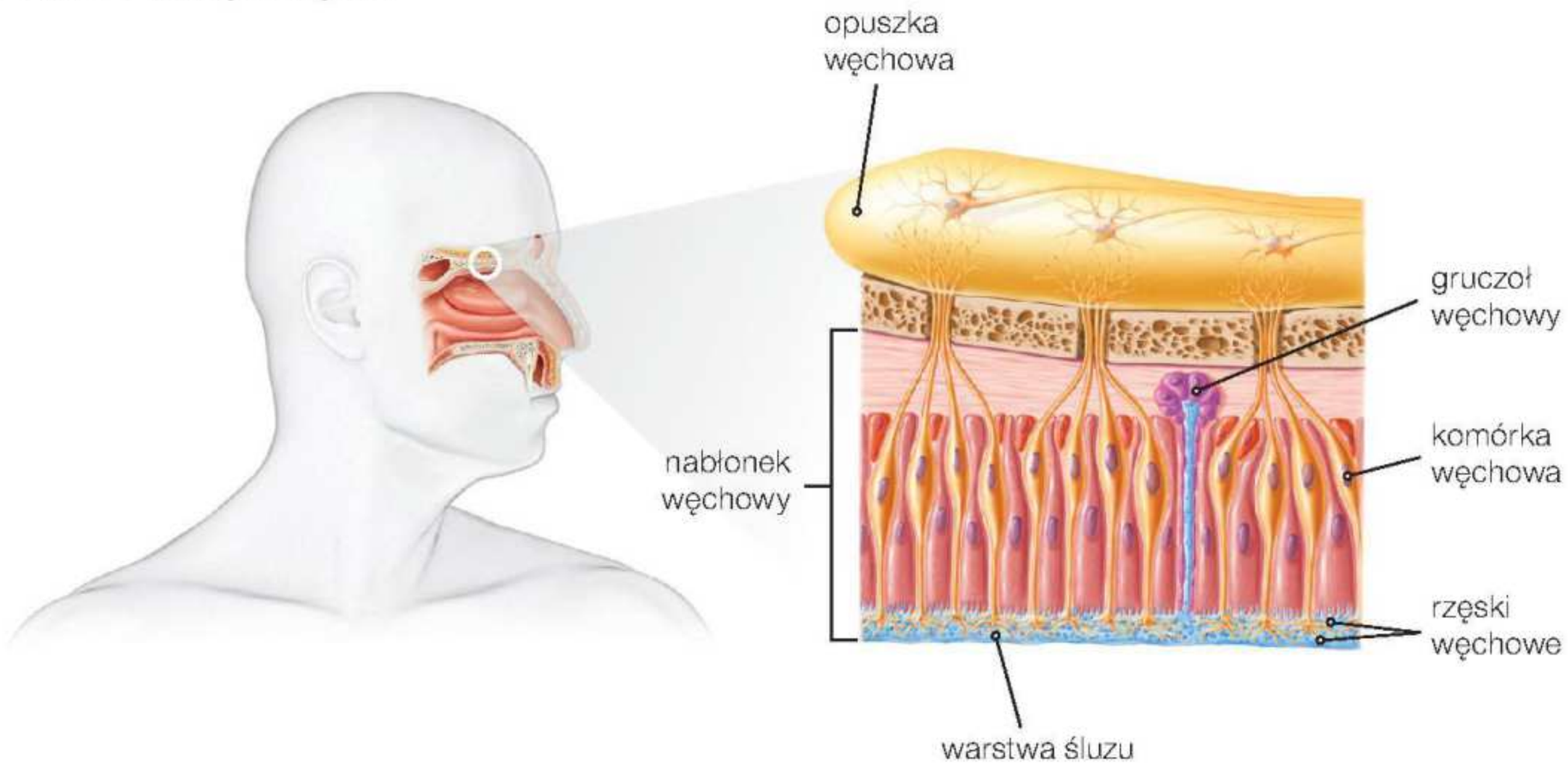
Budowa i funkcje narządu węchu

Narządem węchu jest **nabłonek węchowy**. Znajduje się on w górnej części jamy nosowej i zajmuje powierzchnię ok. 10 cm^2. W nabłonku węchowym występują **komórki węchowe** – chemoreceptory. Mają one postać komórek dwubiegunowych – od ciała komórki odchodzą jeden akson oraz jeden dendryt zakończony rzęskami. Rzęski dendrytu reagują na substancje lotne rozpuszczone w śluzie pokrywającym nabłonek węchowy. Śluz ten jest wydzielany przez występujące w nabłonku **gruczoły węchowe**. Komórki węchowe wykazują większą wrażliwość w porównaniu z receptorami smaku, jednak olbrzymia różnorodność zapachów uniemożliwia tak wyraźne ich odróżnienie, na jakie pozwala narząd smaku. Przypuszcza się, że człowiek jest w stanie rozróżnić ok. 10 tys. zapachów.



Nabłonek węchowy (obraz spod SEM).

Budowa narządu węchu



Nabłonek węchowy to obszar wyspecjalizowany w odbieraniu bodźców chemicznych. Zawiera on komórki węchowe zaopatrzone w rzęski węchowe, a także gruczoły węchowe, których wydzielina jest rozpuszczalnikiem substancji zawartych w powietrzu.

Biologiczna funkcja powonienia człowieka jest związana przede wszystkim z funkcjonowaniem narządów trawiennych. Wrażliwość zmysłu węchu wzrasta w trakcie głodu. Węch jest zmysłem, który szybko ulega **adaptacji**. Oznacza to, że przy długotrwałym działaniu bodźca wrażliwość receptorów znacząco maleje (np. łatwo przyzwyczaić się do zapachu perfum – przestaje się je czuć po pewnym czasie od użycia). Ta szczególna właściwość sprawia, że węch ma niewielkie znaczenie jako zmysł ostrzegania przed zatruciem substancjami lotnymi, jeśli ulatniają się one stale i w niewielkiej ilości. Z tego powodu nie należy lekceważyć jakichkolwiek niepokojących sygnałów zapachowych.

Jak powstają wrażenia zapachowe?

Z każdym wdechem do nosa dostają się lotne substancje chemiczne. Dopóki występują one w postaci gazowej, nie można odczuć ich zapachu. Dlatego nabłonek węchowy jest pokryty śluzem. Obecne w powietrzu cząsteczki rozpuszczają się w nim, a następnie łączą się z błoną komórek węchowych. W ten sposób dochodzi do pobudzenia komórek węchowych, które przesyłają impuls nerwowy do **opuszek węchowych** – struktur położonych poniżej płatów czołowych kory mózgu. W opuszkach zachodzi wstępna analiza zapachu i przekazanie informacji o odebranych wrażeniach zapachowych do ośrodka węchu w korze mózgu. Dopiero tam następuje ostateczna identyfikacja zapachu. Informacja o pobudzeniu trafia również do struktur mózgowia odpowiedzialnych za emocje i procesy pamięciowe. Dlatego niektóre zapachy wywołują emocje i przywołują wspomnienia. Na przykład zapach cynamonu i goździków wielu osobom kojarzy się z okresem świątecznym.

Aromaterapia

Aromaterapia (aromatoterapia) jest jedną z gałęzi tzw. medycyny alternatywnej. Wykorzystuje się w niej naturalne olejki eteryczne, czyli wonne substancje pozyskiwane z różnych gatunków roślin. Substancje te są wprowadzane do organizmu przez drogi oddechowe lub skórę. Aromaterapia ma swoich zwolenników i przeciwników. Dostępne są badania zarówno potwierdzające skuteczność olejków eterycznych w leczeniu niektórych chorób, jak i sugerujące, że ich działanie jest tylko efektem placebo.



Olejek eteryczny pozyskiwany z lawendy stosuje się m.in. do leczenia ran pooparzeniowych oraz zaburzeń snu.

Polecenia kontrolne

1. Uzasadnij, że komórki zmysłowe występujące w narządzie smaku i narządzie węchu należą do chemoreceptorów.
2. Wyjaśnij mechanizmy powstawania wrażeń węchowych i smakowych w ciele człowieka.
3. Na podstawie dostępnych źródeł wyjaśnij, jaką rolę odgrywają receptory węchowe w odbiorze wrażeń smakowych.
4. Wykaż znaczenie zmysłów węchu i smaku w ochronie organizmu przed zagrożeniami.

Podsumowanie

1 Receptory – wyspecjalizowane komórki lub wolne zakończenia nerwowe (dendryty), które ulegają pobudzeniu wskutek działania konkretnego rodzaju bodźca.

Podział receptorów ze względu na rodzaj odbieranego bodźca				
fotoreceptory	mechano-receptory	termoreceptory	chemoreceptory	nocyreceptory
bodźce świetlne	bodźce mechaniczne	bodźce termiczne	bodźce chemiczne	bodźce bólowe

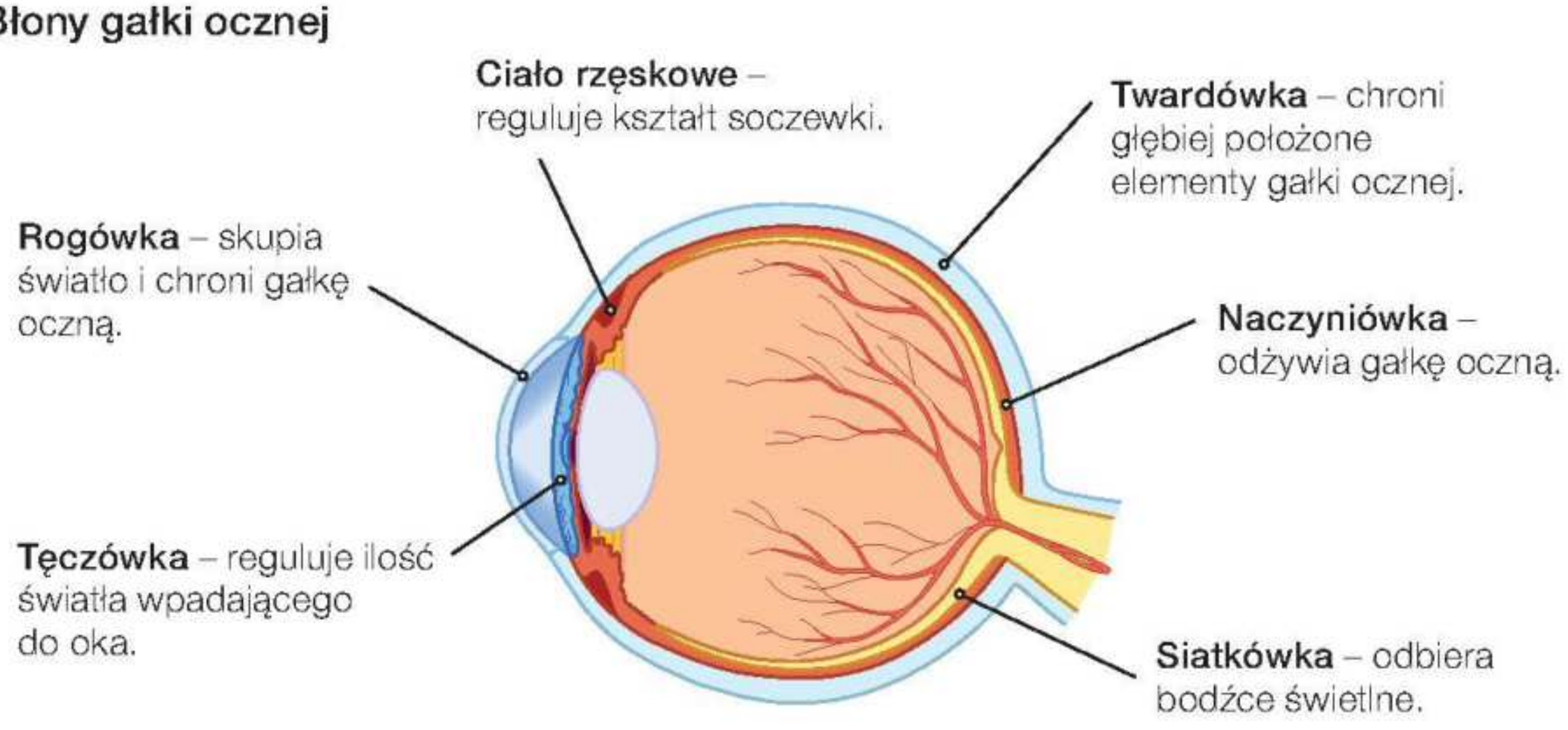
2 Zmysły i tworzące je narządy

Zmysł	Narząd zmysłu
Wzrok	oko zawierające w siatkówce komórki światłoczułe – pręciki (odbierają informacje o kształcie i ruchu) i czopki (komórki wrażliwe na barwy)
Słuch	narząd spiralny zawierający komórki słuchowe, położony w uchu wewnętrznym
Równowaga	komórki zmysłowe zlokalizowane w woreczku, łagiewce oraz przewodach półkolistych znajdujących się w uchu wewnętrznym
Smak	kubki smakowe zawierające komórki smakowe rozmieszczone w brodawkach języka
Węch	nabłonek węchowy z komórkami węchowymi, znajdujący się w górnej części jamy nosowej

3 Elementy oka



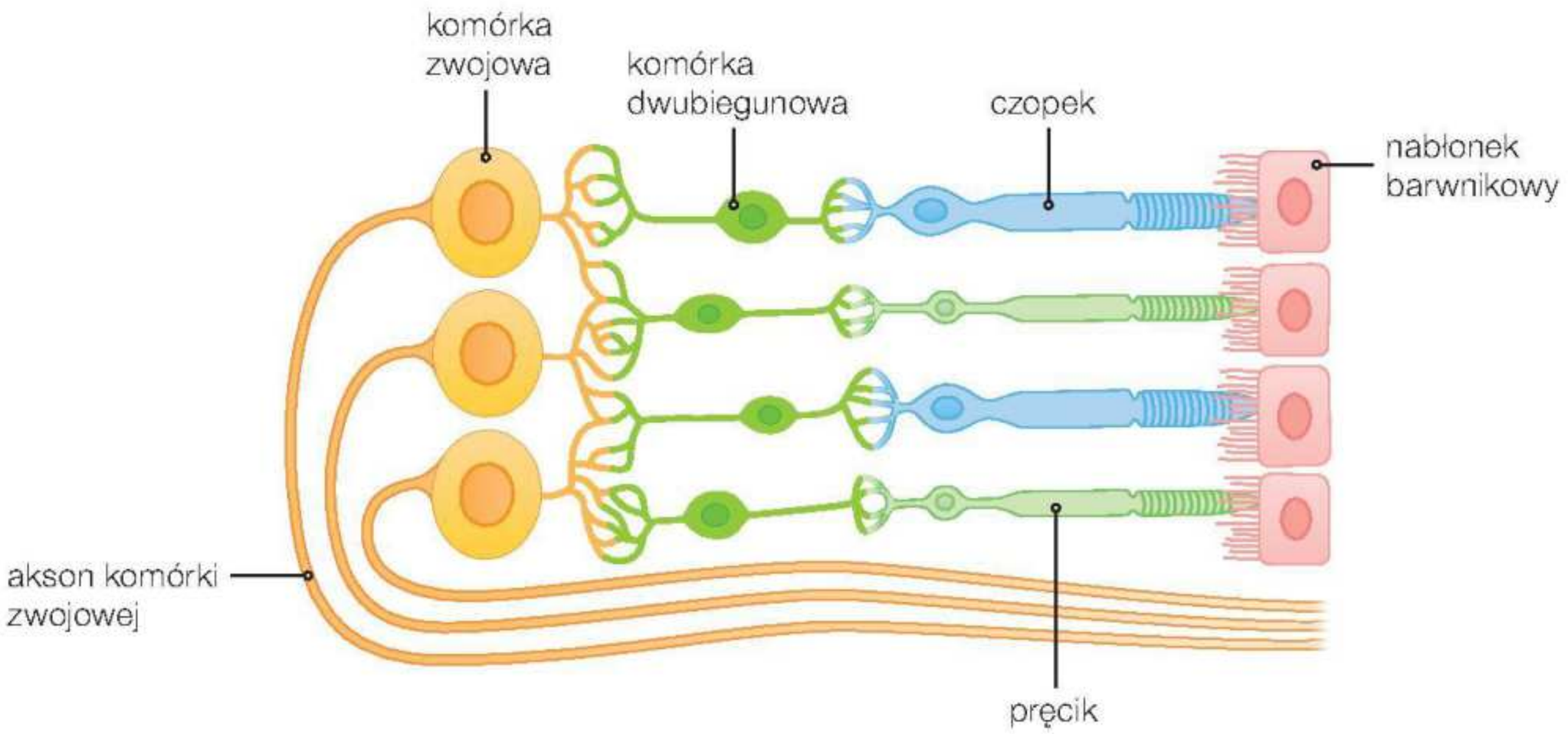
4 Błony gałki ocznej



5 Budowa siatkówki

Siatkówka składa się z trzech warstw komórek:

- warstwy nerwowo-nabłonkowej zawierającej fotoreceptory (czopki i pręciki),
- warstwy środkowej zbudowanej z komórek dwubiegunowych,
- warstwy komórek zwojowych, których aksony łączą się w nerw wzrokowy.



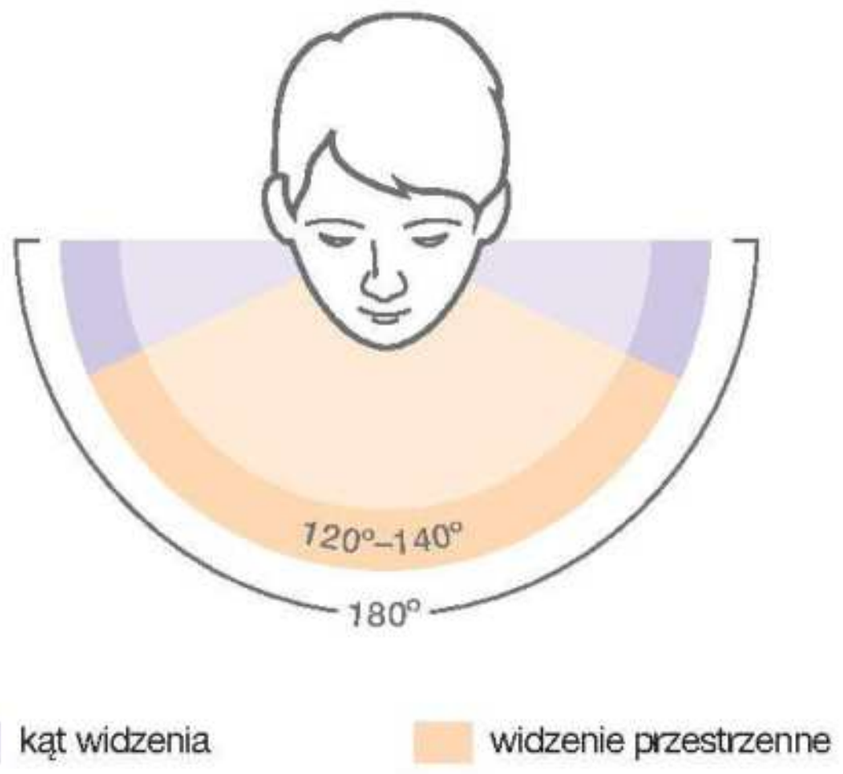
6 Droga promieni świetlnych w oku

rogówka → komora przednia oka → źrenica → soczewka → ciało szkliste oka → siatkówka

7 Akomodacja oka – nastawianie układu optycznego oka na odpowiednią odległość od oglądanego obiektu. Mechanizm akomodacji oka polega na zmianie kształtu soczewki lub na zmianie odległości soczewki od siatkówki.

8 Widzenie przestrzenne

Każde oko ma swoje pole widzenia, czyli postrzegany zakres otaczającej przestrzeni. Pola widzenia obojga oczu częściowo nakładają się na siebie, co daje bardziej rozległe obuoczne pole widzenia. Obiekty występujące w tym polu są wykrywane jednocześnie obojgiem oczu. Jest to widzenie dwuoczne (stereoskopowe, binokularne), które pozwala na dokładną ocenę odległości i wielkości oglądanych obiektów.



9 Elementy ucha

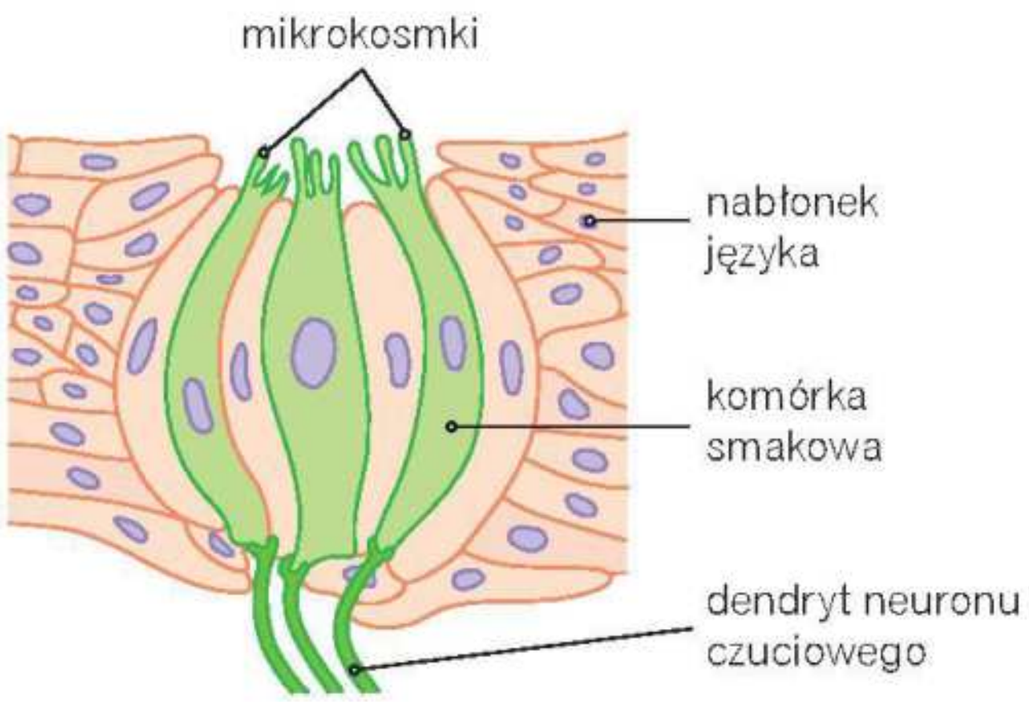
Budowa ucha

ucho zewnętrzne	ucho środkowe	ucho wewnętrzne
• małżowina uszna, która kieruje dźwięki do przewodu słuchowego • przewód słuchowy – kanał wyścielany woskowiną, która zapobiega przedostawaniu się zanieczyszczeń; zamyka go błona bębenkowa, przenosząca fale dźwiękowe do ucha środkowego	• jama bębenkowa z kosteczkami słuchowymi (młoteczkiem, kowadełkiem, strzemiączkiem), które wzmacniają drgania błony bębenkowej i przekazują je do ucha wewnętrznego • trąbka słuchowa – przewód łączący jamę bębenkową z gardłem, który utrzymuje jednakowe ciśnienie powietrza w jamie bębenkowej i przewodzie słuchowym	• ślimak – właściwy narząd słuchu – w którym znajduje się narząd spiralny, przetwarzający drgania na impulsy nerwowe • przedsionek, w którym znajdują się woreczek i łagiewka rejestrujące ruchy głowy (elementy narządu równowagi) • trzy kanały półkoliste, w których znajdują się przewody półkoliste rejestrujące położenie głowy (elementy narządu równowagi)

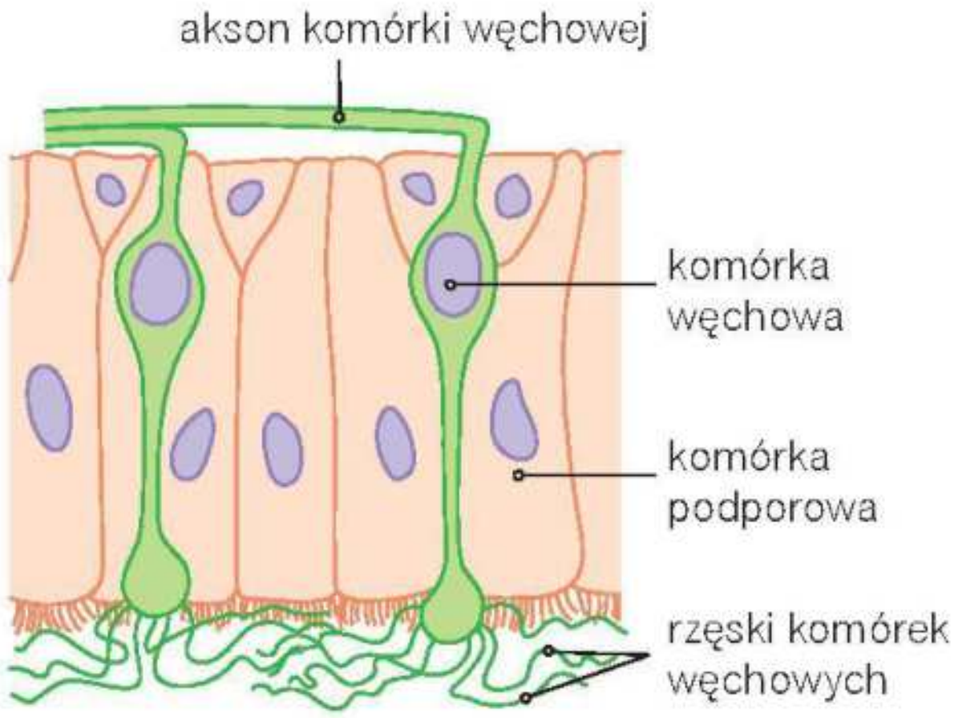
10 Droga, którą pokonuje dźwięk w uchu

małżowina uszna → przewód słuchowy → błona bębenkowa → kosteczki słuchowe → okienko przedsionka → ślimak (narząd spiralny)

11 Budowa narządu smaku i narządu węchu



Budowa narządu smaku.



Budowa narządu węchu.

12 Chemoreceptory zmysłu węchu, czyli komórki węchowe, i chemoreceptory zmysłu smaku, czyli komórki smakowe, są pobudzane przez **substancje chemiczne**, co wywołuje w nich impuls nerwowy przekazywany do mózgu. Tam impuls jest przetwarzany i analizowany.

13 Współdziałanie zmysłów smaku i węchu odgrywa ważną rolę w **ocenie jakości pokarmu**.

Sposób na zadania

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Narządy zmysłów to skupienia receptorów odpowiedzialnych za odbiór bodźców pochodzących ze środowiska zewnętrznego (bodźce świetlne) lub środowiska wewnętrznego (zmiany ciśnienia krwi). Niektóre narządy zmysłów, takie jak skóra i ucho, mogą odbierać więcej niż jeden rodzaj bodźców.

a) Przyporządkuj wymienionym narządom człowieka (1–4) rodzaje receptorów, które występują w tych narządach (A–D).

Uwaga: niektóre receptory mogą być przyporządkowane kilku narządom zmysłów, a niektórym narządom zmysłów może być przyporządkowany więcej niż jeden receptor.

1. Skóra.	A. Fotoreceptory
2. Ucho.	B. Mechanoreceptory.
3. Język.	C. Chemoreceptory.
4. Oko.	D. Termoreceptory.

b) Podaj nazwę grupy receptorów odbierających bodźce pochodzące ze środowiska zewnętrznego.

c) Wyjaśnij, w jaki sposób baroreceptory znajdujące się w ścianach naczyń krwionośnych wpływają na proces regulacji ciśnienia krwi krążącej w ciele człowieka. W odpowiedzi uwzględnij nazwę mechanizmu homeostatycznego, który umożliwia utrzymanie prawidłowego ciśnienia krwi.

Wskazówki

Podpunkt a)

1. Przypomnij sobie rodzaje receptorów i odbieranych przez nie bodźców, a także występujące w ludzkim ciele narządy zmysłów. Wiadomości na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 368–369.
2. Zwróć szczególną uwagę na receptory i narządy wymienione w poleceniu. Informacje na ich temat znajdziesz w podręczniku na s. 40 oraz s. 368–369.
3. Przyporządkuj litery odpowiednim cyfrom.

Podpunkt b)

1. Przypomnij sobie wiadomości dotyczące rodzajów receptorów u zwierząt. Informacje na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 368.
2. Zwróć szczególną uwagę na podział receptorów ze względu na miejsce pochodzenia odbieranego bodźca. Informację na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 368.
3. Sformułuj odpowiedź.

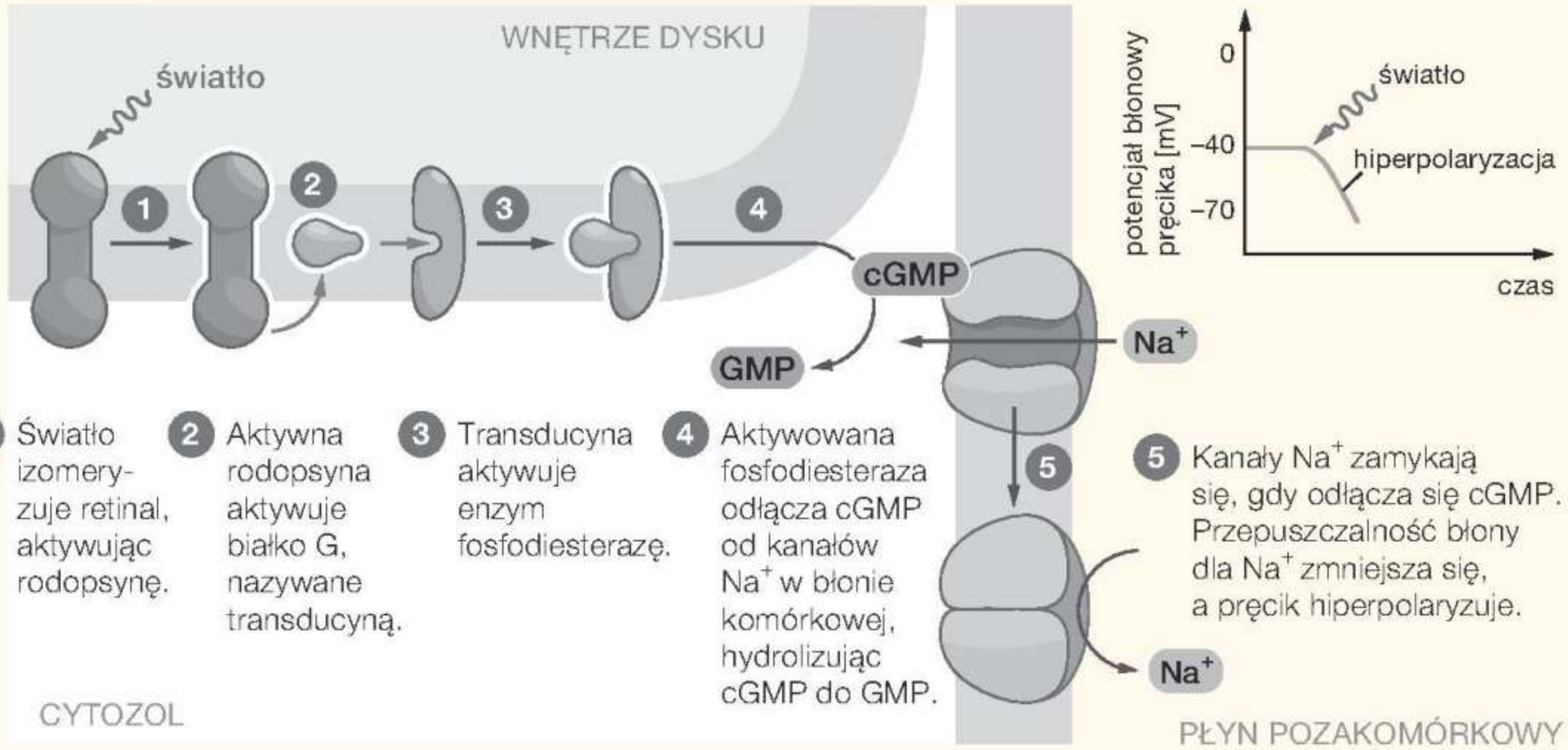
Podpunkt c)

1. Przypomnij sobie, jak organizm człowieka reguluje wartość ciśnienia krwi. Informacje na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 21.
2. Zwróć szczególną uwagę na udział baroreceptorów w ścianach naczyń krwionośnych podczas tej regulacji.
3. Zastanów się, jakie są szczególne cechy mechanizmu regulacji ciśnienia krwi, i przypomnij sobie nazwę tego mechanizmu. Informacje na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 16 i 21.
4. Sformułuj odpowiedź.

Zadania powtórzeniowe

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Schemat przedstawia powstawanie potencjału receptorowego w komórce pręcika.



Na podstawie: N.A. Campbell i in., *Biologia*, Poznań 2013, s. 1103.

a) Na podstawie informacji zawartych na schemacie i własnej wiedzy oceń, czy poniższe stwierdzenia dotyczące pręcików są prawdziwe. Zaznacz P, jeśli stwierdzenie jest prawdziwe, albo F – jeśli jest fałszywe.

1.	We wnętrzu pręcika, zarówno w świetle, jak i w ciemności, stężenie anionów jest wyższe niż stężenie kationów.	P	F
2.	Transport jonów Na^+ do wnętrza pręcika jest transportem aktywnym.	P	F
3.	Pod wpływem światła izomer *cis* retinalu przekształca się w izomer *trans*.	P	F

b) Uporządkuj elementy budowy oka w kolejności zgodnej z kierunkiem przepływu impulsu nerwowego. Wpisz w odpowiednich miejscach cyfry 1–5.

Nazwa elementu budowy oka	Numer
Nerw wzrokowy	?
Komórka dwubiegunowa	?
Płat potyliczny w korze mózgu	?
Pręcik	?
Komórka zwojowa	?

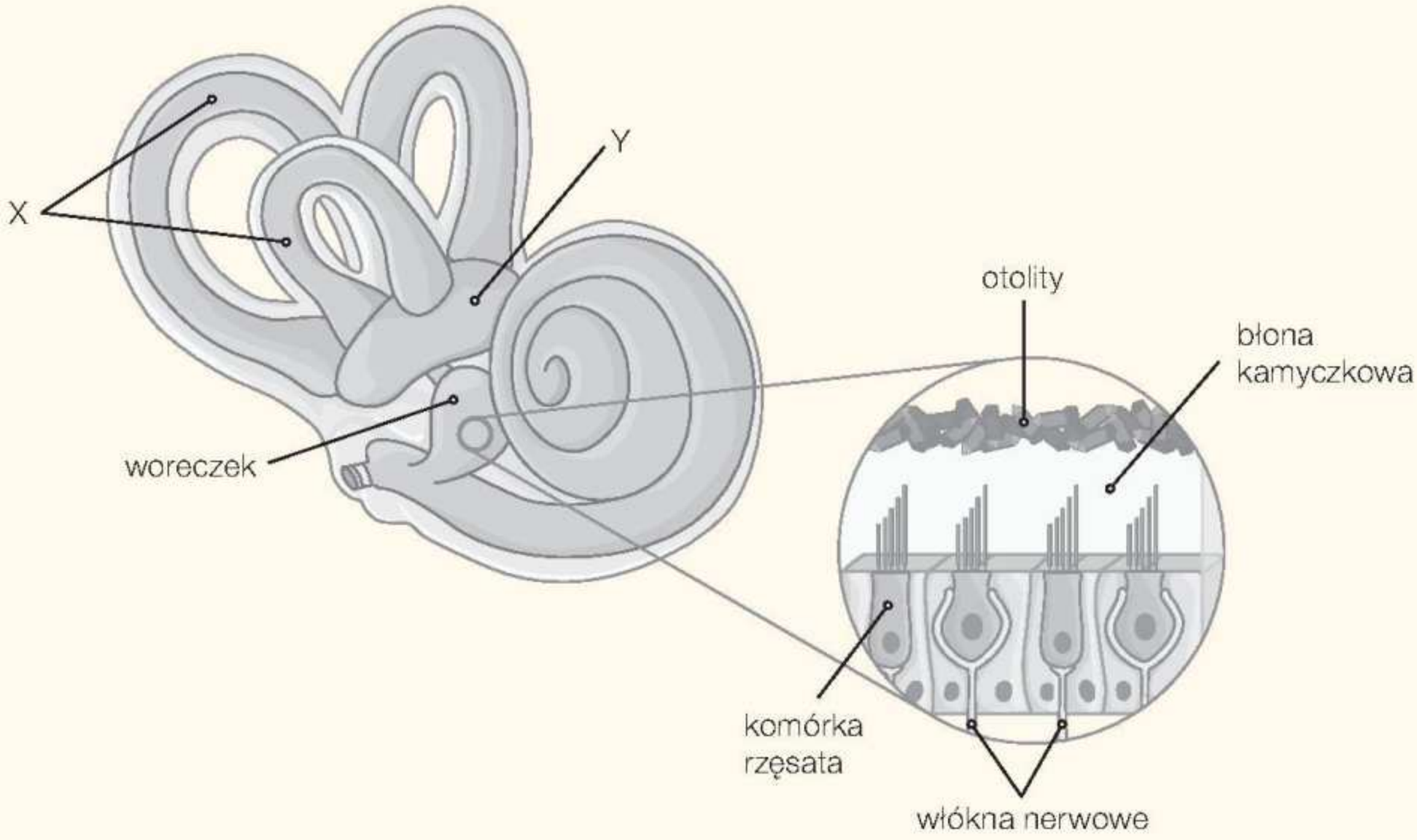
c) Uzupełnij poniższe zdania tak, aby zawierały prawdziwe informacje dotyczące pręcików. Wybierz właściwe określenia spośród podanych.

Pręciki to komórki światłoczułe *wrażliwe / niewrażliwe* na barwy, które najlepiej funkcjonują w *intensywnym oświetleniu / półmroku*. Zapewniają *rozróżnianie kształtów / precyzyjne widzenie obiektów*.

d) Określ, jaki charakter – hydrofilowy czy hydrofobowy – ma część rodopsyny, która wnika do wnętrza błony biologicznej budującej dyski w pręcikach. Odpowiedź uzasadnij.

e) Podaj nazwę witaminy, której pochodną jest retinal.

2 Schemat przedstawia budowę narządu równowagi, który jest zlokalizowany w uchu wewnętrznym człowieka.



a) Podaj nazwy elementów narządu równowagi, które zostały oznaczone na schemacie literami X i Y.

b) Wyjaśnij, w jaki sposób w woreczku powstają bodźce mechaniczne, które powodują generowanie impulsów nerwowych, przewodzonych do odpowiednich ośrodków w mózgowiu. W odpowiedzi uwzględnij płaszczyznę ruchów głowy, która generuje powstawanie tych bodźców.

c) Spośród podanych nazw części mózgowia wybierz nazwy dwóch części, w których znajdują się ośrodki odpowiedzialne za utrzymanie równowagi.

kresomózgowie, międzymózgowie, śródmózgowie, móżdżek, rdzeń przedłużony

d) Podaj nazwę narządu równowagi, który występuje u bezkręgowców.

3 Nabłonek węchowy jest zlokalizowany w górnej części jamy nosowej. Zawiera on komórki węchowe zaopatrzone w rzęski węchowe, a także gruczoły węchowe wydzielające śluz.

a) Wyjaśnij znaczenie śluzu wydzielanego przez gruczoły węchowe w odbieraniu wrażeń zapachowych.

b) Wyjaśnij, dlaczego węch ma niewielkie znaczenie jako zmysł ostrzegania przed zatruciem substancjami lotnymi, które ulatniają się stale i w niewielkiej ilości.

10. Układ hormonalny

10.1. Układ hormonalny u zwierząt
10.2. Budowa i rola układu hormonalnego
10.3. Regulacja wydzielania hormonów
10.4. Nadczynność i niedoczynność gruczołów dokrewnych. Stres

Fot. Pęcherzyki tarczycy (mikrofotografia elektronowa).

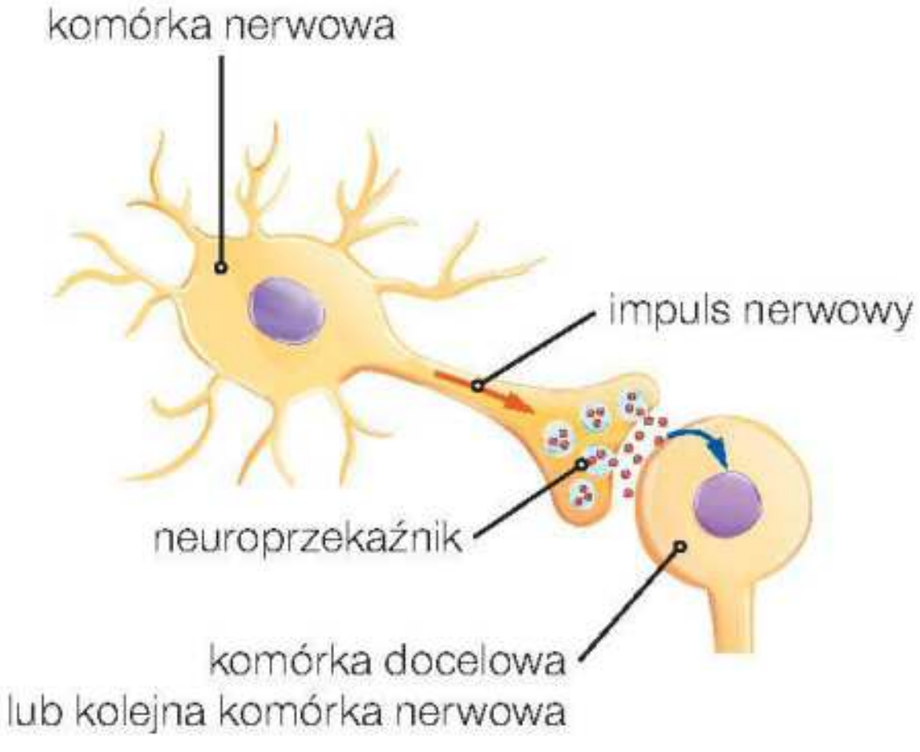
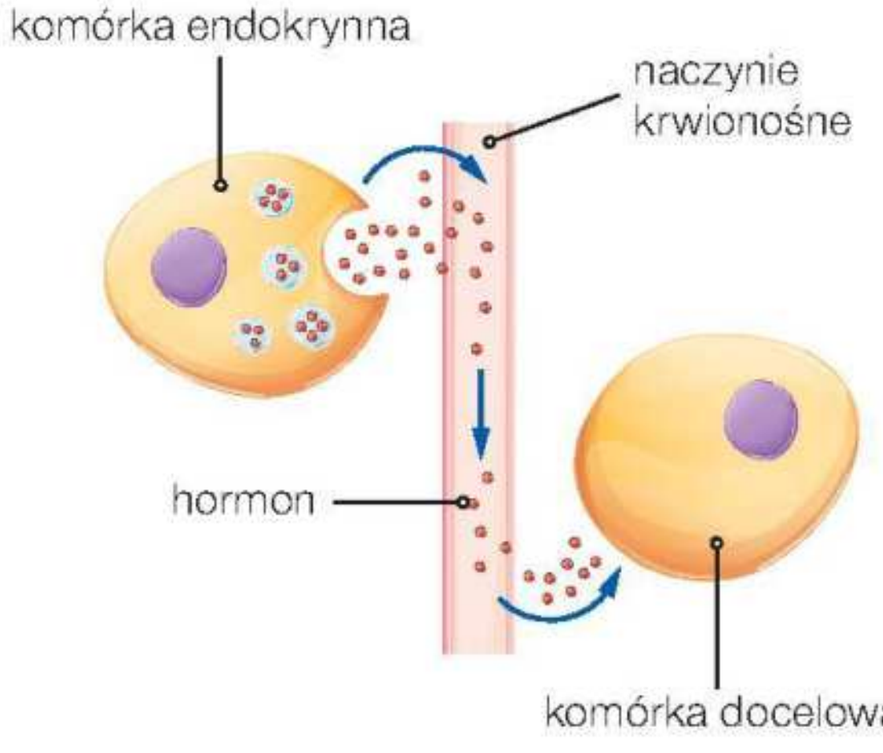
10.1. Układ hormonalny u zwierząt

Zwróć uwagę na:
- funkcje układu hormonalnego u zwierząt,
- regulację hormonalną przeobrażenia u owadów.

Układ hormonalny (układ dokrewny) wraz z układem nerwowym regulują funkcjonowanie organizmu zwierzęcia. Układ hormonalny kontroluje i koordynuje działanie różnych narządów ciała poprzez wydzielanie specyficznych substancji zwanych **hormonami**. Za produkcję i wydzielanie hormonów odpowiadają **gruczoły** lub **komórki endokrynne** (dokrewne). Układ hormonalny, podobnie jak układ nerwowy, umożliwia adaptację organizmu do zmieniających się warunków zewnętrznych i wewnętrznych. O ile jednak impulsy nerwowe docierają tylko do określonego narządu, o tyle hormony rozprowadzane są za pośrednictwem układu krwionośnego po całym ciele. Procesy regulowane przez układ hormonalny zachodzą zazwyczaj powoli, dlatego powolne są również reakcje organizmu na zmiany środowiska. Efekty działania hormonów utrzymują się jednak przez długi czas. Hormony kontrolują wiele procesów metabolicznych (np. syntezę i rozkład glikogenu), a także wzrost i rozmnażanie się zwierząt. Ponadto odpowiadają za linienie u bezkręgowców oraz przeobrażenie postaci larwalnych w postaci dorosłe u bezkręgowców (np. owadów) i kręgowców (np. płazów bezogonowych).

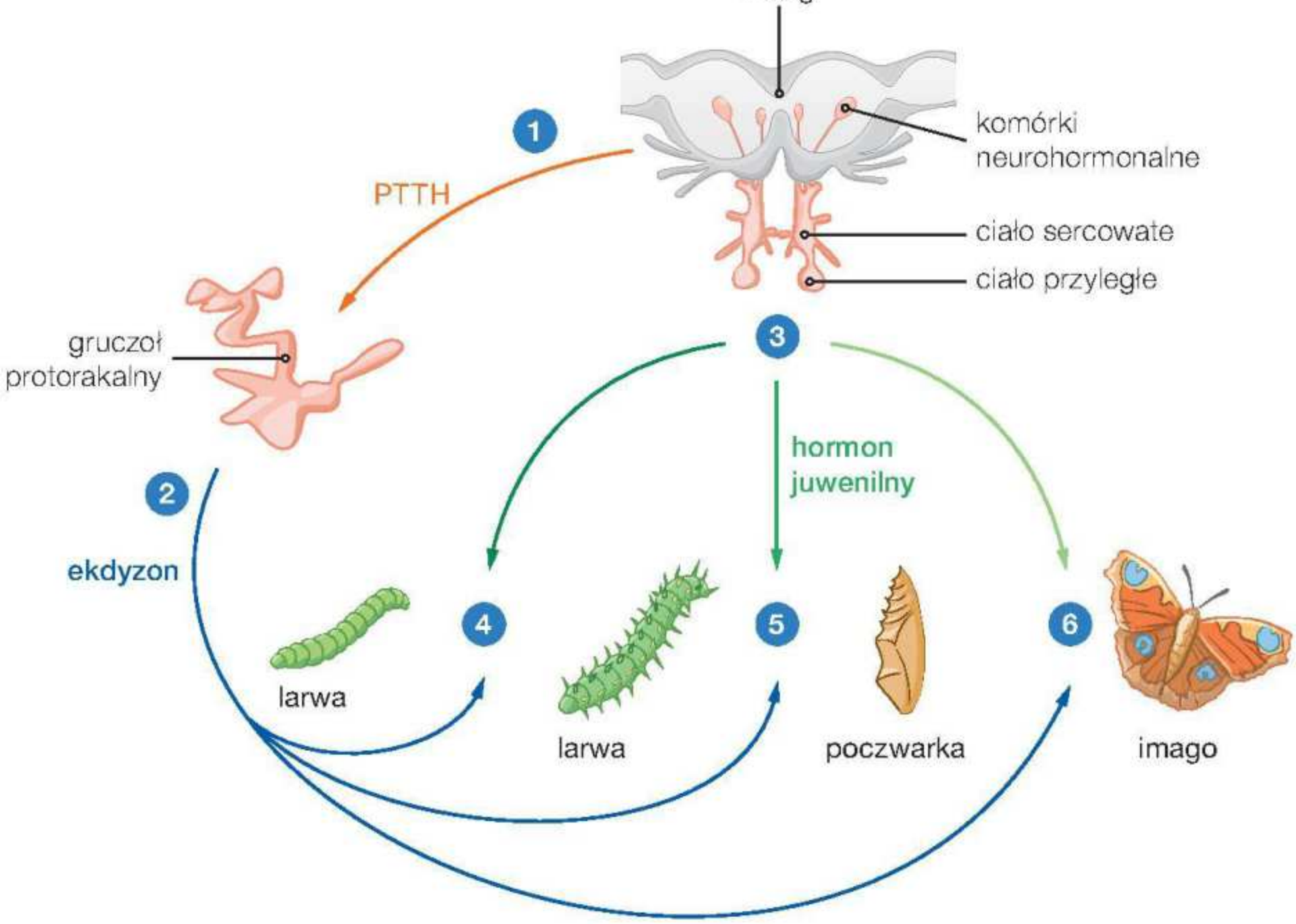
Niektóre hormony zwierzęce, zwane **feromonami**, są wydzielane na zewnątrz ciała przez **gruczoły egzokrynne**. Feromony są substancjami lotnymi, które działają na inne osobniki tego samego gatunku. Gruczoły egzokrynne znajdują się m.in. w skórze oraz w błonach śluzowych narządów rozrodczych. Pierwszym opisanym feromonem był bombikol – substancja wydzielana przez dojrzałe płciowo samice jedwabnika – którego funkcją jest przywabianie samców. Samce wyczuwają zapach feromonu nawet wtedy, gdy jego stężenie wynosi jedną cząsteczkę na trylion cząsteczek powietrza.

Porównanie działania układu nerwowego z działaniem układu hormonalnego

Układ nerwowy	Układ hormonalny
• reguluje pracę narządów za pomocą impulsów nerwowych • regulacja jest szybka i krótkotrwała	• reguluje pracę narządów za pomocą związków chemicznych – hormonów • regulacja jest powolna i długotrwała
	

Regulacja hormonalna przeobrażenia u owadów

Proces przeobrażenia u owadów kontrolują substancje wydzielane przez: ciała sercowate leżące bezpośrednio za mózgiem, ciała przyległe znajdujące się za ciałami sercowatymi oraz gruczoł protorakalny umiejscowiony w segmentach tułowiowych.



1. Ciała sercowate wydzielają hormon protorakotropowy (PTTH).
2. Hormon protorakotropowy pobudza gruczoł protorakalny do wytwarzania hormonu linienia – ekdyzonu.
3. Ciała przyległe wydzielają hormon juwenilny.
4. Przy stałym wysokim stężeniu hormonu juwenilnego zachodzą kolejne linienia larwy.
5. Obniżenie stężenia hormonu juwenilnego poniżej wartości progowej skutkuje przemianą larwy w poczwarkę.
6. Przy stałym niskim stężeniu hormonu juwenilnego zachodzi przeobrażenie poczwarki w postać imago.

Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij, na czym polega różnica między gruczołami endokrynnymi a gruczołami egzokrynnymi.
2. Na podstawie dostępnych źródeł przygotuj prezentację dotyczącą roli feromonów u zwierząt.
3. Podaj dwie różnice między sposobem przekazywania informacji w układach nerwowym i hormonalnym.
4. Omów hormonalną regulację przeobrażenia zupełnego u owadów.

10.2. Budowa i rola układu hormonalnego

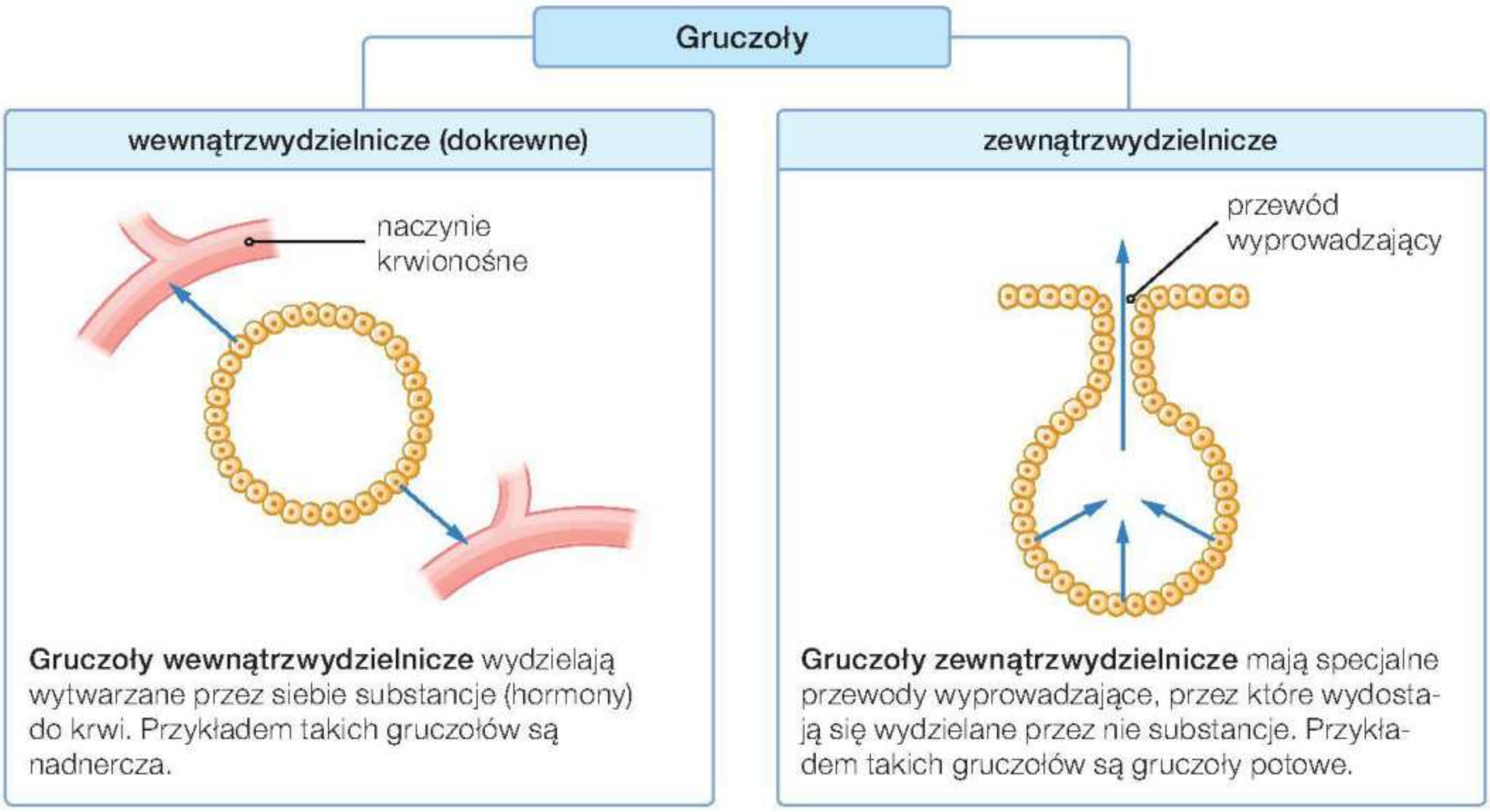
Zwróć uwagę na:
- lokalizację gruczołów dokrewnych i wydzielane przez nie hormony,
- podział hormonów ze względu na budowę chemiczną,
- przykłady hormonów tkankowych oraz ich funkcji,
- rolę hormonów w regulacji wzrostu, tempa metabolizmu i rytmu dobowego.

Układ hormonalny działa za pośrednictwem **hormonów** – substancji organicznych, które modyfikują (stymulują lub hamują) czynności komórek docelowych. Układ hormonalny tworzą **gruczoły dokrewne** oraz wyspecjalizowane **komórki wydzielnicze** rozsiane w obrębie innych narządów i tkanek. Gruczoły dokrewne (gruczoły wewnątrzwydzielnicze) nie mają przewodów wyprowadzających wydzielinę, a produkowane przez nie hormony trafiają na drodze **egzocytozy** bezpośrednio do krwi lub innych płynów ustrojowych. Nauka, która zajmuje się wydzielaniem wewnętrznym, nosi nazwę **endokrynologii**.

Główne funkcje układu hormonalnego to:
- regulowanie i koordynowanie pracy narządów, co umożliwia adaptację organizmu do zmian zachodzących w środowisku oraz zapewnia utrzymanie homeostazy,
- regulowanie procesów związanych z rozmnażaniem,
- regulowanie procesów wzrostu i rozwoju,
- regulowanie procesów metabolicznych.

Oprócz gruczołów wewnątrzwydzielniczych w organizmie znajdują się także **gruczoły zewnątrzwydzielnicze**, które nie są częścią układu hormonalnego. Należą do nich m.in. gruczoły potowe, gruczoły łojowe i ślinianki.

Budowa gruczołów wewnątrzwydzielniczych i zewnątrzwydzielniczych



Gruczoły wewnątrzwydzielnicze wydzielają wytwarzane przez siebie substancje (hormony) do krwi. Przykładem takich gruczołów są nadnercza.

Gruczoły zewnątrzwydzielnicze mają specjalne przewody wyprowadzające, przez które wydostają się wydzielane przez nie substancje. Przykładem takich gruczołów są gruczoły potowe.

Kryteria podziału hormonów

Jednym z kryteriów podziału hormonów jest ich budowa chemiczna. Ze względu na nią wyróżnia się:

- **hormony steroidowe**, które są syntetyzowane z cholesterolu (np. testosteron),
- **hormony niesteroidowe**, do których należą m.in. hormony białkowe (np. insulina), pochodne aminokwasów (np. tyroksyna), a także pochodne kwasów tłuszczowych (np. prostaglandyny).

Ze względu na miejsce i zakres działania wyróżnia się hormony o działaniu ogólnym oraz hormony tkankowe.

- **Hormony o działaniu ogólnym** są wydzielane przez gruczoły dokrewne. Substancje te działają na komórki docelowe za pośrednictwem układu krwionośnego. Do hormonów o działaniu ogólnym należą m.in. hormon wzrostu czy adrenalina.
- **Hormony tkankowe** są uwalniane przez komórki wydzielnicze, które nie tworzą osobnego narządu, lecz występują w obrębie innych narządów, np. żołądka, jelit czy nerek. Substancje te mogą oddziaływać na komórki znajdujące się w sąsiedztwie komórek wydzielniczych albo docierać do komórek docelowych wraz z krwią. Do hormonów tkankowych należą m.in.: gastryna, erytropoetyna i histamina.

Hormony tkankowe są bardzo dużą i zróżnicowaną grupą związków, obejmującą współcześnie również cytokiny, czyli związki uczestniczące m.in. w procesach odpornościowych.

Biorąc pod uwagę mechanizm działania, hormony można podzielić na:

- takie, których stężenie we krwi ulega znacznym wahaniom w zależności od aktualnego stanu organizmu (np. adrenalina),
- takie, których stężenie we krwi jest utrzymywane na względnie stałym poziomie (np. tyroksyna).

Ze względu na kierunek regulowanych procesów metabolicznych hormony dzieli się na anaboliczne i kataboliczne. **Hormony anaboliczne**, np. insulina lub testosteron, nasilają procesy syntezy. Natomiast **hormony kataboliczne**, np. glukagon lub tyroksyna, nasilają procesy rozkładu, które są związane m.in. z uwalnianiem energii. Hormony kataboliczne i anaboliczne wykazują często działanie antagonistyczne (przeciwstawne).

Czy wiesz, że...

Leptyna to hormon tkankowy wytwarzany głównie w tkance tłuszczowej żółtej, który powoduje zmniejszenie apetytu. Zaburzenia wytwarzania leptyny prowadzą często do nadwagi i otyłości. Leptyna informuje mózg o zasobach energetycznych organizmu, a jej stężenie we krwi jest proporcjonalne do masy tkanki tłuszczowej.

Wybrane hormony tkankowe i ich działanie

Nazwa hormonu	Miejsce wydzielania	Działanie
Gastryna	błona śluzowa żołądka i dwunastnicy	Zwiększa wydzielanie kwasu solnego i pepsyny w żołądku oraz przyspiesza regenerację błony śluzowej żołądka, dwunastnicy i jelita grubego. Pobudza pracę przewodu pokarmowego.
Erytropoetyna	nerki, wątroba	Pobudza wytwarzanie erytrocytów i syntezę hemoglobiny w szpiku kostnym czerwonym. Bodźcem do syntezy erytropoetyny jest m.in. niedotlenienie organizmu.
Histamina	różne komórki i tkanki organizmu, m.in. leukocyty i błona śluzowa przewodu pokarmowego	Bierze udział w powstawaniu stanu zapalnego, a także w reakcjach alergicznych. W efekcie jej działania następuje skurcz mięśni gładkich oskrzeli, skurcz mięśni przewodu pokarmowego i rozszerzenie naczyń krwionośnych.

Sposoby działania hormonów

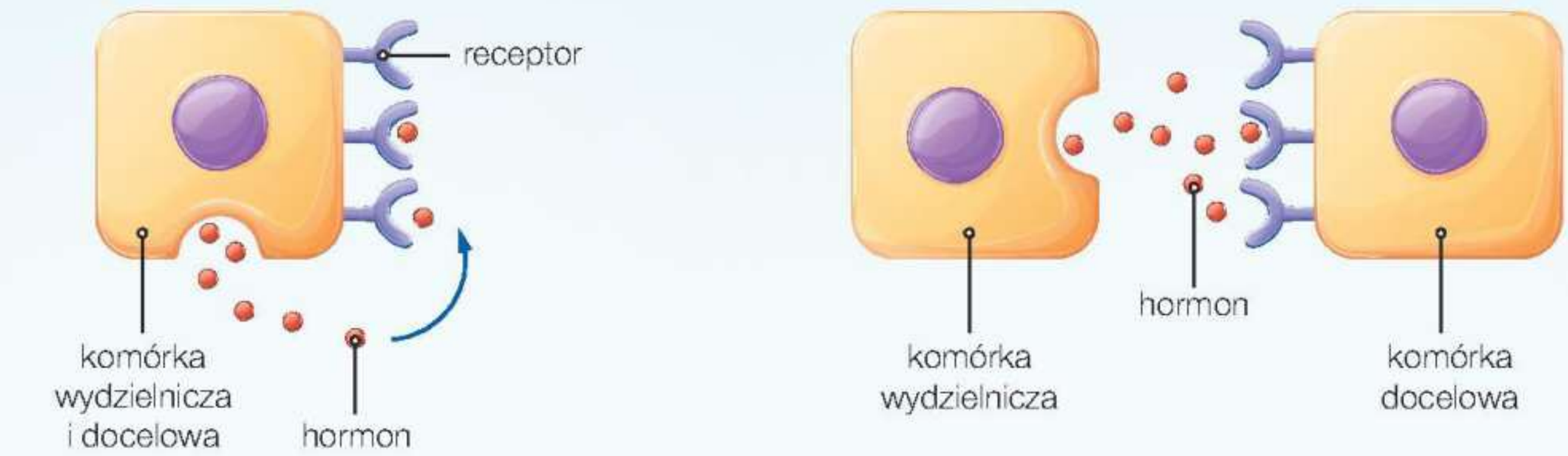
Hormony mogą działać na cztery sposoby: autokrynnie, parakrynnie, endokrynnie i neurokrynnie. Niektóre hormony działają na wszystkie wymienione sposoby, a inne – tylko na kilka lub jeden z nich.

Działanie autokrynne

W tym sposobie działania hormony wpływają na czynność komórek, przez które są wydzielane. Na przykład insulinopodobny czynnik wzrostu I (należący do cytokin) jest produkowany i wydzielany m.in. przez chondrocyty. Jednocześnie oddziałuje on na te same chondrocyty – stymuluje ich namnażanie się oraz hamuje obumieranie. Dzięki temu wpływa na wzrost szkieletu i całego ciała.

Działanie parakrynne

W tym sposobie działania hormony wpływają na czynność komórek sąsiednich, dyfundując do nich przez przestrzeń międzykomórkową. Na przykład cytokiny wytwarzane i wydzielane przez limfocyty oddziałują na sąsiadujące z nimi makrofagi. Dzięki temu stymulują fagocytozę drobnoustrojów chorobotwórczych.

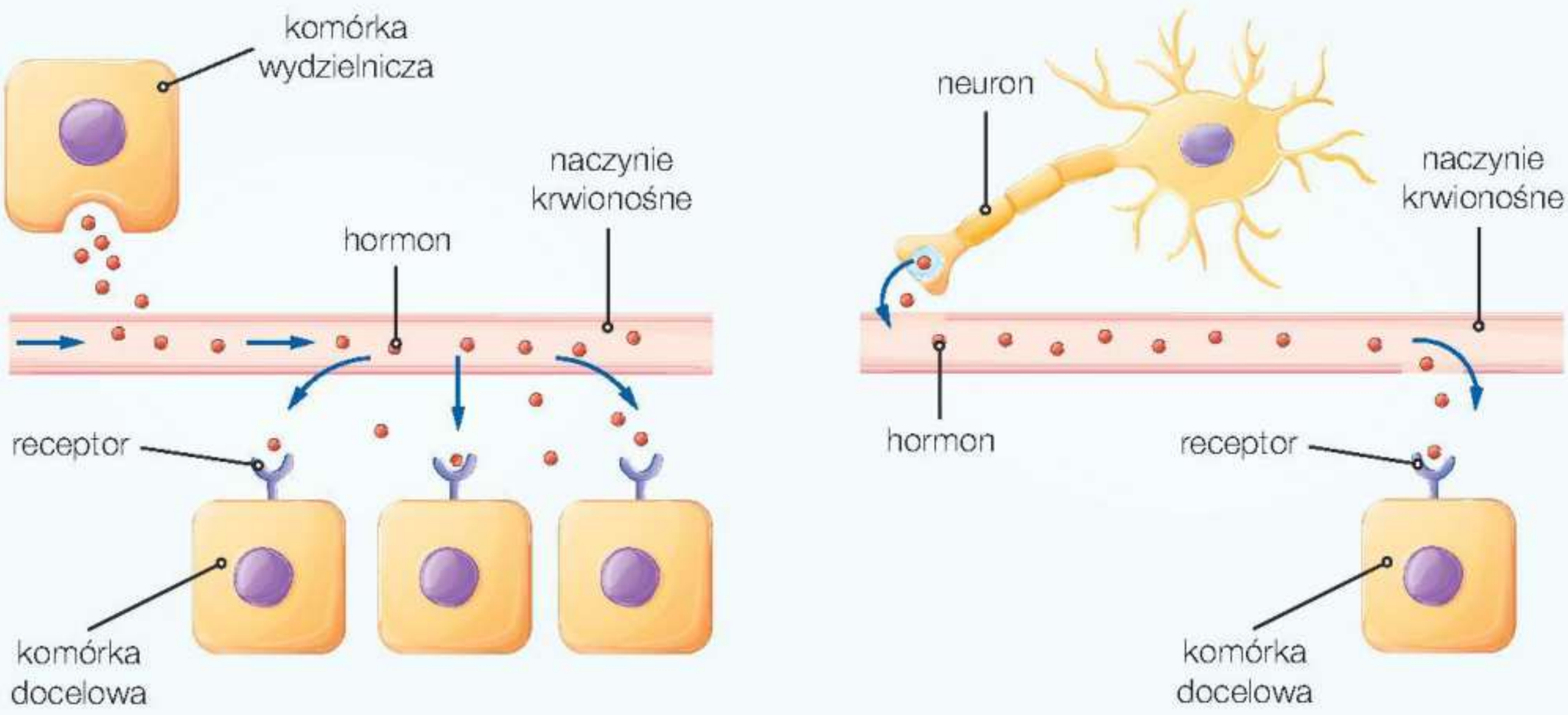


Działanie endokrynne

W tym sposobie działania hormony wpływają na komórki odległych tkanek i narządów, docierając do nich z krwią. Na przykład kalcytonina – hormon wytwarzany i wydzielany przez tarczycę – wpływa na tkankę kostną, blokując uwalnianie z niej wapnia.

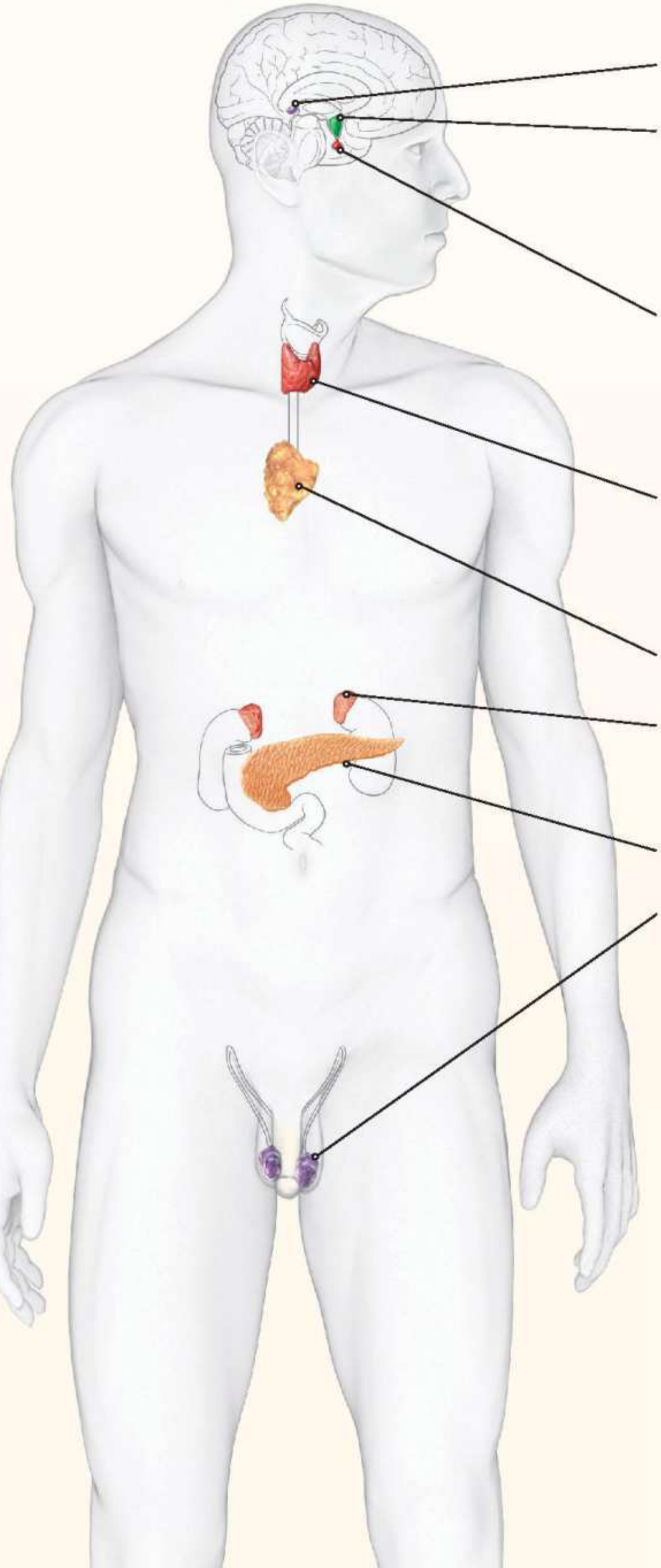
Działanie neurokrynne

W tym sposobie działania neurohormony wydzielane przez aksony neuronów wpływają bezpośrednio na inne neurony, a za pośrednictwem układu krążenia – także na odległe komórki docelowe. Na przykład somatostatyna wytwarzana przez neurony podwzgórza wpływa na komórki przysadki.



Gruczoły dokrewne i wydzielane przez nie hormony

Gruczoły dokrewne znajdują się w różnych miejscach ciała i nie są ze sobą bezpośrednio połączone. Łącznikiem pomiędzy nimi jest układ krwionośny, który transportuje wydzielane przez nie hormony w obrębie całego organizmu. Praca układu hormonalnego jest regulowana przez układ nerwowy za pośrednictwem podwzgórza.



Szyszynka wydziela melatoninę.

Podwzgórze to część mózgowia, która łączy układ nerwowy z układem hormonalnym i steruje funkcją wydzielniczą przysadki. Wytwarza też wazopresynę i oksytocynę, które są transportowane do przysadki i z niej uwalniane.

Przysadka składa się z dwóch części: przysadki gruczołowej (płat przedni) i przysadki nerwowej (płat tylny). Przysadka gruczołowa wydziela hormony przysadki, a przysadka nerwowa magazynuje i uwalnia hormony podwzgórza.



Tarczyca wydziela tyroksynę, trójjodotyroninę i kalcytoninę.

Przytarczyce wydzielają parathormon.

Grasica wytwarza m.in. tymozynę.

Nadnercza są zbudowane z kory i rdzenia. Kora nadnerczy wydziela m.in. kortyzol, a rdzeń nadnerczy – adrenalinę.

Trzustka wytwarza insulinę oraz glukagon.

Jądra wytwarzają testosteron.

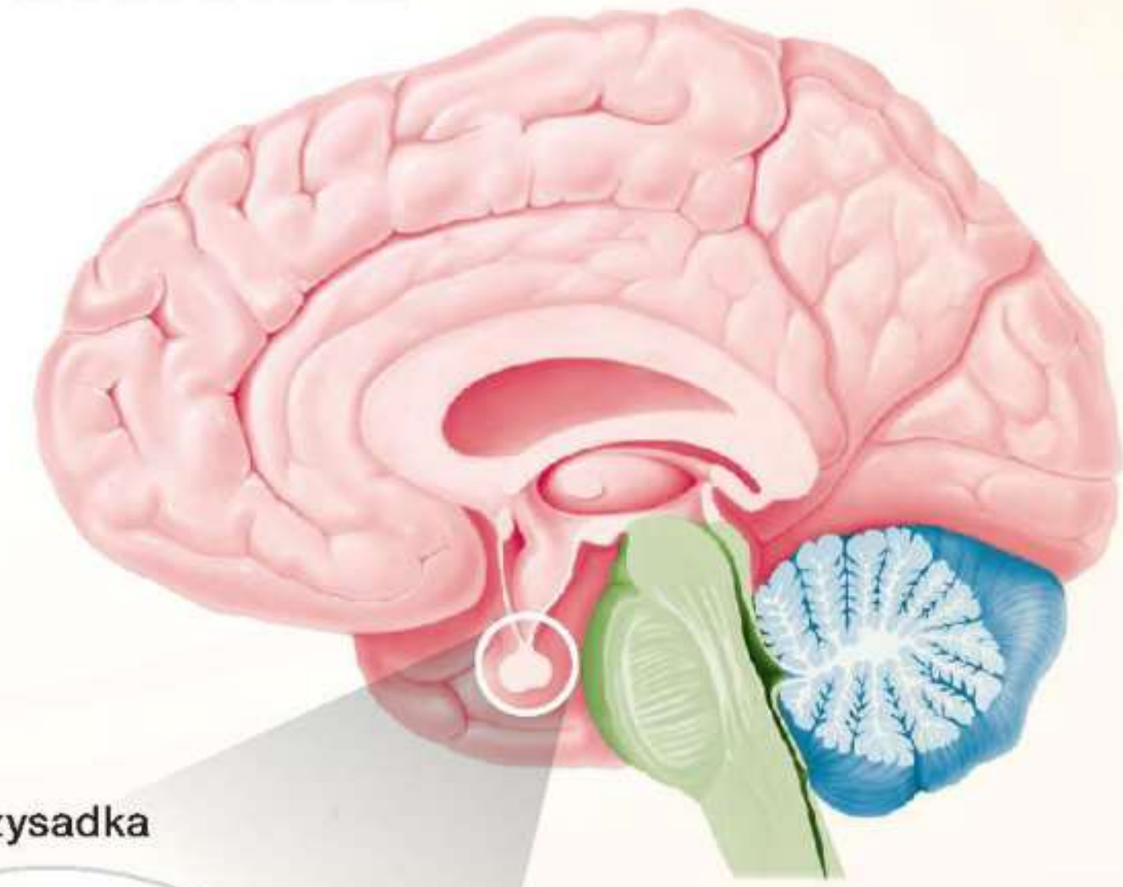


Jajniki wytwarzają estrogeny oraz progesteron.

Funkcje hormonów wydzielanych przez wybrane gruczoły dokrewne

Hormony osi podwzgórze – przysadka – tkanka docelowa

Niektóre hormony podwzgórza są przejściowo magazynowane w tylnym płacie przysadki, a inne regulują czynność wydzielniczą przedniego płata przysadki. Do hormonów wydzielanych przez przedni płat przysadki należą m.in. hormony tropowe, które stymulują działanie tarczycy, kory nadnerczy i gonad.



Przysadka

Hormony przysadki działające bezpośrednio na tkanki docelowe:

- **hormon wzrostu (GH)**. Pobudza przemiany białek, lipidów i sacharydów we wszystkich komórkach, stymuluje wzrost organizmu;
- **prolaktyna (PRL)**. Pobudza gruczoły mlekowe u kobiet po porodzie do wytwarzania mleka, hamuje owulację.

Hormony podwzgórza magazynowane i uwalniane przez przysadkę:

- **wazopresyna (ADH)**. Reguluje gospodarkę wodną przez sterowanie procesem zagęszczania moczu;
- **oksytocyna**. U kobiet wywołuje skurcze macicy oraz wydzielanie mleka, a u mężczyzn – skurcze nasieniowodów.

Hormony przysadki działające pośrednio na tkanki docelowe (hormony tropowe): **tyreotropina (TSH), kortykotropina (ACTH), gonadotropiny (FSH i LH)**.

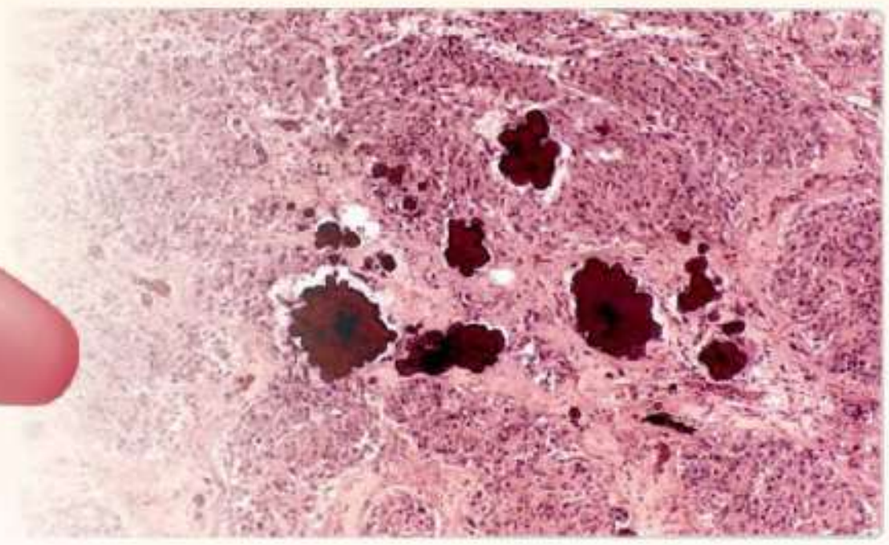
TSH	ACTH	FSH, LH	FSH, LH
Tarczyca	**Kora nadnerczy**	**Jądro**	**Jajnik**
			
▸ **Kalcytonina**. Zmniejsza stężenie wapnia we krwi, blokując uwalnianie wapnia z kości. ▸ **Tyroksyna, trójjodotyronina**. Pobudzają metabolizm, ułatwiają wchłanianie glukozy z przewodu pokarmowego.	▸ **Kortyzol**. Powoduje wzrost stężenia glukozy we krwi, działa przeciwzapalnie, obniża odporność organizmu.	▸ **Testosteron**. Powoduje rozwój męskich narządów rozrodczych, odpowiada za męską budowę ciała, wzrost mięśni szkieletowych i kości oraz rozrost krtani.	▸ **Estrogeny**. Powodują rozwój żeńskich narządów rozrodczych, wpływają na proporcje ciała, barwę głosu, typ owłosienia oraz cykl miesiączkowy. ▸ **Progesteron**. Wpływa na cykl miesiączkowy, umożliwia rozwój zarodka i płodu.

Hormony gruczołów dokrewnych niezależnych od przysadki

Niektóre gruczoły dokrewne nie są regulowane przez hormony tropowe przysadki. Należą do nich m.in.: szyszynka, przytarczyce, grasica, rdzeń nadnerczy i trzustka.

Szyszynka

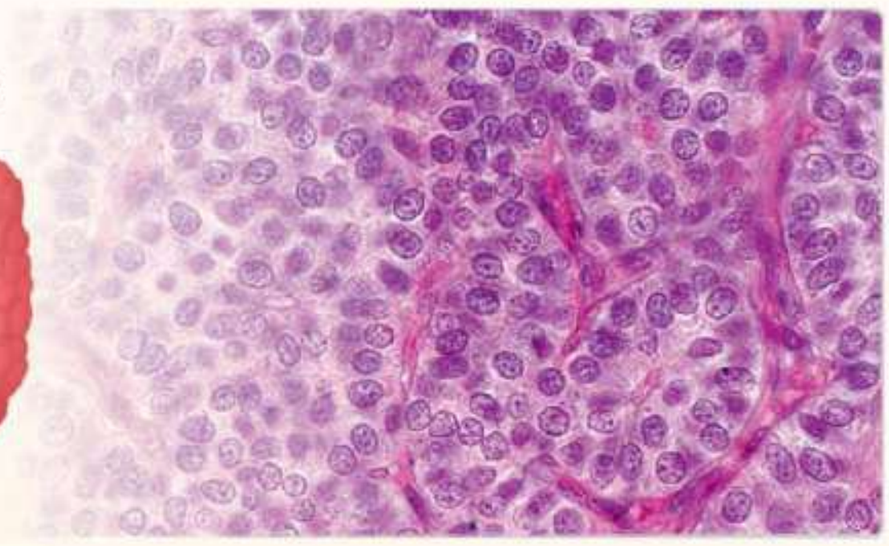




- **Melatonina**. Reguluje rytm dobowy. Wywołuje uczucie senności oraz wprowadza organizm w stan snu. Jest wydzielana głównie w nocy.

Przytarczyce

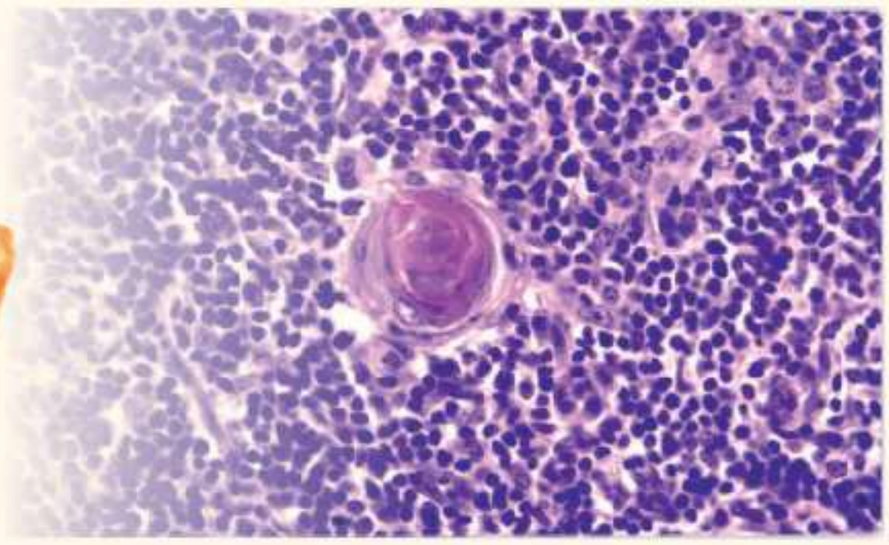




- **Parathormon**. Zwiększa stężenie wapnia we krwi przez uwalnianie go z kości i wzmożone wchłanianie z przewodu pokarmowego.

Grasica

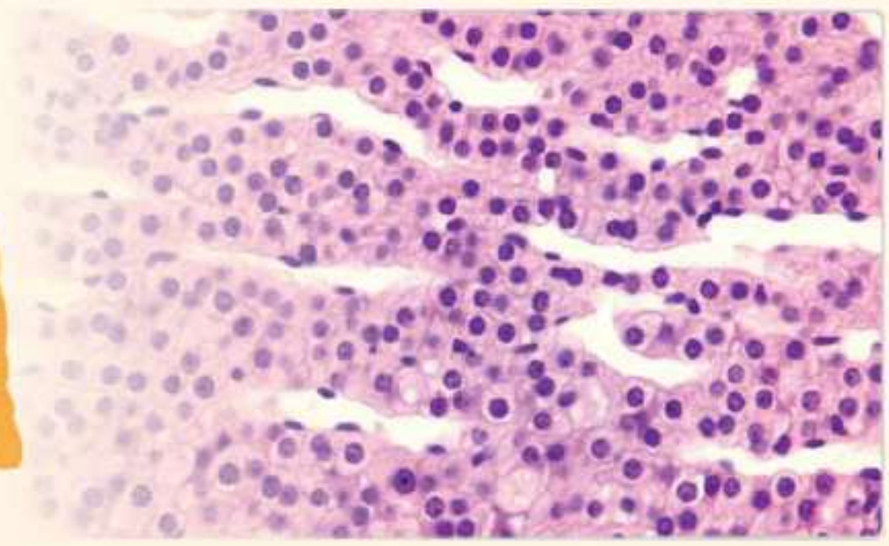




- **Hormony grasicy**. Stymulują rozwój układu odpornościowego u dzieci, przyspieszają dojrzewanie limfocytów T. Należy do nich m.in. tymozyna.

Rdzeń nadnerczy

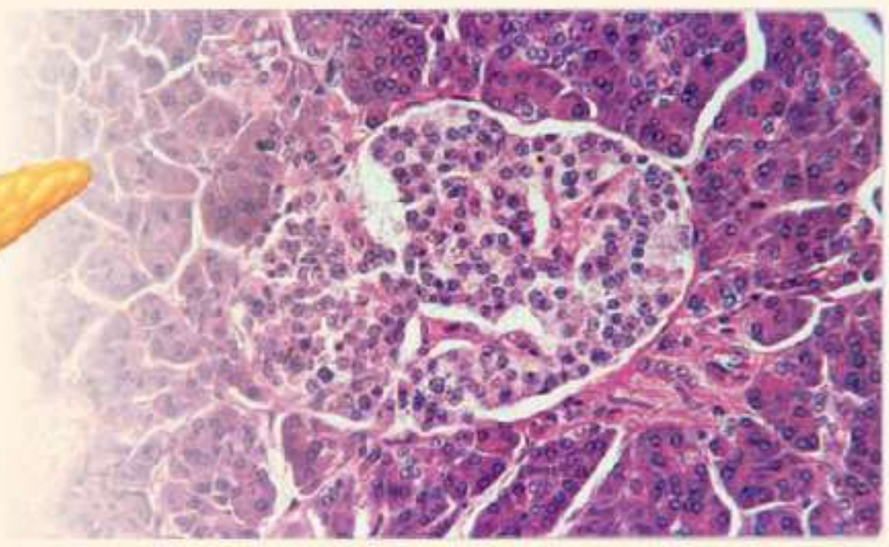




- **Adrenalina i noradrenalina**. Są wytwarzane głównie w warunkach stresu. Powodują wzrost: ciśnienia krwi, częstości skurczów serca, stężenia glukozy we krwi oraz częstości oddechów.

Trzustka





- **Insulina**. Zmniejsza stężenie glukozy we krwi i powoduje jej gromadzenie w wątrobie w postaci glikogenu (glikogenogenezę).
- **Glukagon**. Podwyższa poziom glukozy we krwi przez stymulację rozkładu glikogenu występującego w wątrobie (glikogenolizę).

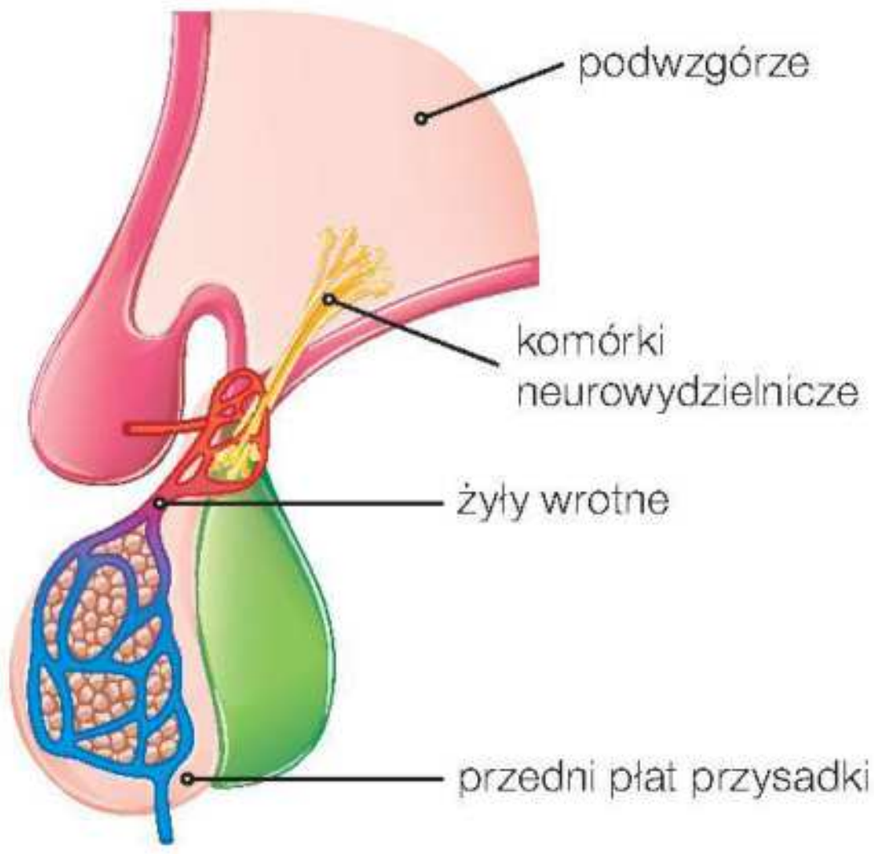
Rola podwzgórza i przysadki w utrzymaniu homeostazy

Podwzgórze jest częścią międzymózgowia. Wpływa ono na funkcjonowanie ośrodków w korze mózgowej, pniu mózgu i rdzeniu kręgowym, a także kieruje czynnością autonomicznego układu nerwowego. Podwzgórze reguluje m.in.:

- gospodarkę wodną organizmu,
- pobieranie pokarmu,
- termoregulację,
- funkcjonowanie układu krążenia,
- procesy płciowe, m.in. popęd płciowy,
- reakcje obronne, np. wściekłość, agresję.

Ponadto podwzgórze zawiera jądra nerwowe, czyli skupiska komórek neurowydzielniczych, które wytwarzają i wydzielają neurohormony. Niektóre z tych związków regulują czynności wydzielnicze przedniego płata przysadki, a inne są transportowane do tylnego płata przysadki i w nim magazynowane.

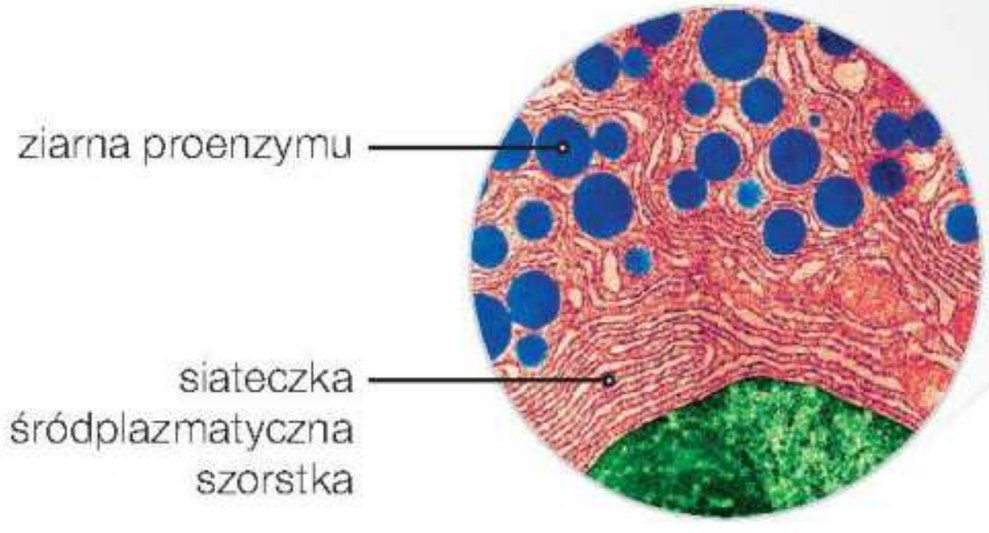
Podwzgórze, dzięki oddziaływaniu na układy nerwowy i hormonalny, umożliwia utrzymanie homeostazy oraz adaptację organizmu do warunków środowiska zewnętrznego.



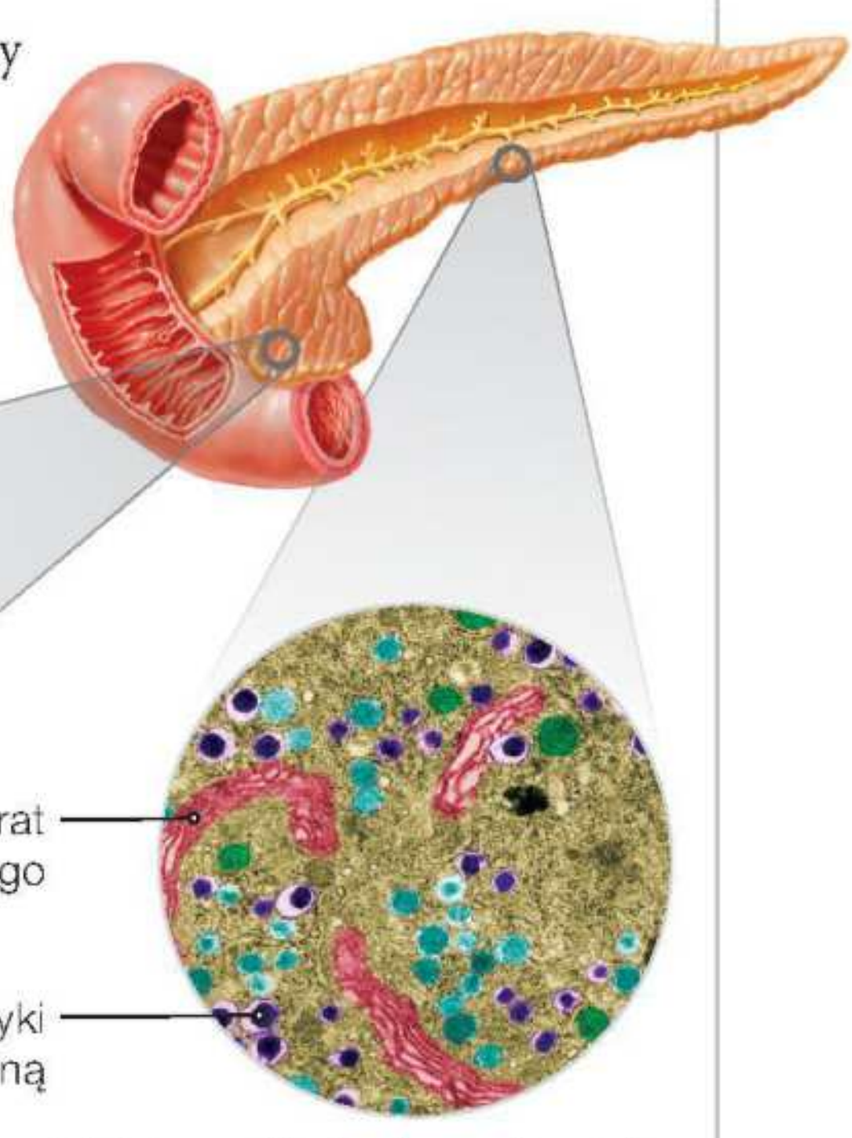
Neurohormony podwzgórza, które regulują wydzielanie hormonów tropowych, są transportowane do przysadki żyłami wrotnymi podwzgórzowo-przysadkowymi.

Trzustka – gruczoł o podwójnym działaniu

Trzustka jest narządem zewnątrzwydzielniczym – wydziela enzymy trawienne – oraz narządem wewnątrzwydzielniczym – wydziela hormony: insulinę i glukagon. Komórki trzustki mają silnie rozwiniętą siateczkę śródplazmatyczną szorstką, której rybosomy syntetyzują białka enzymatyczne i hormonalne, a także liczne aparaty Golgiego, które modyfikują, sortują i wysyłają gotowe wydzieliny poza obręb komórek gruczołowych.



Część zewnątrzwydzielnicza stanowi główną masę trzustki. Jest zbudowana m.in. z pęcherzyków wydzielniczych, których komórki wytwarzają **enzymy trawienne** – często w postaci nieaktywnych proenzymów. Przewody wyprowadzające pęcherzyków uchodzą do przewodu trzustkowego, który prowadzi do dwunastnicy.



Część wewnątrzwydzielnicza składa się ze skupień komórek gruczołowych, które tworzą wyspy trzustkowe (wyspy Langerhansa). Komórki A wytwarzają **glukagon**, czyli hormon stymulujący glikogenolizę, a komórki B – **insulinę**, czyli hormon stymulujący glikogenogenezę. Oba hormony są uwalniane z komórek do krwi.

Rola hormonów w regulacji rytmu dobowego, tempa metabolizmu i wzrostu

Hormony regulują wiele ważnych procesów zachodzących w organizmie. Wpływają m.in. na rytm dobowy, metabolizm oraz wzrost.

Regulacja rytmu dobowego

Za regulację aktywności dobowej organizmu odpowiada **szyszynka**. Wydziela ona **melatoninę**, która kontroluje stany snu i czuwania. Wydzielanie melatoniny jest regulowane światłem. W siatkówce oka znajdują się specjalne receptory, które są pobudzane przez światło. Pobudzenie receptorów skutkuje zahamowaniem produkcji melatoniny oraz wzmożeniem aktywności organizmu. Z kolei w ciemności receptory nie są pobudzane, dzięki czemu szyszynka wydziela melatoninę. Wysokie stężenie tego hormonu umożliwia spowolnienie aktywności organizmu i zasypianie.



Regulacja tempa metabolizmu

Za regulację tempa metabolizmu odpowiada przede wszystkim tarczyca, która wydziela **tyroksynę** i **trójjodotyroninę**. Hormony te pobudzają wiele przemian metabolicznych oraz procesów fizjologicznych, m.in.:

- rozkład ATP i produkcję ciepła w tkankach,
- rozkład tłuszczów i utlenianie kwasów tłuszczowych,
- transport glukozy do wnętrza komórek,
- przyspieszanie czynności serca i zwiększanie przepływu krwi przez narządy ciała.

Ponadto odpowiednie stężenie hormonów tarczycy jest niezbędne do prawidłowej pracy układu nerwowego i układu rozrodczego.



Regulacja wzrostu organizmu

Wzrost organizmu jest związany z funkcjonowaniem przysadki, która wytwarza m.in. hormon wzrostu (somatotropinę). Hormon ten pobudza komórki do przeprowadzania procesów niezbędnych do zwiększania rozmiarów ciała, np.:

- rozrostu kości,
- utleniania kwasów tłuszczowych i pozyskiwania z nich energii,
- syntezy białek w tkankach, głównie w tkance kostnej i tkance mięśniowej.

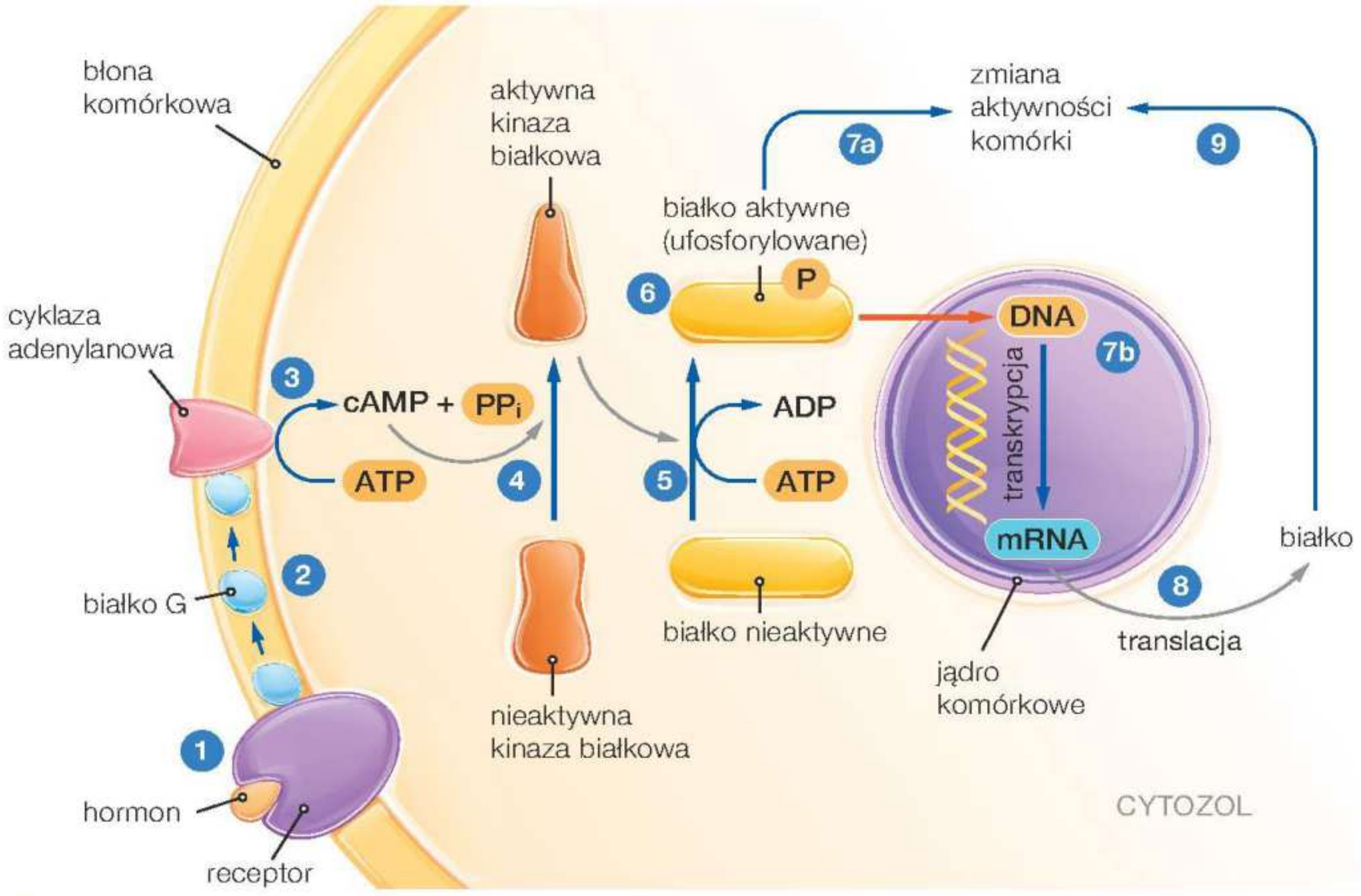


Mechanizm działania hormonów

Hormony wydzielane do płynów ustrojowych działają wyłącznie na **komórki docelowe**, które mają receptory charakterystyczne dla danego hormonu. Dzięki temu hormony działają wybiórczo i specyficznie na określone tkanki i narządy, pobudzając lub hamując ich aktywność. W zależności od budowy chemicznej hormonu receptory mogą się znajdować wewnątrz komórki docelowej lub na jej powierzchni.

Hormony białkowe nie dyfundują przez błony do wnętrza komórki, dlatego ich receptory znajdują się w błonie komórkowej. Są to **receptory błonowe**. Przekazywanie sygnału wywołanego przez związanie się hormonu z receptorem następuje przy udziale substancji pośredniczących. Hormony białkowe mogą aktywować już istniejące związki, głównie białka enzymatyczne, albo stymulować syntezę nowych białek.

Mechanizm działania hormonów białkowych

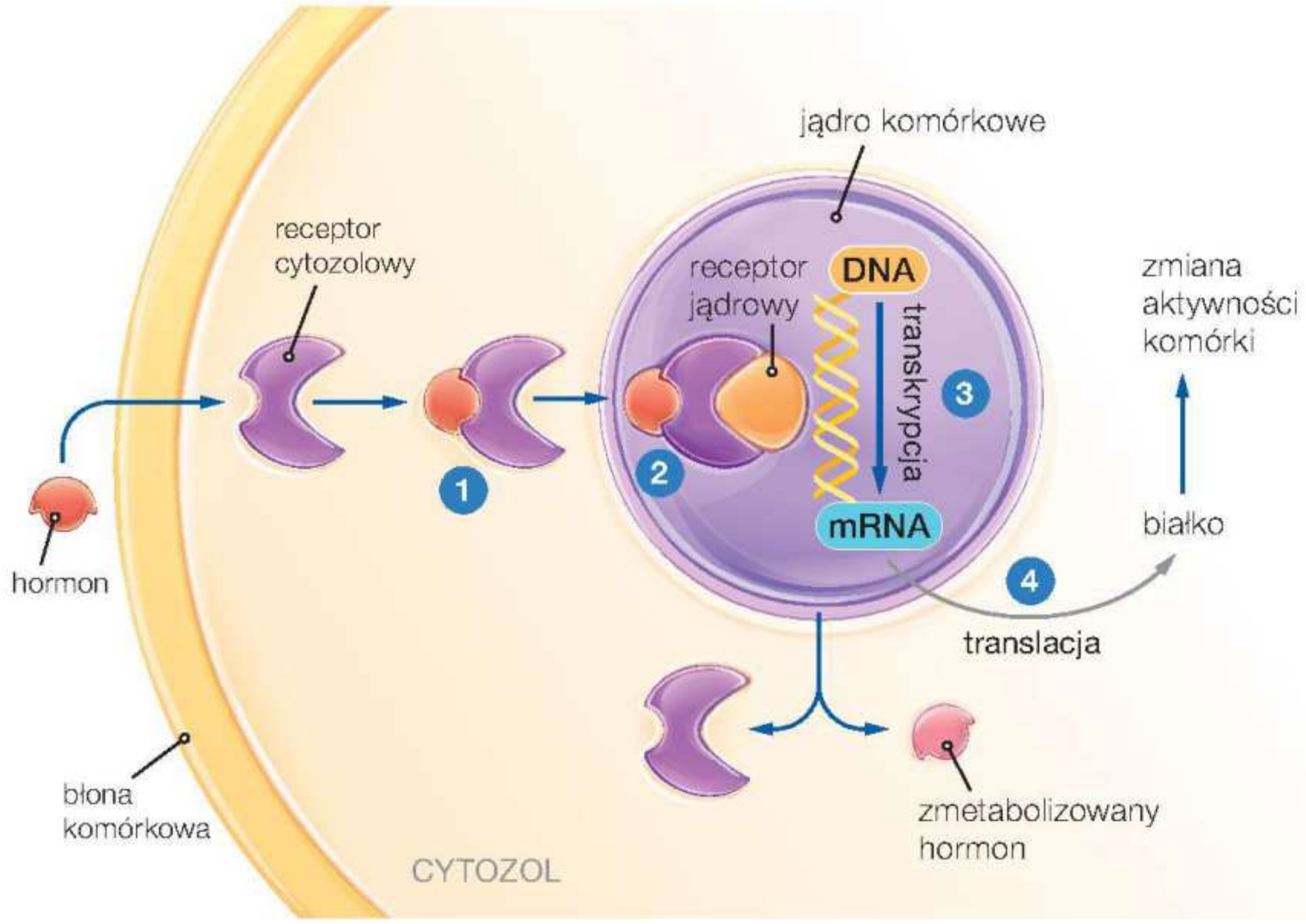


1. Cząsteczka hormonu łączy się z receptorem błonowym i powstaje kompleks hormon–receptor.
2. Kompleks hormon–receptor uaktywnia białko regulacyjne – białko G.
3. Białko G uaktywnia enzym – cyklazę adenylanową – który przekształca ATP w cAMP.
4. cAMP aktywuje kinazę białkową, która katalizuje reakcje fosforylacji z udziałem ATP.
5. Kinaza białkowa fosforyluje nieaktywną formę białka.
6. W wyniku fosforylacji powstaje aktywna forma białka.
7a. Aktywna forma białka, np. białka enzymatycznego, wpływa na metabolizm komórki i zmienia jej aktywność.
7b. Aktywna forma białka wnika do jądra komórkowego, gdzie stymuluje transkrypcję określonego genu.
8. Powstaje mRNA. Podczas translacji syntetyzowane jest określone białko, np. białko enzymatyczne.
9. Powstałe białko wpływa na metabolizm komórki i zmienia jej aktywność.

Hormony steroidowe rozpuszczają się w tłuszczach, dlatego dyfundują przez błony do wnętrza komórki. Receptory hormonów steroidowych znajdują się w cytozolu (receptory cytozolowe) lub w jądrze komórkowym (receptory jądrowe). Niektóre hormony działają za pośrednictwem obu typów receptorów.

Hormony, które są **pochodnymi aminokwasów**, zazwyczaj nie wnikają do wnętrza komórki. Podobnie jak hormony białkowe łączą się z receptorami błonowymi i uruchamiają ciąg reakcji prowadzących do zmiany aktywności komórki. Wyjątkiem są hormony tarczycy – tyroksyna i trójodotyronina (pochodne aminokwasu tyrozyny) – które są transportowane przez błony za pomocą błonowych białek przenośnikowych. Tak jak niektóre hormony steroidowe łączą się one z receptorami jądrowymi i uruchamiają ciąg reakcji prowadzących do zmiany aktywności komórki.

Mechanizm działania hormonów steroidowych



1. Cząsteczka hormonu łączy się z receptorem cytozolowym, tworząc kompleks hormon–receptor.
2. Kompleks hormon–receptor wnika do jądra komórkowego, gdzie wiąże się z receptorem jądrowym zlokalizowanym na DNA.
3. Związanie kompleksu z receptorem jądrowym stymuluje transkrypcję określonego genu. Powstaje mRNA.
4. Podczas translacji syntetyzowane jest określone białko, np. białko enzymatyczne, które zmienia aktywność komórki.

Polecenia kontrolne

1. Wymień nazwy gruczołów układu hormonalnego i podaj przykłady wydzielanych przez nie hormonów.
2. Podaj po jednym przykładzie funkcji gastryny, erytropoetyny i histaminy.
3. Wyjaśnij, w jaki sposób układ hormonalny kontroluje rytm dobowy, tempo metabolizmu oraz wzrost organizmu.

10.3. Regulacja wydzielania hormonów

Zwróć uwagę na:

- antagonistyczne działanie hormonów na przykładach regulacji poziomów glukozy i wapnia we krwi,
- nadrzędną rolę podwzgórza i przysadki w koordynowaniu pracy układów: nerwowego i hormonalnego,
- mechanizm sprzężenia zwrotnego ujemnego w regulacji wydzielania hormonów.

Wydzielanie hormonów jest precyzyjnie regulowane, ponieważ nawet niewielkie odchylenia od normy stają się przyczyną zaburzeń w funkcjonowaniu organizmu. W regulacji wydzielania hormonów zasadniczą rolę odgrywają mechanizmy **ujemnego sprzężenia zwrotnego**.

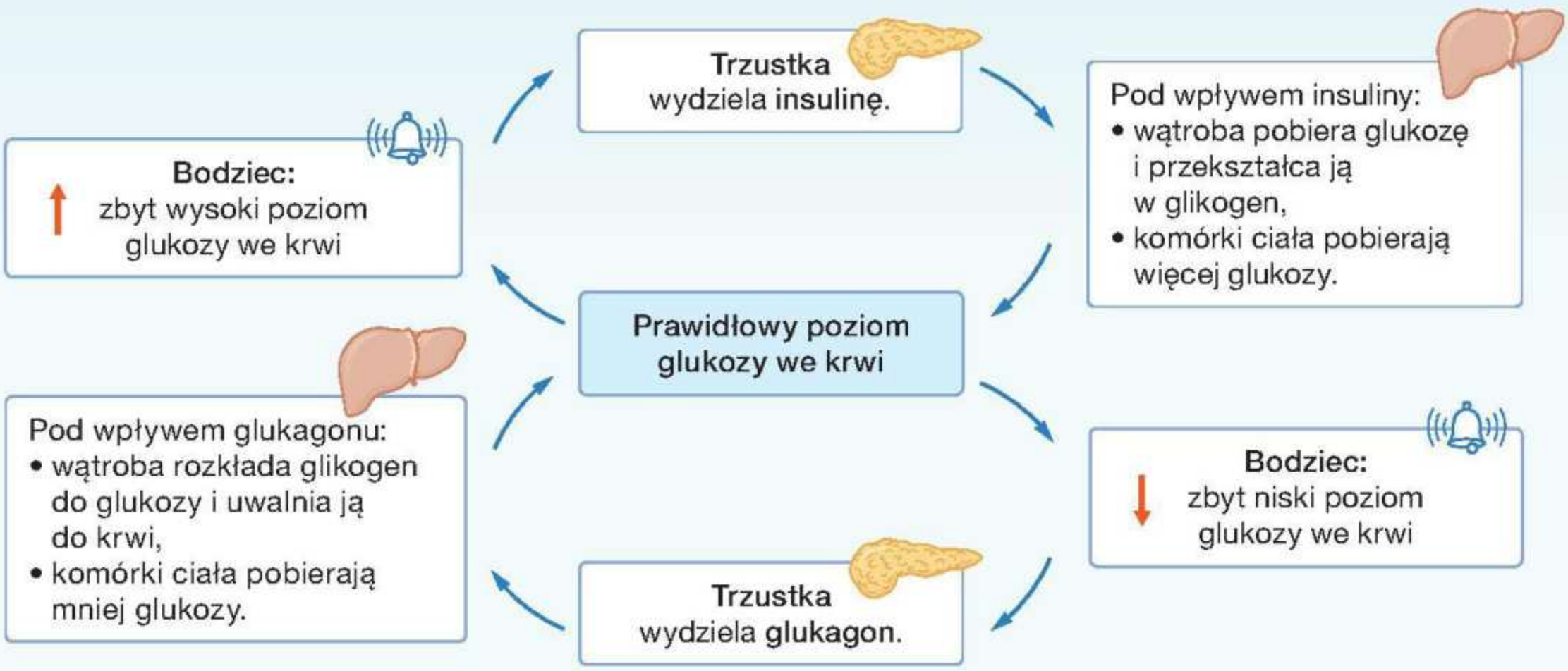
Antagonistyczne działanie hormonów

Każdy hormon wywołuje tylko jeden rodzaj reakcji, np. przyspiesza lub hamuje zachodzący proces. Niektóre czynności życiowe są regulowane przez dwa hormony działające antagonistycznie. Oznacza to, że jeden hormon wywołuje w organizmie reakcję przeciwną w stosunku do reakcji wywoływanej przez drugi hormon. Przykładem hormonów antagonistycznych są insulina i glukagon, które odpowiadają za utrzymanie właściwego poziomu glukozy we krwi. Podczas gdy insulina powoduje zmniejszenie stężenia glukozy we krwi, glukagon prowadzi do jego zwiększenia. Dzięki temu komórki organizmu otrzymują odpowiednią ilość substratu oddechowego. Antagonistycznie działają również kalcytonina i parathormon.

Antagonistyczne działanie hormonów

Regulacja poziomu glukozy we krwi

W utrzymaniu właściwego poziomu glukozy we krwi biorą udział dwa hormony trzustki – insulina i glukagon. Insulina powoduje obniżenie poziomu glukozy we krwi, a glukagon odpowiada za podwyższenie poziomu glukozy we krwi.



Rola podwzgórza i przysadki w regulacji hormonalnej

Układ hormonalny jest ściśle związany z układem nerwowym. Funkcjonowanie gruczołów dokrewnych w sposób bezpośredni regulują nerwy autonomicznego układu nerwowego. Z kolei działanie pośrednie układu nerwowego opiera się na **neurowydzielniczej funkcji podwzgórza**. Za pośrednictwem hormonów podwzgórza regulowana jest praca przysadki. Podwzgórze łączy się z przednim płatem przysadki za pomocą żył wrotnych podwzgórzowo-przysadkowych. Naczyniami tymi transportowane są:

- **hormony uwalniające** – liberyny – które stymulują wydzielanie hormonów przysadki,
- **hormony hamujące** – statyny – które hamują wydzielanie hormonów przysadki.

Żyły wrotne podwzgórzowo-przysadkowe łączą sieci naczyń włosowatych podwzgórza i przysadki. Dzięki temu neurohormony podwzgórza są dostarczane do przysadki z pominięciem reszty obiegu ustrojowego, co zabezpiecza przed ich nadmiernym rozcieńczeniem.

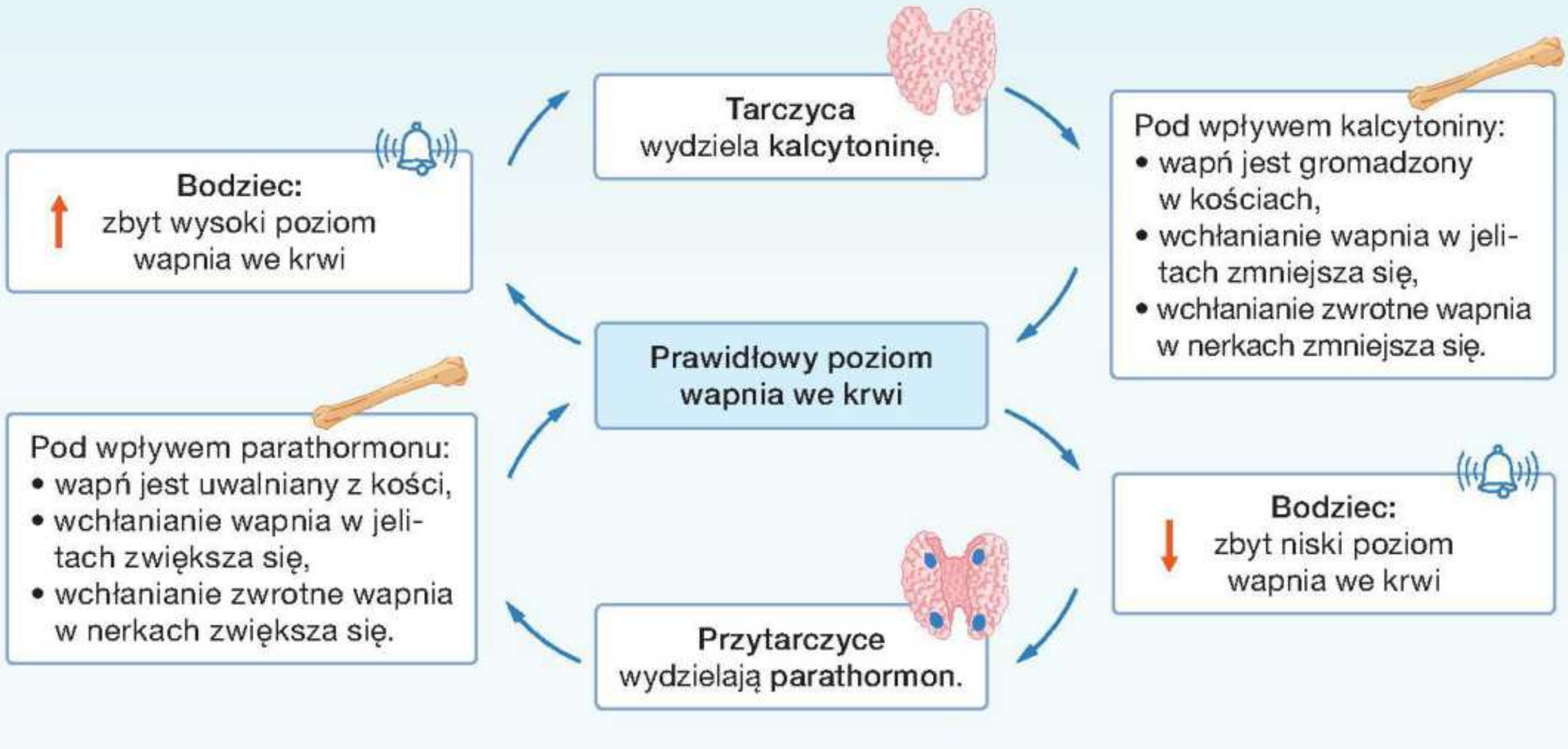
Podwzgórze łączy się z tylnym płatem przysadki za pomocą neuronów, które wytwarzają i transportują **wazopresynę** oraz **oksytocynę**. Oba hormony są magazynowane w tylnym płacie przysadki i w razie potrzeby – uwalniane do krwiobiegu.

Hormony uwalniające i hamujące podwzgórza

Nazwa hormonu	Działanie
Tyreoliberyna	stymuluje wydzielanie tyreotropiny
Gonadoliberyna	stymuluje wydzielanie gonadotropin
Kortykoliberyna	stymuluje wydzielanie kortykotropiny
Somatoliberyna	stymuluje wydzielanie hormonu wzrostu
Somatostatyna	hamuje wydzielanie hormonu wzrostu
Prolaktoliberyna	stymuluje wydzielanie prolaktyny
Dopamina	hamuje wydzielanie prolaktyny

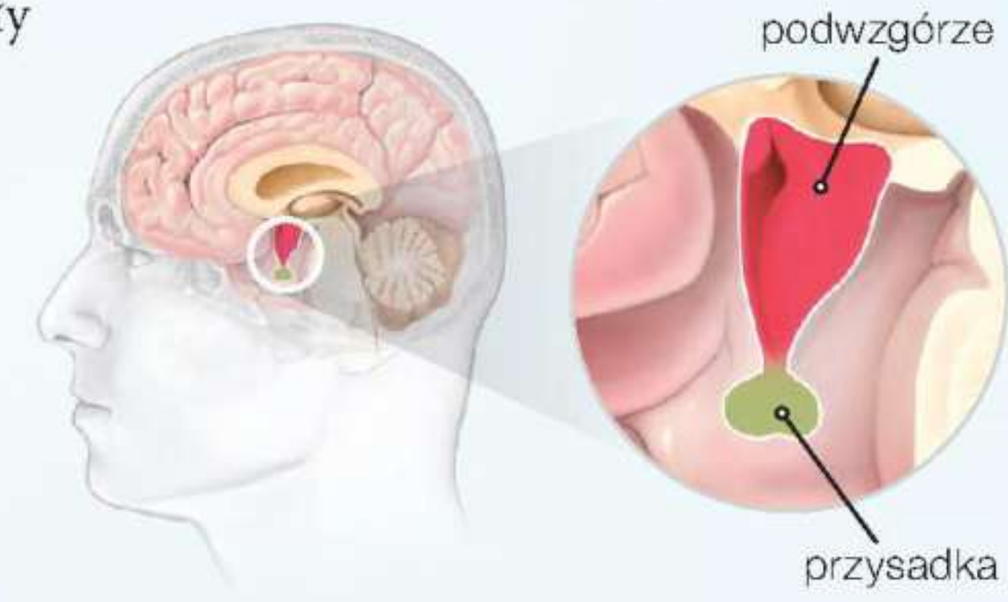
Regulacja poziomu wapnia we krwi

W regulacji poziomu wapnia we krwi biorą udział dwa hormony: wydzielana przez tarczycę kalcytonina i wydzielany przez przytarczyce parathormon. Kalcytonina odpowiada za obniżanie poziomu wapnia we krwi, natomiast parathormon – za jego podwyższanie.



Regulacja wydzielania hormonów przez ujemne sprzężenie zwrotne

W regulacji wydzielania hormonów przez gruczoły dokrewne, na osi: podwzgórze – przysadka – gruczoł dokrewny, występuje mechanizm ujemnego sprzężenia zwrotnego. Polega on na tym, że efekt końcowy danego procesu prowadzi do zahamowania tego procesu.



Podwzgórze to część mózgowia kontrolująca pracę przysadki, która z kolei steruje funkcjonowaniem niektórych gruczołów dokrewnych.

Ujemne sprzężenie zwrotne w regulacji wydzielania hormonów tarczycy

Bodziec:
m.in. spadek temperatury otoczenia

1 Informacja o bodźcu, np. **spadku temperatury otoczenia**, jest przekazywana do podwzgórza.

podwzgórze

tyreoliberyna

2 Bodziec jest sygnałem dla podwzgórza do wydzielania odpowiednich liberyn – w tym przypadku **tyreoliberyny**.

przysadka

tyreotropina

3 Tyreoliberyna pobudza przysadkę do wydzielania hormonu tropowego – **tyreotropiny**.

tarczyca

trójjodotyronina
tyroksyna

4 Tyreotropina pobudza gruczoł dokrewny – **tarczycę** – do wydzielania jej hormonów: **tyroksyny** i **trójjodotyroniny**.

Efekt:
zwiększenie tempa metabolizmu, wytworzenie ciepła w tkankach

5 W efekcie działania hormonów tarczycy komórki zwiększają tempo metabolizmu, co powoduje **wytwarzanie większej ilości ciepła**. Dzięki temu organizm może utrzymać stałą temperaturę.

6 Wyższe stężenie hormonów tarczycy we krwi **hamuje wydzielanie liberyn** przez podwzgórze oraz **hormonu tropowego** przez przysadkę. Brak pobudzenia ze strony przysadki sprawia, że tarczyca przestaje wydzielać hormony – ich stężenie we krwi zaczyna spadać.

Ujemne sprzężenie zwrotne w regulacji wydzielania hormonów kory nadnerczy



Bodziec:
m.in. stres, urazy fizyczne

1

podwzgórze

2 kortykoliberyna

przysadka

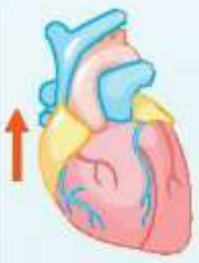
3 kortykotropina

kora nadnerczy



4 kortyzol

5 **Efekt:**
m.in. wzrost stężenia glukozy we krwi i wzrost ciśnienia krwi

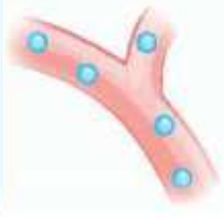


6 kortyzol

1. Informacja o **bodźcu**, np. urazie fizycznym lub silnym stresie, zostaje przekazana do podwzgórza.
2. Pod wpływem bodźca podwzgórze wydziela **kortykoliberynę**.
3. Kortykoliberyna pobudza przysadkę do wydzielania **kortykotropiny**.
4. Pod wpływem kortykotropiny **kora nadnerczy** zwiększa wydzielanie **kortyzolu**.
5. Wzrost stężenia kortyzolu we krwi powoduje m.in. **wzrost stężenia glukozy we krwi i wzrost ciśnienia krwi**.
6. Wysokie stężenie kortyzolu we krwi jest **sygnałem hamującym** dla podwzgórza i przysadki, które **wstrzymują wydzielanie** swoich hormonów.

Ujemne sprzężenie zwrotne w regulacji wydzielania hormonów gonad

Bodziec:
zbyt niski poziom hormonów płciowych (testosteronu lub estrogenów) we krwi



1

podwzgórze

2 gonadoliberyna

przysadka

3 gonadotropiny

gonady (jajniki lub jądra)



4 estrogeny testosteron

5 **Efekt:**
odpowiedni poziom hormonów płciowych we krwi, który umożliwia m.in. prawidłową pracę gonad



6 estrogeny testosteron

1. Informacja o **bodźcu**, np. o nadmiernym spadku stężenia hormonów płciowych we krwi, zostaje przekazana do podwzgórza.
2. Pod wpływem bodźca podwzgórze wydziela **gonadoliberynę**.
3. Gonadoliberyna pobudza przysadkę do wydzielania **gonadotropin**.
4. Pod wpływem gonadotropin **jądra** (u mężczyzn) lub **jajniki** (u kobiet) zwiększają wydzielanie hormonów płciowych: jądra – **testosteronu**, a jajniki – **estrogenów**.
5. Wzrost stężenia hormonów płciowych we krwi umożliwia **prawidłową pracę układu rozrodczego**.
6. Hormony płciowe **działają hamująco** na podwzgórze i przysadkę, które **wstrzymują wydzielanie** swoich hormonów.

Biologia w **medycynie**

Produkcja ludzkich hormonów białkowych

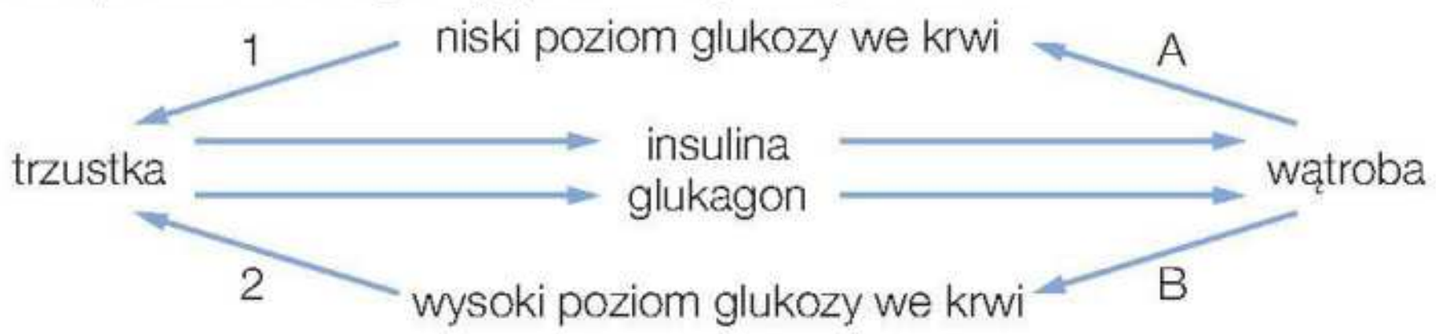
Niektóre ludzkie hormony białkowe, m.in. insulina i hormon wzrostu, są produkowane na skalę przemysłową metodami inżynierii genetycznej. Wytwarzają je mikroorganizmy zmodyfikowane genetycznie, głównie bakterie i drożdże.

Pierwszym hormonem wytworzonym metodami inżynierii genetycznej była insulina. Obecnie do przemysłowej produkcji insuliny wykorzystuje się pałeczki okrężnicy oraz drożdże piekarskie, którym wszczepia się gen ludzkiej insuliny. Hodowle modyfikowanych genetycznie bakterii i drożdży prowadzi się w specjalnych bioreaktorach, a wytworzoną insulinę oczyszcza się i wykorzystuje do produkcji leków.



Polecenia kontrolne

1. Uzasadnij, że poziom glukozy i poziom wapnia we krwi muszą podlegać ścisłej regulacji. W odpowiedzi uwzględnij funkcje glukozy i wapnia w organizmie.
2. Na przykładzie regulacji poziomu wapnia we krwi wyjaśnij, na czym polega antagonistyczne działanie hormonów.
3. Schemat przedstawia regulację poziomu glukozy we krwi.



   a. Podaj nazwy procesów biochemicznych oznaczonych literami A i B.
   b. Ustal, którą cyfrą (1 czy 2) oznaczono stymulację wydzielania insuliny przez komórki B trzustki.
4. Przedstaw sposób działania mechanizmu ujemnego sprzężenia zwrotnego na osi: podwzgórze – przysadka – gruczoł dokrewny.
5. Scharakteryzuj rolę podwzgórza w w koordynowaniu pracy układów: nerwowego i hormonalnego.
6. Wyjaśnij, które z właściwości przysadki pozwoliły na uznanie jej za gruczoł nadrzędny wobec pozostałych gruczołów dokrewnych.

10.4. Nadczynność i niedoczynność gruczołów dokrewnych. Stres

Zwróć uwagę na:
- skutki niedoczynności i nadczynności gruczołów dokrewnych,
- rolę hormonów w reakcji na stres.

Funkcją układu hormonalnego jest regulowanie pracy narządów organizmu za pośrednictwem hormonów. Związki te biorą udział w przebiegu wielu procesów fizjologicznych, m.in. w reakcji stresowej. Zarówno zbyt mała, jak i zbyt duża ilość hormonów może zaburzyć homeostazę organizmu i doprowadzić do poważnych skutków zdrowotnych.

Przyczyny zaburzeń hormonalnych

Głównymi przyczynami zaburzeń hormonalnych są:

- nadczynność gruczołu – stan, w którym gruczoł wydziela zbyt dużo hormonów,
- niedoczynność gruczołu – stan, w którym gruczoł wydziela zbyt mało hormonów,
- nowotwory gruczołów – w sytuacji, gdy zmiany nowotworowe powodują zaburzenia wydzielania hormonów.

Dziedziną medycyny, która zajmuje się leczeniem zaburzeń funkcji gruczołów dokrewnych, jest endokrynologia.

Diagnostyka i leczenie zaburzeń układu hormonalnego

Hormony gruczołów wewnątrzwydzielniczych są uwalniane do krwi, dlatego ich poziom najłatwiej oznaczyć poprzez badanie osocza. Na podstawie wyników **badań krwi** można zdiagnozować nadczynność lub niedoczynność danego gruczołu oraz rozpocząć leczenie. W zaburzeniach pracy gruczołów dokrewnych najczęściej stosuje się terapię hormonalną.

W sytuacji, gdy istnieje podejrzenie wystąpienia zmian nowotworowych, wykonuje się dodatkowo **badanie USG**, które pozwala na wykrycie nieprawidłowości w budowie narządów. Jeśli w strukturze narządów widoczne są zmiany, m.in. guzy, to wówczas ich fragment pobiera się podczas biopsji. Następnie wycinek poddaje się badaniu histopatologicznemu, pozwalającemu na określenie charakteru zmiany (łagodnej lub złośliwej) i dobranie odpowiednich metod leczenia.



Oznaczenie poziomu hormonów we krwi jest zazwyczaj pierwszym krokiem w diagnostyce endokrynologicznej.



W diagnostyce zaburzeń hormonalnych często niezbędne jest wykonanie dodatkowych badań, np. USG danego gruczołu.

Nadczynność i niedoczynność wybranych gruczołów dokrewnych

	Niedoczynność ▼	Nadczynność ▲
Przysadka Hormony: • m.in. hormon wzrostu (somatotropina). 	• Niedobór somatotropiny w okresie wzrostu prowadzi do **karłowatości przysadkowej**, która objawia się niskim wzrostem i krępą budową ciała. • W karłowatości przysadkowej (w odróżnieniu od karłowatości tarczycowej) nie występuje niepełnosprawność intelektualna.	• Nadmiar somatotropiny w okresie wzrostu prowadzi do gigantyzmu. Osoby z **gigantyzmem** są bardzo wysokie i mają zachowane proporcje ciała. • Nadmiar somatotropiny po okresie wzrostu prowadzi do **akromegalii**. U osób z akromegalią następuje nadmierny wzrost niektórych części ciała, np. nosa i żuchwy.
Tarczyca Hormony: • tyroksyna, • trójjodotyronina, • kalcytonina. 	• Niedobór tyroksyny i trójjodotyroniny u dzieci prowadzi do kretynizmu – zaburzenia związanego z opóźnionym rozwojem psychoruchowym. Niekiedy prowadzi również do karłowatości tarczycowej. • Niedobór tyroksyny i trójjodotyroniny u osób dorosłych powoduje: powiększenie tarczycy, suchą i szorstką skórę, obwisłe powieki, zwiększenie masy ciała i zmęczenie. • Niedobór kalcytoniny może prowadzić do nadmiaru wapnia we krwi.	• Może być związana z występowaniem choroby Gravesa–Basedowa [wym. grejwsa basedowa]. Jej objawy to m.in.: przyspieszone tempo przemiany materii, utrata masy ciała, powiększenie tarczycy, wytrzeszcz gałek ocznych, drżenie rąk, ogólne osłabienie i bezsenność.
Przytarczyce Hormon: parathormon. 	• Niedobór parathormonu powoduje zmniejszenie ilości wapnia we krwi, uczucie mrowienia, tężyczkę – nadmierne skurcze mięśni szkieletowych, a niekiedy też oddechowych. Może doprowadzić do śmierci.	• Nadmiar parathormonu powoduje odwapnienie kości, co prowadzi do zmiany ich struktury. Jest to przyczyną bólów kości i problemów z chodzeniem. Nadczynność przytarczyc jest także jedną z przyczyn rozwoju kamicy nerkowej oraz wrzodów żołądka.

	Niedoczynność ▼	Nadczynność ▲
Grasica Hormon: tymozyna. 	• Skutkami niedoczynności grasicy są zaburzenie odporności oraz zbyt mała liczba limfocytów we krwi.	• Grasica powinna zanikać po okresie dojrzewania. Jej obecność u osób dorosłych może prowadzić do miastenii – choroby, w której występuje nadmierna męczliwość mięśni.
Nadnercza Hormony: • mineralokortykosteroidy (aldosteron), • glikokortykosteroidy (kortyzol), • adrenalina. 	• Niedobór mineralokortykosteroidów i glikokortykosteroidów powoduje chorobę Addisona. Jej objawy to m.in.: zmniejszenie masy ciała, przebarwienia skóry, bóle brzucha, brak łaknienia. Ponadto obserwuje się ogólne osłabienie organizmu oraz zmniejszenie wydolności fizycznej (męczliwość).	• Nadmiar mineralokortykosteroidów powoduje zespół Conna [wym. kona], w którego przebiegu występują m.in. nadciśnienie tętnicze i osłabienie mięśni. • Nadmiar glikokortykosteroidów powoduje zespół Cushinga [wym. kuszinga], w którego przebiegu obserwuje się zaburzenie gospodarki tłuszczowej i węglowodanowej, otyłość, nadciśnienie tętnicze i osłabienie siły mięśni.
Trzustka Hormony: • insulina, • glukagon. 	• Niedobór insuliny powoduje cukrzycę typu I – chorobę metaboliczną, w której obserwuje się podwyższony poziom glukozy we krwi (hiperglikemię).	• Nadmiar insuliny powoduje niedobór glukozy we krwi (hipoglikemię).
Jądra Hormon: testosteron. 	• W okresie dojrzewania obniżony poziom testosteronu może powodować słaby rozwój typowo męskich cech budowy ciała. • W okresie dorosłości niedobór testosteronu może prowadzić m.in. do obniżenia popędu płciowego i zaburzeń płodności.	• W okresie dzieciństwa podwyższony poziom testosteronu może prowadzić do przedwczesnego dojrzewania płciowego, nadmiernego rozwoju muskulatury ciała i owłosienia. • W okresie dorosłości nadmiar testosteronu może prowadzić do zaburzeń płodności i chorób serca.
Jajniki Hormony: • progesteron, • estrogeny. 	• W okresie dojrzewania może powodować słaby rozwój typowo kobiecych cech budowy ciała. • W okresie dorosłości może powodować m.in. zaburzenia miesiączkowania i płodności.	• Powoduje zaburzenia miesiączkowania i płodności, bóle brzucha oraz nadmierny rozrost narządów płciowych.

Stres

Stres jest fizjologiczną i psychologiczną reakcją organizmu na działanie **stresorów**, czyli zewnętrznych lub wewnętrznych czynników powodujących zmianę funkcjonowania organizmu.

Czynniki, które wywołują stres, mają często podłoże indywidualne, np. dla osoby, która boi się pająków, spotkanie z nimi może być stresujące, podczas gdy u innych osób taka sama sytuacja nie wywołuje żadnej reakcji.

Stresory wpływają na aktywację **układu współczulnego**, który pobudza **rdzeń nadnerczy** do wydzielania adrenaliny i noradrenaliny. Hormony te stymulują organizm do działania, dzięki czemu umożliwiają stosowną reakcję, np. walkę lub ucieczkę. Stres – za pośrednictwem kortykotropiny – aktywuje także **korę nadnerczy**, której hormony (m.in. kortyzol) regulują natężenie reakcji stresowej.

Stres krótkotrwały i długotrwały

Wyróżnia się dwa rodzaje stresu: krótkotrwały i długotrwały.

Stres krótkotrwały zazwyczaj działa mobilizująco. W przypadku tego rodzaju stresu po ustąpieniu stresora organizm człowieka wraca do wcześniejszego sposobu funkcjonowania.



Stres krótkotrwały działa mobilizująco i pozwala na skupienie uwagi, np. podczas trudnego sprawdzianu.

Stres długotrwały (przewlekły) działa szkodliwie na organizm. Wzmaga napięcie emocjonalne, zaburza koncentrację, zapamiętywanie i zdolność podejmowania decyzji. Z tego powodu bywa przyczyną poważnych zaburzeń, m.in. przewlekłego zmęczenia, rozwoju nerwicy lękowej czy depresji. Długotrwale utrzymujący się stres może również prowadzić do nadciśnienia tętniczego, miażdżycy, choroby wrzodowej żołądka, zatrzymania cyklu miesiączkowego u kobiet, a u mężczyzn – problemów z erekcją. Zmniejsza się także odporność, przez co organizm jest bardziej podatny na infekcje.

Stresory		
fizyczne	psychiczne	
	zewnętrzne	wewnętrzne
• uraz • choroba • hałas • silne bodźce wzrokowe lub dotykowe • ból	• duże zmiany w życiu • trudna sytuacja w domu, pracy, szkole • trudności w relacjach z innymi ludźmi • problemy finansowe • nadmiar obowiązków	• pesymizm • perfekcjonizm • nierealistyczne oczekiwania dotyczące życia • niska samoocena • niezdolność do pogodzenia się ze zmianami







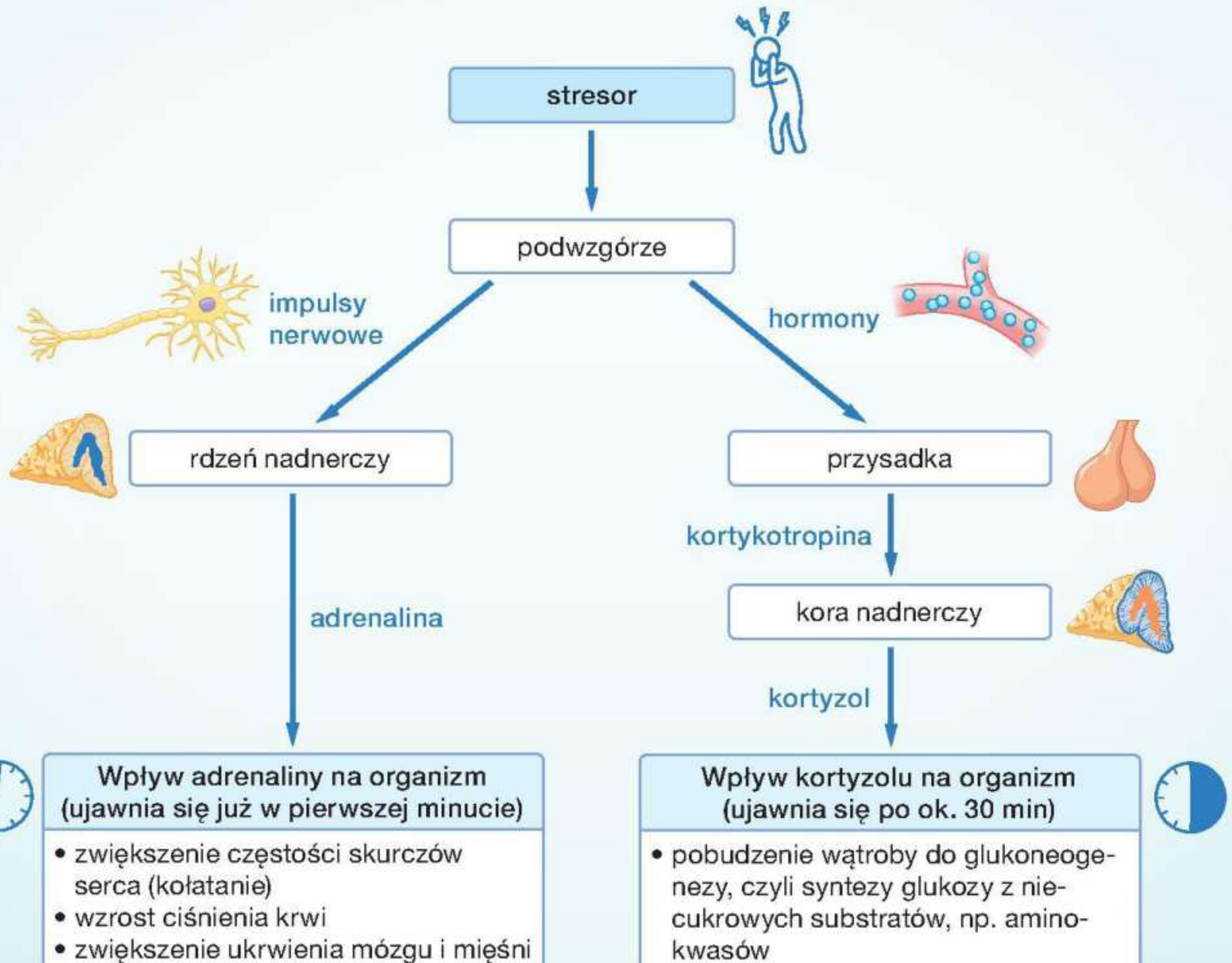
Przebieg reakcji stresowej

Najważniejszą strukturą odpowiedzialną za homeostazę jest **podwzgórze**. Kontroluje ono reakcje organizmu na stresor: zarówno drogą neuronalną – przez działanie na **współczulny układ nerwowy** – jak i drogą hormonalną – przez działanie na **przysadkę**.

Rola podwzgórza

- za pomocą impulsów nerwowych aktywuje współczulny układ nerwowy, który pobudza **rdzeń nadnerczy** do wydzielania **adrenaliny** i **noradrenaliny**,
- za pomocą hormonów pobudza przysadkę do wydzielania tyreotropiny, czyli hormonu tropowego, który stymuluje **korę nadnerczy** do wydzielania **kortyzolu**.

Przebieg reakcji stresowej



Wpływ adrenaliny na organizm (ujawnia się już w pierwszej minucie)

- zwiększenie częstości skurczów serca (kołatanie)
- wzrost ciśnienia krwi
- zwiększenie ukrwienia mózgu i mięśni szkieletowych
- rozszerzenie oskrzeli
- zwiększenie tempa oddechu
- rozkład glikogenu magazynowanego w wątrobie – podwyższenie stężenia glukozy we krwi
- zwężenie naczyń krwionośnych w skórze, czego efektem jest bladość skóry
- rozszerzenie źrenic

Wpływ kortyzolu na organizm (ujawnia się po ok. 30 min)

- pobudzenie wątroby do glukoneogenezy, czyli syntezy glukozy z niecukrowych substratów, np. aminokwasów
- nasilenie glukoneogenezy w wątrobie skutkuje pozyskiwaniem aminokwasów z innych narządów, głównie mięśni szkieletowych, co przy długotrwałym stresie prowadzi do zaników mięśniowych
- obniżenie działania układu odpornościowego – hamowanie reakcji alergicznych i stanów zapalnych
- zwrotne hamowanie aktywności podwzgórza i przysadki

Długotrwały stres a działanie kortyzolu

Gdy czynniki stresujące działają zbyt intensywnie lub zbyt długo, może dojść do tzw. **stadium wyczerpania**. Polega ono na tym, że reakcja stresowa nie ulega zahamowaniu, a wysoki poziom kortyzolu utrzymuje się we krwi przez długi czas. **Przewlekły nadmiar kortyzolu** powoduje m.in.:

- demineralizację kości i zmniejszenie wchłaniania jonów wapnia w jelitach, co może prowadzić do rozwoju osteoporozy,
- pobudzenie wydzielania kwasu solnego i uszkodzenia błony śluzowej żołądka,
- uwalnianie kwasów tłuszczowych z tkanki tłuszczowej, co może prowadzić do spadku masy ciała,
- zahamowanie syntezy kwasów nukleinowych w komórkach,
- utrzymywanie się wysokiego poziomu glukozy we krwi, co może przyczyniać się do rozwoju cukrzycy,
- zwiększenie katabolizmu białek prowadzące do zaników mięśniowych,
- upośledzenie działania układu odpornościowego poprzez:
  - zahamowanie reakcji zapalnych, które są częścią obrony nieswoistej organizmu,
  - zmniejszanie liczby eozynofilów, bazofilów i limfocytów
  - zanik tkanki limfatycznej,
  - zahamowanie syntezy przeciwciał.

Czy wiesz, że...

Kortyzol może być stosowany jako lek immunosupresyjny dla osób po transplantacji narządów. Ze względu na swoje działanie hamujące aktywność układu odpornościowego zmniejsza on ryzyko odrzucenia przeszczepu.

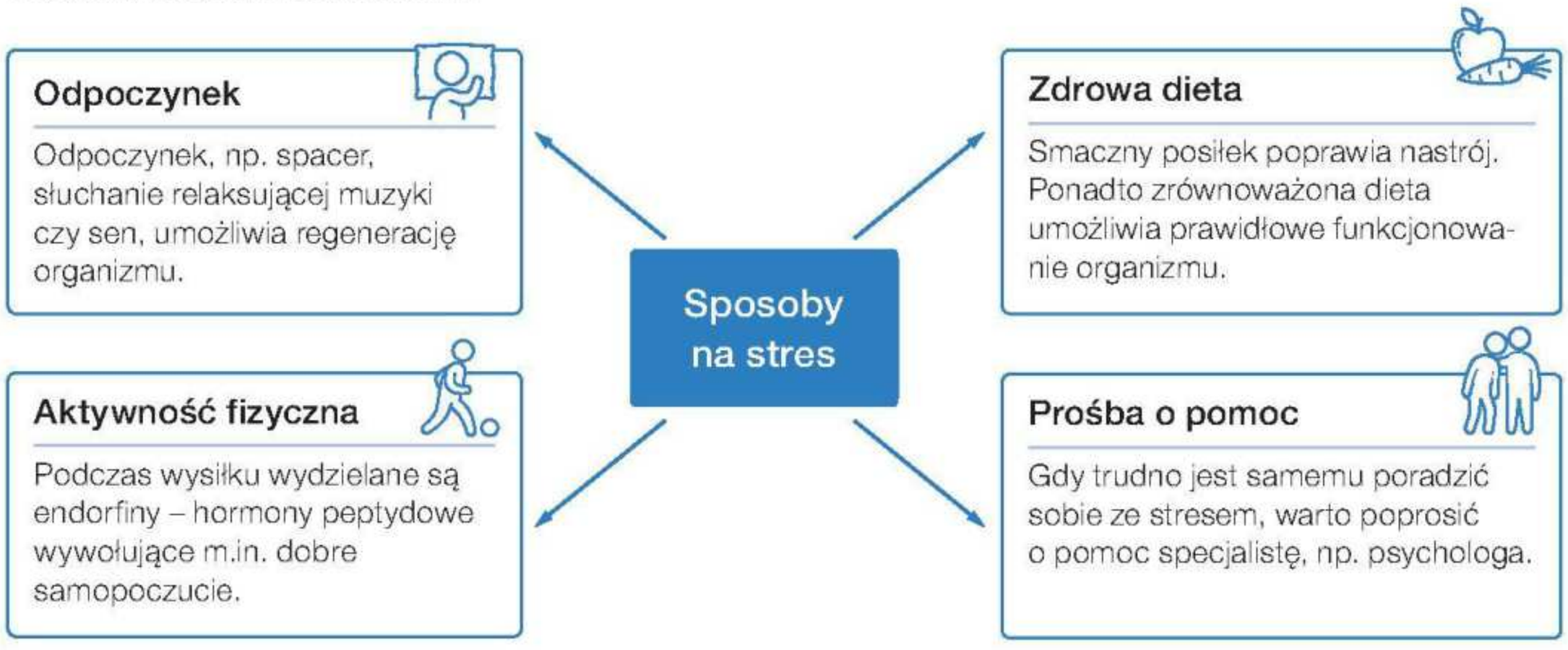
Sposoby walki ze stresem

Stres jest naturalną reakcją organizmu na codzienne wyzwania i zmiany w życiu. Nie da się wyeliminować go całkowicie, ale można sobie z nim radzić. Sposobami na zdrowe rozładowanie stresu są m.in. aktywność fizyczna, odpowiednia ilość snu, właściwa dieta, a także wsparcie bliskich osób lub specjalistów, np. psychologów, terapeutów.



Długotrwały stres może doprowadzić do sytuacji, w której trudno poradzić sobie z własnymi emocjami. Warto wtedy zwrócić się o pomoc do specjalisty, np. do psychologa.

Jak radzić sobie ze stresem?



Cukrzyca

Cukrzyca to choroba metaboliczna, której głównym objawem jest stale podwyższony poziom glukozy we krwi. Wpływa on na nieprawidłową pracę wielu narządów ciała, w tym oczu, nerek i serca. Ze względu na przyczynę wystąpienia choroby wyróżnia się cukrzycę typu I oraz cukrzycę typu II.

Cukrzyca typu I

Niedobór insuliny w organizmie jest spowodowany niszczeniem komórek trzustki przez własny układ odpornościowy (choroba autoimmunizacyjna). Objawy cukrzycy typu I pojawiają się nagle w młodym wieku. Obejmują one niski poziom insuliny na czczo, wzmożone pragnienie, częste oddawanie moczu oraz zapach acetonu z ust. Osoby chore na cukrzycę typu I muszą dożywotnio przyjmować insulinę.



Nowoczesną metodą leczenia cukrzycy typu I jest stałe podawanie insuliny za pomocą pompy insulinowej.

Cukrzyca typu II

Rozwój cukrzycy typu II jest związany z otyłością i niezdrowym trybem życia. Choroba ta prowadzi do insulinooporności, czyli obniżenia wrażliwości tkanek na działanie insuliny. W efekcie dochodzi do uszkodzenia komórek trzustki i niedoboru insuliny w organizmie. Objawami cukrzycy typu II są m.in. senność po posiłkach, chroniczne zmęczenie, lekko wzmożone pragnienie, częste oddawanie moczu oraz powolne gojenie się ran. W leczeniu tej choroby pomagają zmiana diety i aktywność fizyczna, jednak często konieczne jest także przyjmowanie insuliny w zastrzykach.



Osoby chore na cukrzycę muszą regularnie sprawdzać stężenie glukozy we krwi.

Porównanie cukrzycy typu I z cukrzycą typu II

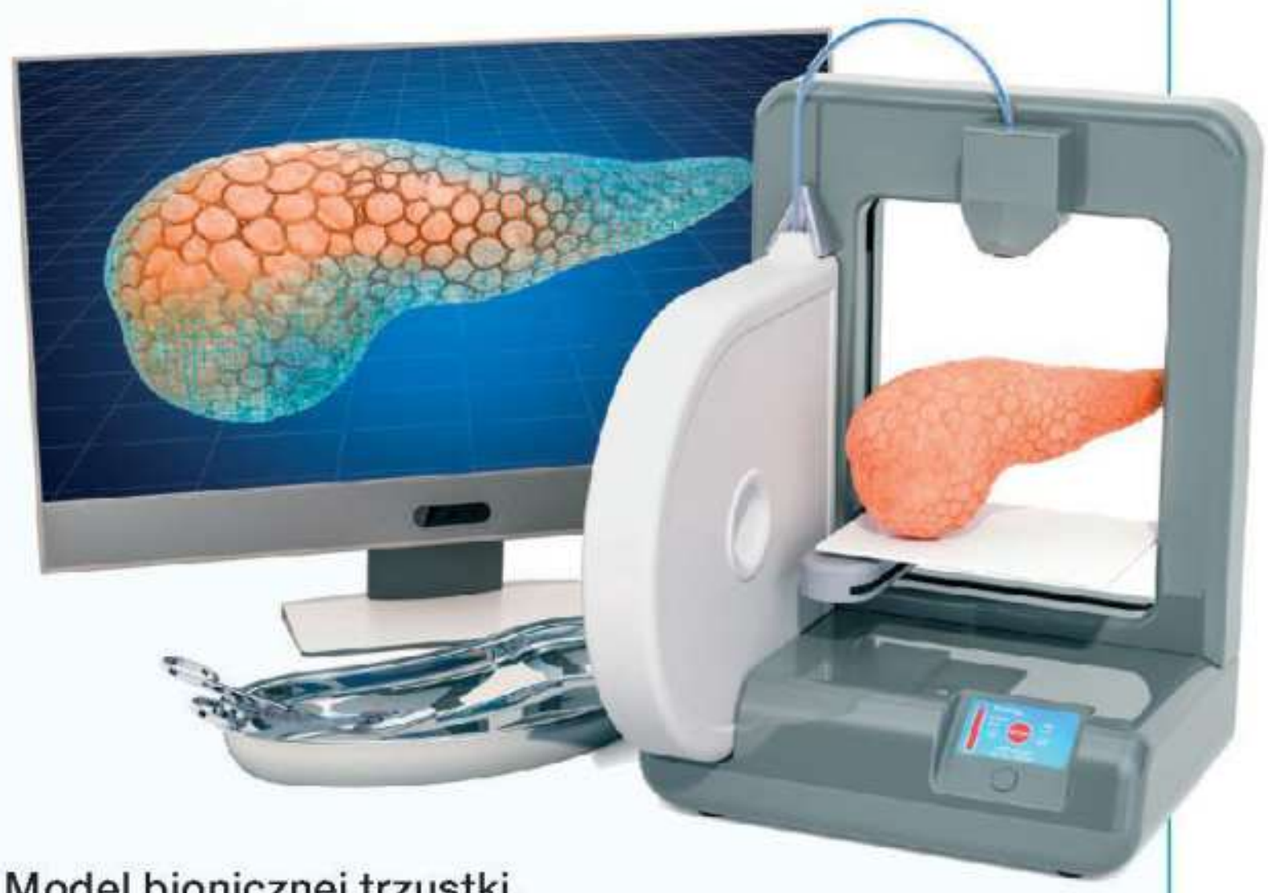
Cecha porównywana	Cukrzyca typu I	Cukrzyca typu II
Przyczyna	niedobór insuliny spowodowany niszczeniem komórek trzustki przez własny układ odpornościowy	zbyt mała produkcja insuliny i zmniejszenie wrażliwości komórek na insulinę
Moment pojawienia się objawów	do 30. roku życia; objawy są nagłe, silne i szybko narastające	po 35. roku życia; objawy są często niezauważalne i powoli narastające
Najczęstszy sposób wykrycia	podczas nagłej konieczności skorzystania z pomocy lekarskiej	najczęściej przypadkowo, w trakcie innych badań
Rozwój choroby	niezależny od stylu życia	związany z otyłością i niezdrowym trybem życia

Dowiedz się więcej

Bioniczna trzustka

W Polsce ok. 3 mln osób choruje na cukrzycę, w tym ok. 200 tys. na cukrzycę typu I. Chorzy na ten typ cukrzycy muszą poddawać się codziennej insulinoterapii. Jedyna szansa na wyleczenie to przeszczep trzustki, który często jest odrzucany przez organizm pacjenta.

W 2019 r. zespół naukowców pod kierunkiem dr. hab. Michała Wszoły wydrukował pierwszy na świecie w pełni unaczyniony prototyp bionicznej trzustki. Podłączenie go do bioreaktora dało pozytywne efekty, a badania przeszły do fazy testów przedklinicznych.



Model bionicznej trzustki.



Tworzenie bionicznej trzustki składa się z kilku etapów:

1. Pobranie komórek macierzystych od pacjenta i ich namnożenie.
2. Transformacja komórek macierzystych w komórki produkujące insulinę i glukagon.
3. Biodruk bionicznej trzustki.
4. Przeszczep funkcjonalnego narządu do ciała pacjenta.

Główną zaletą transplantacji bionicznej trzustki jest minimalne ryzyko odrzucenia przeszczepu (przeszczepiana trzustka jest zbudowana wyłącznie z komórek pobranych od pacjenta) i całkowite wyleczenie choroby.

Dzięki bionicznej trzustce pacjenci z cukrzycą nie będą musieli stosować insulinoterapii.

Polecenia kontrolne

1. Opisz możliwe skutki zaburzeń wydzielania hormonu wzrostu.
2. Porównaj skutki niedoczynności i nadczynności kory nadnerczy.
3. Omów różnice między cukrzycą typu I a cukrzycą typu II.
4. Wyjaśnij, czym jest stres. Omów mechanizm reakcji stresowej.

Podsumowanie

1 Porównanie układu nerwowego z układem hormonalnym

Układ nerwowy	Układ hormonalny
• reguluje pracę narządów za pomocą impulsów nerwowych • regulacja jest szybka i krótkotrwała	• reguluje pracę narządów za pomocą związków chemicznych – hormonów • regulacja jest powolna i długotrwała

2 Hormony – substancje chemiczne, które stymulują lub hamują czynności wybranych komórek organizmu.

3 Podział gruczołów

Gruczoły

wewnątrzwydzielnicze

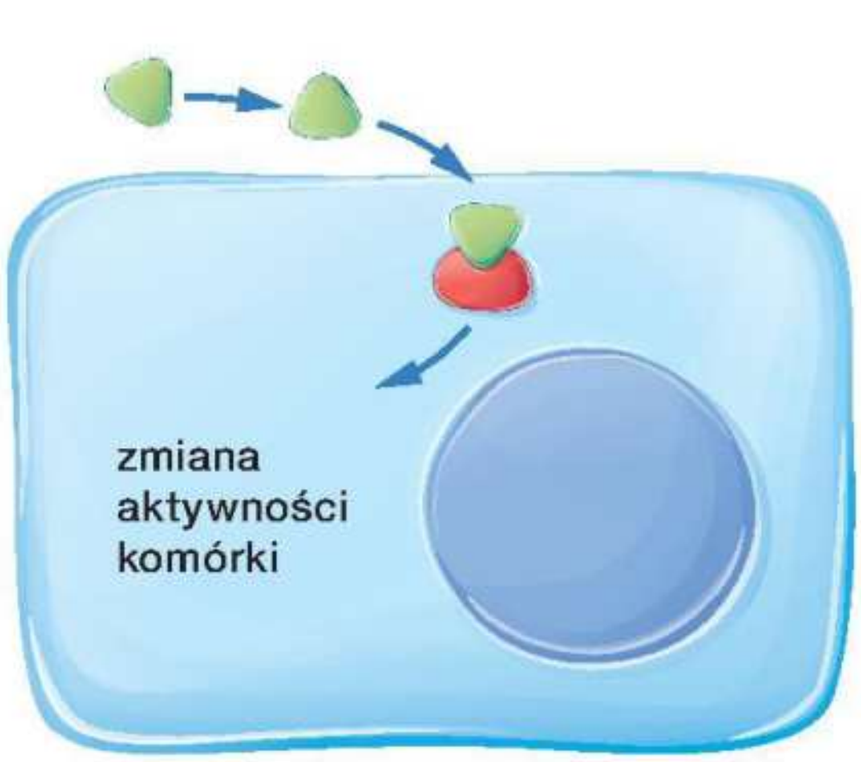
- Wydzielają wytwarzane przez siebie substancje (hormony) do krwi. Przykładem takich gruczołów są nadnercza.

zewnątrzwydzielnicze

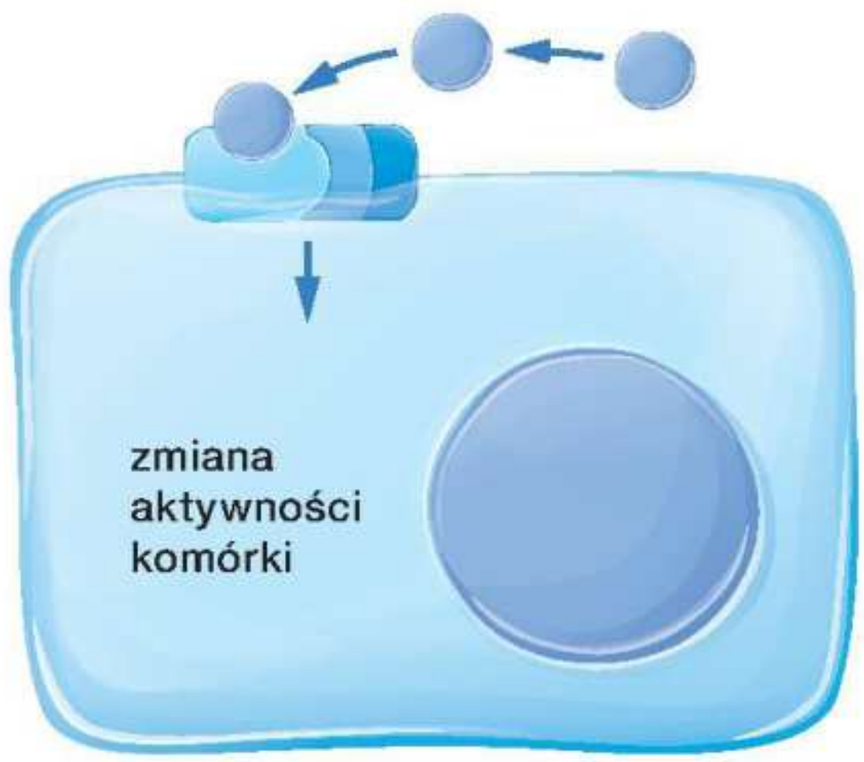
- Mają specjalne przewody wyprowadzające, przez które wydostają się wydzielane przez nie substancje. Przykładem takich gruczołów są gruczoły potowe.

4 Działanie hormonów białkowych i steroidowych

Hormony wydzielane do płynów ustrojowych działają wyłącznie na komórki docelowe, które są wyposażone w receptory charakterystyczne dla danego hormonu. Dzięki temu hormony działają wybiórczo i specyficznie na określone tkanki i narządy, pobudzając lub hamując ich aktywność.



Hormony steroidowe wnikają do wnętrza komórki, gdzie łączą się z receptorem obecnym w cytozolu (receptorem cytozolowym) lub/i w jądrze komórkowym (receptorem jądrowym). Hormony te stymulują syntezę nowych białek, które zmieniają aktywność komórki.



Hormony białkowe nie wnikają do wnętrza komórki, tylko łączą się z receptorem obecnym w błonie komórkowej (receptorem błonowym). Hormony te mogą aktywować już istniejące związki, głównie białka enzymatyczne, albo stymulować syntezę nowych białek.

5 Rodzaje hormonów wydzielanych przez gruczoły dokrewne

Gruczoły dokrewne	Wydzielane hormony	Działanie hormonów
Przysadka	**Hormony wydzielane przez przysadkę**	
	hormon wzrostu (somatotropina, GH)	Pobudza przemianę białek, tłuszczów i węglowodanów we wszystkich komórkach, stymuluje wzrost organizmu.
	prolaktyna (PRL)	Pobudza gruczoły mlekowe u kobiet po porodzie do wytwarzania mleka, hamuje owulację.
	hormony tropowe: TSH, ACTH, FSH i LH	Stymulują tarczycę (TSH), korę nadnerczy (ACTH) i gonady (FSH i LH) do wydzielania hormonów.
	Hormony podwzgórza, magazynowane i uwalniane przez przysadkę	
	wazopresyna (hormon antydiuretyczny, ADH)	Reguluje gospodarkę wodną przez sterowanie procesem zagęszczenia moczu.
	oksytocyna	U kobiet wywołuje skurcze macicy, m.in. podczas porodu, oraz wydzielanie mleka po porodzie, a u mężczyzn – skurcze nasieniowodów podczas ejakulacji.
Szyszynka	melatonina	Reguluje rytm snu i czuwania.
Tarczyca	kalcytonina	Zmniejsza stężenie wapnia we krwi przez blokowanie uwalniania wapnia z kości.
	tyroksyna, trójjodotyronina	Pobudzają metabolizm, ułatwiają wchłanianie glukozy z przewodu pokarmowego.
Przytarczyce	parathormon	Zwiększa stężenie wapnia we krwi przez uwalnianie go z kości i wzmożone wchłanianie z przewodu pokarmowego.
Grasica	tymozyna	Wpływa na dojrzewanie limfocytów T.
Nadnercza	adrenalina	Powoduje wzrost: ciśnienia krwi, częstości skurczów serca, stężenia glukozy we krwi oraz częstości oddechów.
	kortyzol	Bierze udział w reakcji stresowej, powoduje wzrost stężenia glukozy we krwi i zwiększa ciśnienie krwi.
Trzustka	insulina	Zmniejsza stężenie glukozy we krwi i powoduje jej gromadzenie w wątrobie w postaci glikogenu.
	glukagon	Podwyższa poziom glukozy we krwi przez stymulację rozkładu glikogenu występującego w wątrobie.
Jądra	testosteron	Powoduje rozwój męskich narządów rozrodczych, odpowiada za męską budowę ciała, wzrost mięśni szkieletowych i kości oraz rozrost krtani.
Jajniki	estrogeny	Powodują rozwój żeńskich narządów rozrodczych, odpowiadają za żeńską budowę ciała, barwę głosu, żeński typ owłosienia oraz zmiany zachodzące w macicy podczas cyklu miesiączkowego.
	progesteron	Powoduje pogrubianie się błony śluzowej macicy podczas cyklu miesiączkowego, umożliwia prawidłowy przebieg ciąży.

6 **Hormony tkankowe** – hormony wydzielane przez komórki występujące w obrębie różnych narządów. Należą do nich: gastryna, erytropoetyna i histamina.

7 Sposoby regulacji wydzielania hormonów

Ujemne sprzężenie zwrotne	Antagonistyczne działanie hormonów
• utrzymuje odpowiednie stężenie danego hormonu we krwi na osi podwzgórze – przysadka – gruczoł dokrewny; zwiększenie stężenia produktu, w tym przypadku hormonu, powoduje zmniejszenie jego wytwarzania • przykład: regulacja wydzielania hormonów tarczycy, kory nadnerczy, gonad	• za utrzymanie odpowiedniego stężenia danego związku we krwi odpowiadają dwa hormony działające przeciwstawnie • przykład: regulacja poziomu glukozy i wapnia we krwi

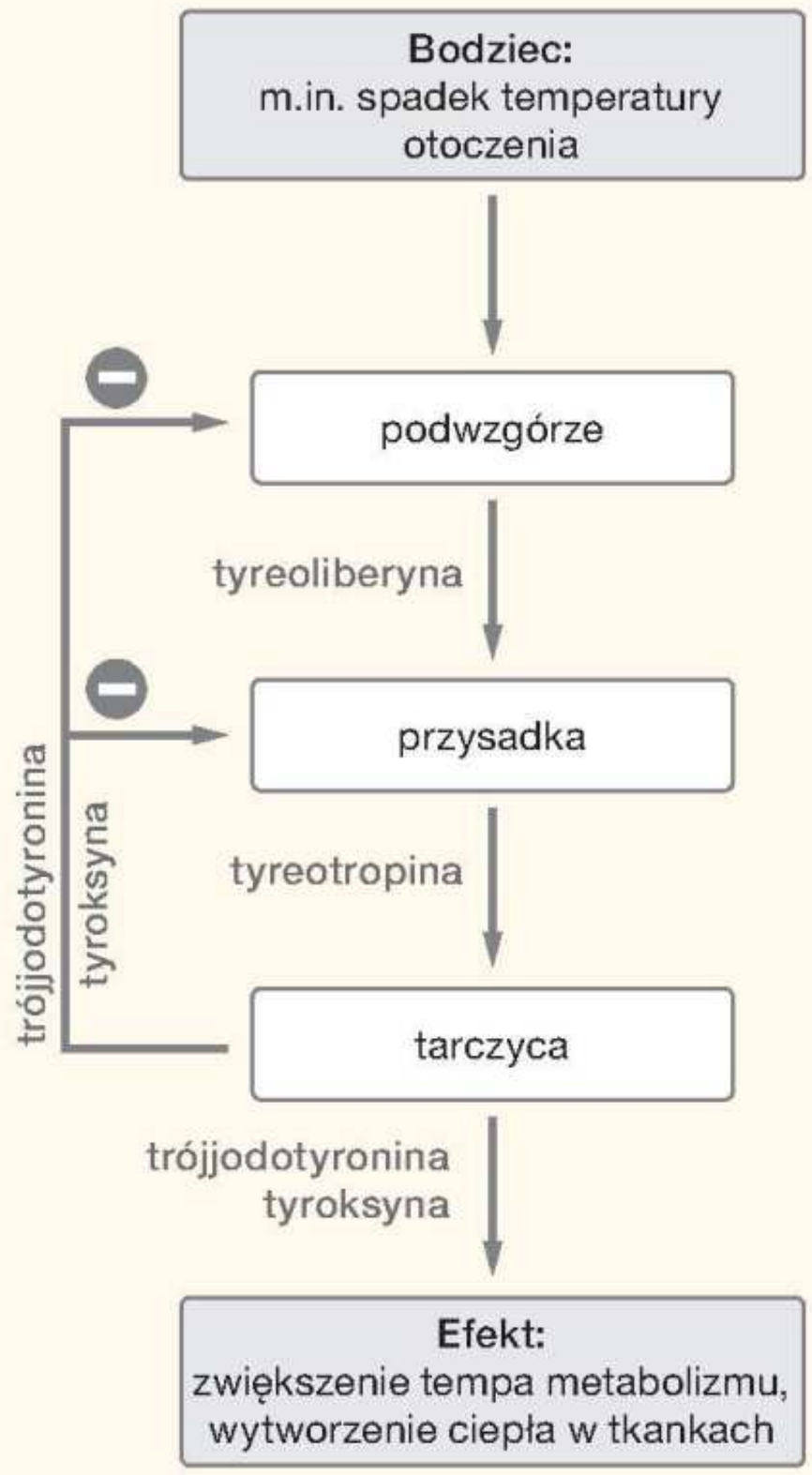
8 Skutki niedoczynności i nadczynności gruczołów dokrewnych

Niedoczynność	Nadczynność
przysadka	
• zbyt niski poziom hormonu wzrostu – karłowatość przysadkowa	• zbyt wysoki poziom hormonu wzrostu – gigantyzm, akromegalia
tarczyca	
• kretynizm • powiększenie tarczycy, sucha i szorstka skóra, obwisłe powieki, zwiększenie masy ciała i zmęczenie • zwiększenie poziomu wapnia we krwi	• choroba Gravesa–Basedowa (wytrzeszcz gałek ocznych, drżenie rąk)
przytarczyce	
• zmniejszenie poziomu wapnia we krwi • uczucie mrowienia, tężyczka	• zwiększenie poziomu wapnia we krwi, odwapnienie kości • bóle kości, problemy z chodzeniem
grasica	
• zaburzenia odporności • zbyt mała liczba limfocytów we krwi	• jeżeli nie zanikła po okresie dojrzewania, to jej obecność prowadzi do miastenii
nadnercza	
• niedobór kortyzolu: zmniejszenie masy ciała, przebarwienia skóry, bóle brzucha, brak łaknienia	• nadmiar kortyzolu: nadciśnienie tętnicze, otyłość, osłabienie siły mięśni
trzustka	
• niedobór insuliny – podwyższony poziom glukozy we krwi, cukrzyca typu I	• nadmiar insuliny – niedobór glukozy we krwi
jądra	
• słaby rozwój typowo męskich cech budowy ciała, obniżony popęd płciowy, zaburzenia płodności	• przedwczesne dojrzewanie płciowe, nadmierna muskulatura i owłosienie ciała, zaburzenia płodności, choroby serca
jajniki	
• słaby rozwój typowo kobiecych cech budowy ciała, zaburzenia miesiączkowania i płodności	• zaburzenia miesiączkowania i płodności, bóle brzucha, rozrost narządów rozrodczych

Sposób na zadania

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Schemat przedstawia mechanizm regulacji wydzielania hormonów tarczycy.



a) Uzasadnij, że wydzielanie hormonów tarczycy jest regulowane na zasadzie ujemnego sprzężenia zwrotnego.

b) Określ, w której warstwie skóry człowieka znajdują się receptory rejestrujące zmiany temperatury otoczenia.

Wskazówki

Podpunkt a)

1. Przypomnij sobie, na czym polega mechanizm ujemnego sprzężenia zwrotnego w regulacji wydzielania hormonów. Informacje na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 416–417.
2. Przeanalizuj schemat przedstawiający regulację wydzielania hormonów tarczycy. Zwróć szczególną uwagę na sposób działania hormonów: w jakiej sytuacji działają one pobudzająco na wydzielanie hormonów przez inne gruczoły dokrewne, a w jakiej – hamująco.
3. Porównaj schemat wydzielania hormonów na zasadzie sprzężenia zwrotnego ujemnego (s. 416–417) ze schematem wydzielania hormonów tarczycy, który przedstawiono we wstępie do zadania.
4. Sformułuj odpowiedź.

Podpunkt b)

1. Przypomnij sobie wiadomości dotyczące budowy i funkcji skóry człowieka. Informacje na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 38–40.
2. Zwróć szczególną uwagę na rodzaje receptorów występujących w skórze oraz na ich rozmieszczenie w poszczególnych warstwach skóry.
3. Sformułuj odpowiedź.

Zadania powtórzeniowe

WYKONAJ W ZESZYCIE

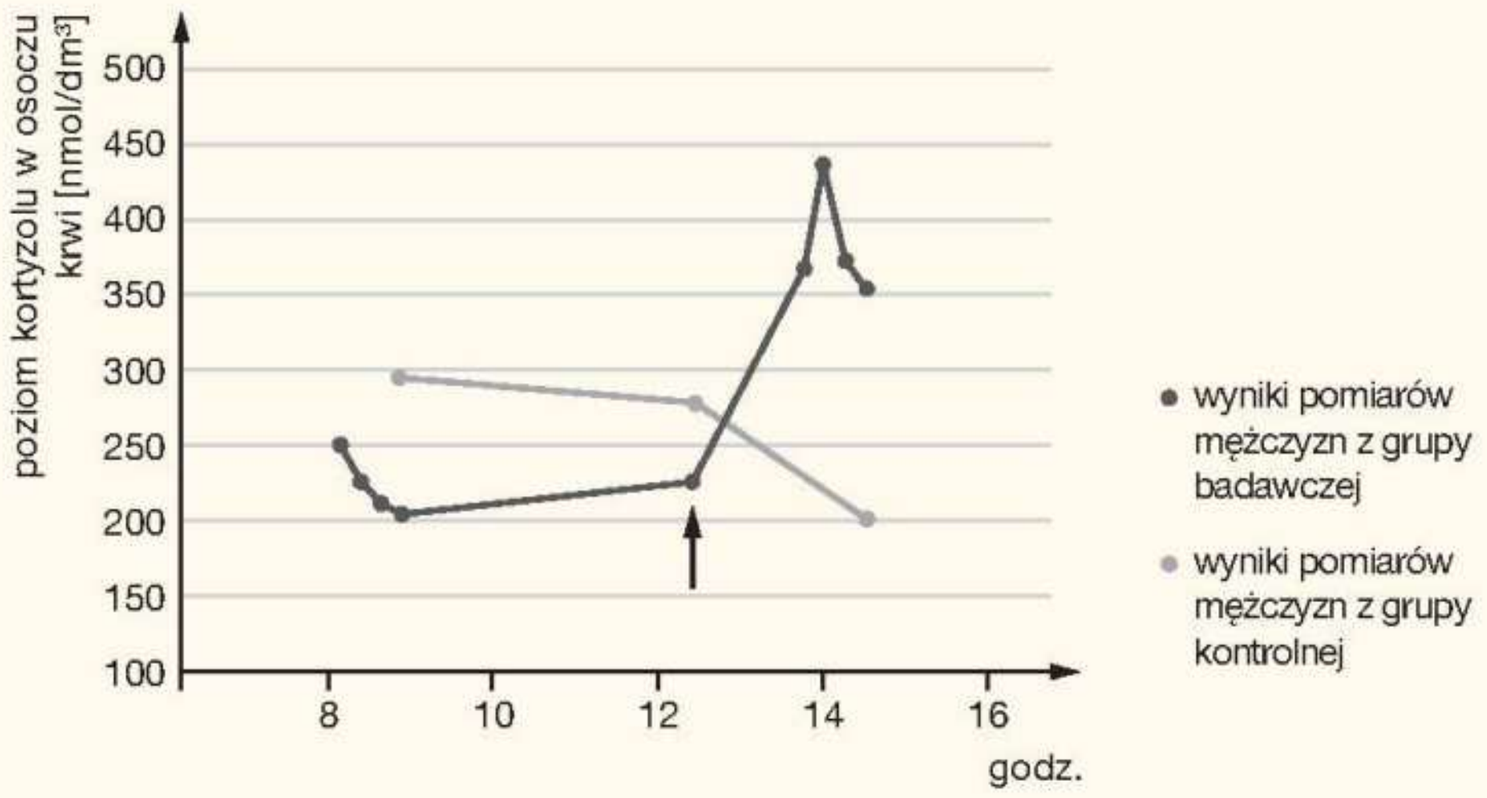
1 Cytokiny to peptydy lub białka (wytwarzane i wydzielane m.in. przez limfocyty), które krążą we krwi albo znajdują się w narządach limfatycznych oraz tkankach. Cytokiny pobudzają inne komórki układu odpornościowego do neutralizowania patogenów na drodze fagocytozy, m.in. wpływają na sąsiadujące z limfocytami makrofagi.

a) Określ, w jaki sposób – autokrynnie, parakrynnie czy endokrynnie – cytokiny, które są wydzielane przez limfocyty, oddziałują na sąsiadujące z nimi makrofagi. Odpowiedź uzasadnij.

b) Podaj przykład komórek – innych niż wymienione w tekście – które wydzielają cytokiny.

2 Przeprowadzono badania z udziałem mężczyzn, którzy nigdy nie wykonywali skoków ze spadochronem. Mężczyźni zostali podzieleni na dwie grupy: badawczą, której członkowie wykonali skok ze spadochronem, oraz kontrolną, której członkowie nie wykonali skoku. W dniu skoku mężczyznom z obu grup zmierzono stężenie kortyzolu w osoczu krwi. W grupie badawczej pobrano dziewięć próbek krwi: cztery w drodze na samolot, jedną na chwilę przed wejściem do samolotu (na wykresie próbę tę oznaczono strzałką) i cztery tuż po wykonaniu skoku. W grupie kontrolnej pobrano trzy próbki krwi: pierwszą, gdy członkowie grupy badawczej byli w drodze na samolot, drugą, gdy skaczący wchodzili do samolotu, trzecią – chwilę po wykonaniu skoku przez mężczyzn z grupy badawczej.

Poniższy wykres przedstawia wyniki tych pomiarów.



Na podstawie: R.T. Chatterton Jr., K.M. Vogelsong, Y.-C. Lu, G.A. Hudgens, *Hormonal Responses to Psychological Stress in Men Preparing for Skydiving*, „The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism" 1997, vol. 82, iss. 8, s. 2503–2509.

a) Spośród podanych propozycji (1–5) wybierz dwa prawidłowo sformułowane problemy badawcze i dwie prawidłowo sformułowane hipotezy. Wpisz odpowiednie cyfry w wyznaczonych miejscach.

1. Skok ze spadochronem powoduje wzrost stężenia kortyzolu w osoczu krwi.
2. Badania nad zmianami stężenia kortyzolu w osoczu krwi u mężczyzn wykonujących skok ze spadochronem.
3. Jak zmienia się stężenie kortyzolu w osoczu krwi w dniu, w którym wykonuje się skok ze spadochronem?
4. W dniu skoku ze spadochronem stężenie kortyzolu w osoczu krwi jest wyższe u mężczyzn, którzy wykonali skok, niż u mężczyzn, którzy nie wykonali skoku.
5. Wpływ stresu związanego ze skokiem ze spadochronem na stężenie kortyzolu w osoczu krwi.

Problemy badawcze: ? Hipotezy: ?

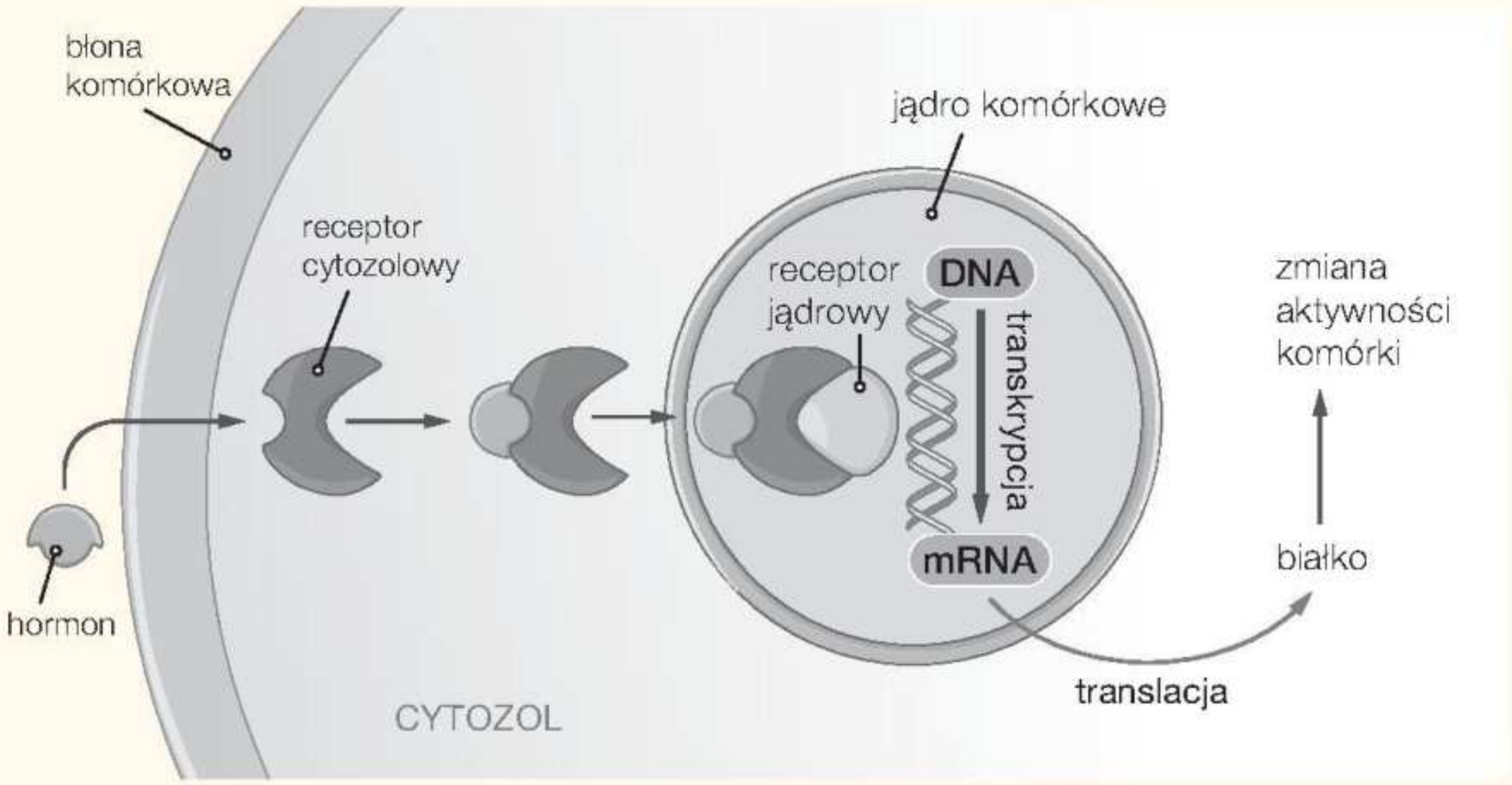
b) Sformułuj wniosek dotyczący różnicy w porannym stężeniu kortyzolu w osoczu krwi u mężczyzn, którzy mieli wykonać skok ze spadochronem, oraz u mężczyzn, którzy nie mieli wykonać skoku.

c) Określ, co stanowiło zmienną zależną w przedstawionym badaniu.

d) Wyjaśnij, w jakim celu pobrano i zbadano krew mężczyznom, którzy nie wykonywali skoku ze spadochronem.

e) Podaj nazwę gruczołu dokrewnego, który odpowiada za wydzielanie kortyzolu w organizmie człowieka.

3 Schemat przedstawia mechanizm działania pewnego hormonu.



a) Określ, jaką budowę – białkową czy steroidową – ma hormon, którego działanie przedstawiono na schemacie. Odpowiedź uzasadnij, uwzględniając lokalizację receptorów tego hormonu we wnętrzu komórki.

b) Podaj nazwę struktury komórkowej odpowiedzialnej za syntezę białek w procesie translacji.

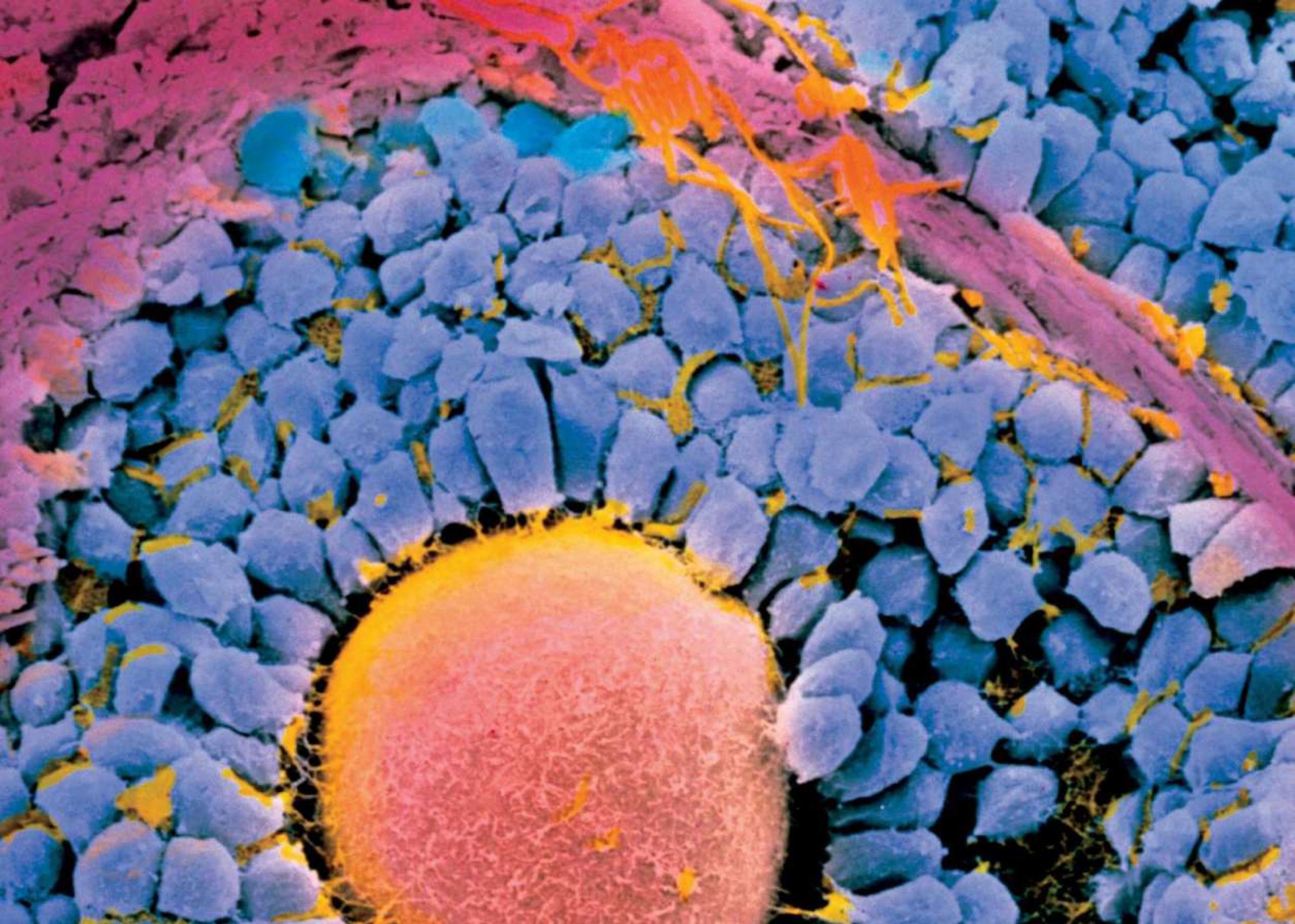
c) Zaznacz, które z poniższych struktur komórkowych występują licznie w komórkach syntetyzujących hormony białkowe, a które – w komórkach syntetyzujących hormony steroidowe. Wstaw znak X w odpowiednich miejscach.

Uwaga: niektóre struktury występują licznie w obu typach komórek.

		Komórki syntetyzujące hormony białkowe	Komórki syntetyzujące hormony steroidowe
1.	Aparat Golgiego	?	?
2.	Siateczka śródplazmatyczna szorstka	?	?
3.	Siateczka śródplazmatyczna gładka	?	?

d) Wybierz zestaw, w którym poprawnie podano nazwę hormonu, jego charakter chemiczny oraz nazwę wydzielającego go gruczołu.

	Nazwa hormonu	Charakter chemiczny hormonu	Nazwa gruczołu
A.	Insulina	białkowy	tarczyca
B.	Glukagon	białkowy	trzustka
C.	Hormon wzrostu	steroidowy	nadnercza
D.	Oksytocyna	steroidowy	przysadka



11. Rozmnażanie i rozwój

11.1. Rozmnażanie i rozwój u zwierząt
11.2. Budowa i funkcje męskich narządów rozrodczych
11.3. Budowa i funkcje żeńskich narządów rozrodczych
11.4. Rozwój człowieka. Metody antykoncepcji
11.5. Higiena i choroby układu rozrodczego

Fot. Pęcherzyk jajnikowy (mikrofotografia elektronowa).

11.1. Rozmnażanie i rozwój u zwierząt

Zwróć uwagę na:

- charakterystykę rozmnażania płciowego i rozmnażania bezpłciowego,
- przebieg rozwoju zarodkowego,
- typy zapłodnienia (zewnętrzne, wewnętrzne) i rozwoju (prosty, złożony).

Rozmnażanie się to proces powstawania nowych osobników z organizmów rodzicielskich. Zapewnia on zachowanie ciągłości gatunku i zwiększenie liczby jego przedstawicieli. Rozwój nowego osobnika od momentu jego pojawienia się nosi nazwę ontogenezy.

Rozmnażanie bezpłciowe

Rozmnażanie bezpłciowe odbywa się bez udziału gamet. Nie dochodzi w nim do powstawania nowych kombinacji genów, dlatego organizm potomny jest identyczny z organizmem rodzicielskim pod względem genetycznym. Ten sposób rozmnażania nie zwiększa różnorodności genetycznej gatunku, przez co ogranicza zdolność przystosowania się zwierząt do zmieniających się warunków środowiska. Zaletą rozmnażania bezpłciowego jest zwiększenie liczby osobników w krótkim czasie – pozwala to na szybkie rozprzestrzenienie się gatunku na danym obszarze. Przykładami rozmnażania bezpłciowego są m.in. podział podłużny, podział poprzeczny, fragmentacja kolonii i pączkowanie.

Sposoby rozmnażania bezpłciowego u parzydełkowców i gąbek

Rozmnażanie bezpłciowe występuje najczęściej u zwierząt o niskim stopniu rozwoju ewolucyjnego, m.in. u polipów parzydełkowców i u gąbek.



Rozmnażanie płciowe

Zwierzęta rozmnażają się głównie płciowo. W procesie tym biorą udział **gamety**, czyli wyspecjalizowane komórki płciowe. U wszystkich zwierząt występuje **oogamia**: gameta żeńska (komórka jajowa) jest duża i nieruchliwa, natomiast gameta męska (plemnik) jest mniejsza i wykazuje zdolność ruchu. U większości zwierząt gamety powstają w **gonadach**. Gonady żeńskie to jajniki, a gonady męskie – jądra.

U zwierząt może występować rozdzielnopłciowość lub obupłciowość. U zwierząt rozdzielnopłciowych występują dwie płcie. Osobniki płci żeńskiej mają jajniki i produkują komórki jajowe. Osobniki płci męskiej mają jądra i produkują plemniki. Rozdzielnopłciowość często wiąże się z **dymorfizmem płciowym**, czyli zróżnicowaniem budowy zewnętrznej osobników obu płci. **Obojnactwo**, czyli hermafrodytyzm, występuje wówczas, gdy osobnik ma jednocześnie jądra i jajniki lub ma jedną gonadę, która produkuje oba typy gamet.

Rozmnażaniu płciowemu towarzyszy powstawanie nowych kombinacji genów. Dzięki temu potomstwo różni się genetycznie od osobników rodzicielskich, co prowadzi do zwiększenia zmienności genetycznej gatunku. Z rozmnażaniem płciowym związane są dwa procesy: mejoza oraz zapłodnienie.

Podczas mejozy zachodzi *crossing-over*, czyli wymiana odcinków chromatyd między chromosomami homologicznymi. Proces ten stanowi podstawę zróżnicowania genetycznego osobników w obrębie gatunku. Ponadto w trakcie mejozy dochodzi do redukcji liczby chromosomów z 2n do 1n.

Podczas zapłodnienia gamety osobników rodzicielskich łączą się, w wyniku czego powstaje zygota, a z niej – osobnik potomny o zmodyfikowanej kombinacji cech. Losowe łączenie się gamet pochodzących od różnych osobników jest dodatkowym źródłem zmienności genetycznej w obrębie gatunku.

Rozmnażanie płciowe czy rozmnażanie bezpłciowe?

Poliembrionia i partenogeneza to przykłady rozmnażania, których klasyfikacja budzi wiele kontrowersji. Niektórzy naukowcy zaliczają je do rozmnażania bezpłciowego, inni zaś – do rozmnażania płciowego, ponieważ odbywa się ono z udziałem gamet.

Poliembrionia to zdolność wytwarzania wielu identycznych osobników potomnych z jednego zarodka powstałego na drodze rozmnażania płciowego. Poliembrionia występuje np. u pancerników dziewięciopaskowych, u których z jednej zygoty powstają cztery zarodki.



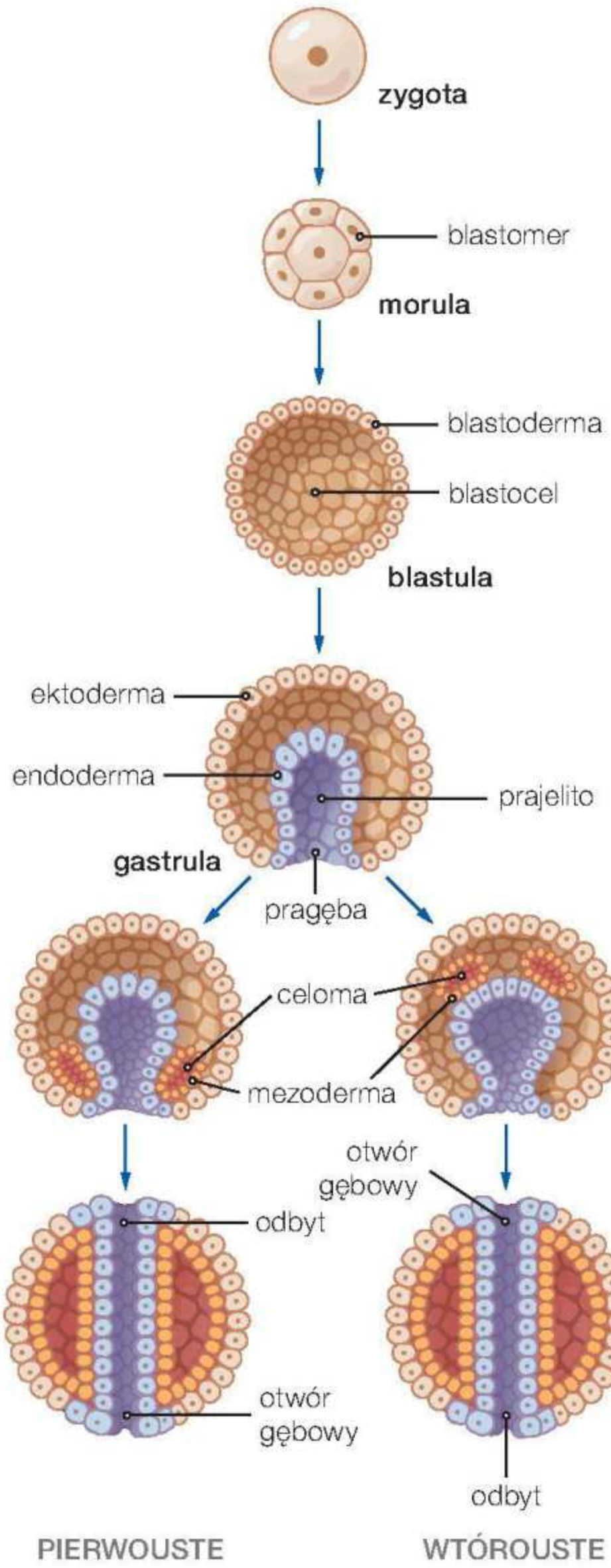
Partenogeneza to rozwój osobników potomnych z niezapłodnionych komórek jajowych. Pozwala ona w krótkim czasie wydać na świat wiele osobników potomnych i lepiej wykorzystać zasoby środowiska. Partenogeneza występuje np. u mszyc.



Przypomnij sobie

Rozwój zarodkowy pierwoustych i wtóroustych

U **zwierząt pierwoustych** mezoderma powstaje z komórek ektodermy, a pragęba przekształca się w otwór gębowy. Natomiast u **zwierząt wtóroustych** mezoderma powstaje z endodermy, a pragęba przekształca się w odbyt.



Wyróżnia się dwa rodzaje zapłodnienia:

- **zapłodnienie zewnętrzne** – występuje, gdy komórki płciowe łączą się ze sobą poza organizmem. Jest ono charakterystyczne głównie dla zwierząt wodnych;
- **zapłodnienie wewnętrzne** – występuje, gdy plemniki są przekazywane bezpośrednio do dróg rodnych samicy (lub partnera płciowego w przypadku obojnaków), gdzie następuje połączenie gamet. Jest ono charakterystyczne przede wszystkim dla zwierząt lądowych, gdyż zapobiega wysychaniu gamet.

U gatunków obojnaczych może dochodzić do **samozapłodnienia**, jeśli komórki jajowe i plemniki pochodzą od tego samego osobnika lub członu (tasiemce), albo do **zapłodnienia krzyżowego** – jeśli komórki jajowe i plemniki pochodzą od różnych osobników lub członów.

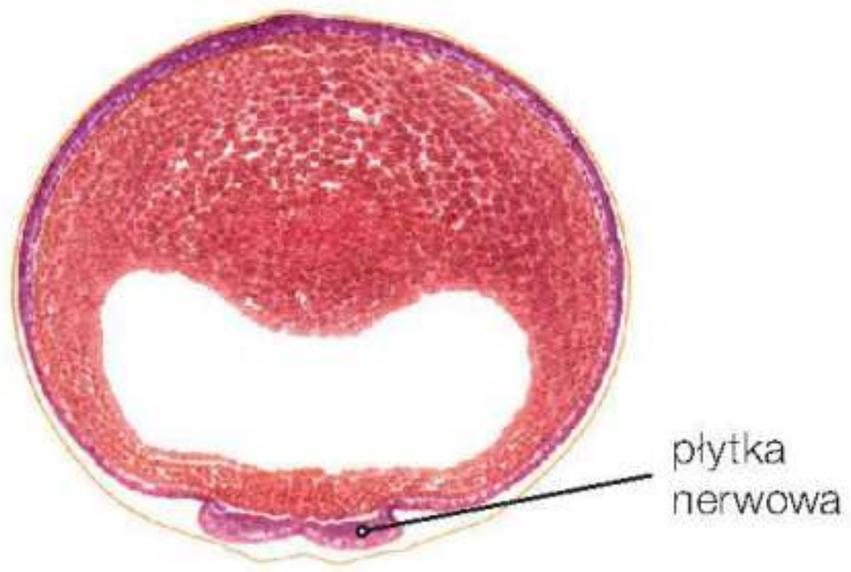
Rozwój zarodkowy

Rozwój zarodkowy organizmu – **embriogeneza** – rozpoczyna się w chwili, gdy w rezultacie zapłodnienia powstaje diploidalna **zygota**. U wszystkich zwierząt pierwsze etapy rozwoju zarodkowego przebiegają podobnie. Najpierw zachodzi **bruzdkowanie**, czyli seria podziałów mitotycznych, w wyniku których powstaje coraz więcej komórek. Komórki potomne powstałe podczas bruzdkowania są nazywane **blastomerami**. Po pierwszym podziale zygoty tworzą się 2 blastomery, a po następnych podziałach – 4, 8, 16 itd. Zarodek zbudowany z kilkunastu lub kilkudziesięciu stykających się ze sobą blastomerów nosi nazwę **moruli**. Po pewnym czasie między komórkami moruli pojawia się płyn, który stopniowo wypełnia wnętrze zarodka, komórki zaś układają się na jego powierzchni. W ten sposób powstaje **blastula** – pęcherzyk o ścianie zbudowanej z jednej warstwy komórek określanej mianem blastodermy. Jego wnętrze wypełnione płynem to pierwotna jama ciała, zwana blastocelem.

Kolejnym etapem rozwoju zarodkowego jest **gastrulacja**, czyli proces formowania się listków zarodkowych. Podczas tego procesu część komórek z powierzchni blastuli przedostaje

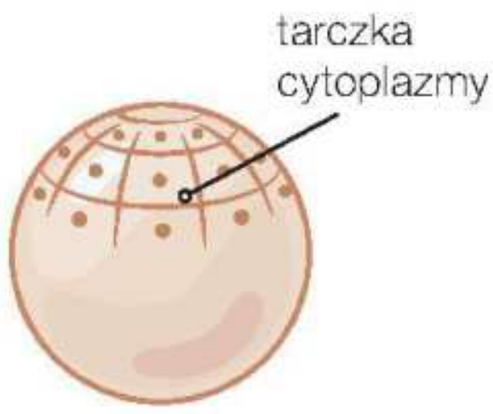
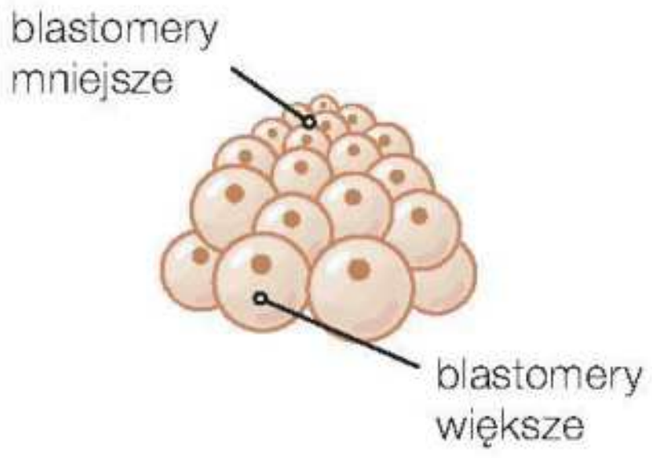
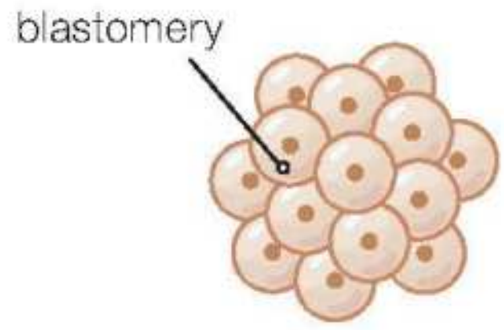
się do jej wnętrza i tworzy drugą wewnętrzną warstwę. Obie warstwy komórek noszą nazwę listków zarodkowych, przy czym warstwę zewnętrzną nazywa się **ektodermą**, a warstwę wewnętrzną – **endodermą**. Ciała parzydełkowców powstają tylko z dwóch listków zarodkowych, dlatego zwierzęta te określa się mianem dwuwarstwowców. U pozostałych zwierząt tkankowych w trakcie rozwoju zarodka między ektodermą a endodermą formuje się trzeci listek zarodkowy – **mezoderma**. W jej obrębie tworzy się wolna przestrzeń, zwana wtórną jamą ciała (celomą). Zwierzęta, których tkanki i narządy powstają z trzech listków zarodkowych, noszą nazwę trójwarstwowców.

Podczas gastrulacji, wskutek wyodrębnienia się endodermy, powstaje ograniczona przez nią przestrzeń zwana prajelitem. Stanowi ona zawiązek przyszłego przewodu pokarmowego. Do prajelita prowadzi otwór zwany pragębą. U **zwierząt pierwoustych** pragęba daje początek otworowi gębowemu, natomiast odbyt powstaje na przeciwległym końcu ciała. Z kolei u **zwierząt wtóroustych** pragęba przekształca się w odbyt, a otwór gębowy pojawia się na drugim końcu ciała. Do zwierząt pierwoustych należą płazińce, wrotki, nicienie, pierścienice, stawonogi oraz mięczaki, a do zwierząt wtóroustych – szkarłupnie i strunowce. Różnice w rozwoju pierwoustych i wtóroustych dotyczą również sposobu bruzdkowania oraz powstawania mezodermy. Po gastrulacji zachodzi **histogeneza**, podczas której z listków zarodkowych rozwijają się tkanki ostateczne. Ostatnim etapem rozwoju zarodkowego jest **organogeneza**. W jej trakcie wykształcają się narządy i układy narządów. Z ektodermy powstają powłoki ciała, układ nerwowy i narządy zmysłów. Endoderma daje początek nabłonkowi przewodu pokarmowego, gruczołom trawiennym oraz nabłonkom narządów oddechowych. Natomiast z mezodermy rozwijają się mięśnie, układy krwionośny, wydalniczy i rozrodczy, a u kręgowców – także szkielet.



Zarodek żaby trawnej po gastrulacji, w trakcie rozwoju układu nerwowego z komórek płytki nerwowej (obraz spod mikroskopu optycznego).

Rodzaj bruzdkowania a zawartość substancji odżywczych w komórce jajowej

Bruzdkowanie		
częściowe	**całkowite nierównomierne**	**całkowite równomierne**
• zachodzi w jajach bogatożółtkowych (polilecytalnych) • podziałom ulega tarczka cytoplazmy umiejscowiona na biegunie niezawierającym żółtka • występuje m.in. u ptaków i wielu ryb 	• zachodzi w jajach średniożółtkowych (mezolecytalnych) • podziałom ulega cała komórka – blastomery różnią się wielkością • występuje m.in. u płazów, których rozwój zachodzi częściowo w obrębie jaja, a częściowo w środowisku zewnętrznym 	• zachodzi w jajach skąpożółtkowych (oligolecytalnych) • podziałom ulega cała komórka – blastomery nie różnią się wielkością • występuje głównie u ssaków łożyskowych – zarodek rozwija się w organizmie matki, z którego czerpie substancje odżywcze 

Rodzaje rozrodu

Rozwój zarodkowy kończy się opuszczeniem osłon jajowych lub porodem. Rozwój ten może odbywać się w obrębie ciała samicy albo poza nim. Ze względu na rodzaj rozrodu zwierzęta dzieli się na jajorodne, jajożyworodne i żyworodne.

U **zwierząt jajorodnych** zarodek rozwija się w jaju wydalonym z organizmu matki przed zapłodnieniem lub tuż po nim. Zwierzęta te wytwarzają najczęściej jaja bogatożółtkowe lub średniożółtkowe, ponieważ rozwój zarodka obywa się wyłącznie dzięki substancjom zmagazynowanym w komórce jajowej. Jaja są składane do środowiska zewnętrznego. Do zwierząt jajorodnych należy większość bezkręgowców, ryb, płazów i gadów, a także ptaki oraz stekowce.

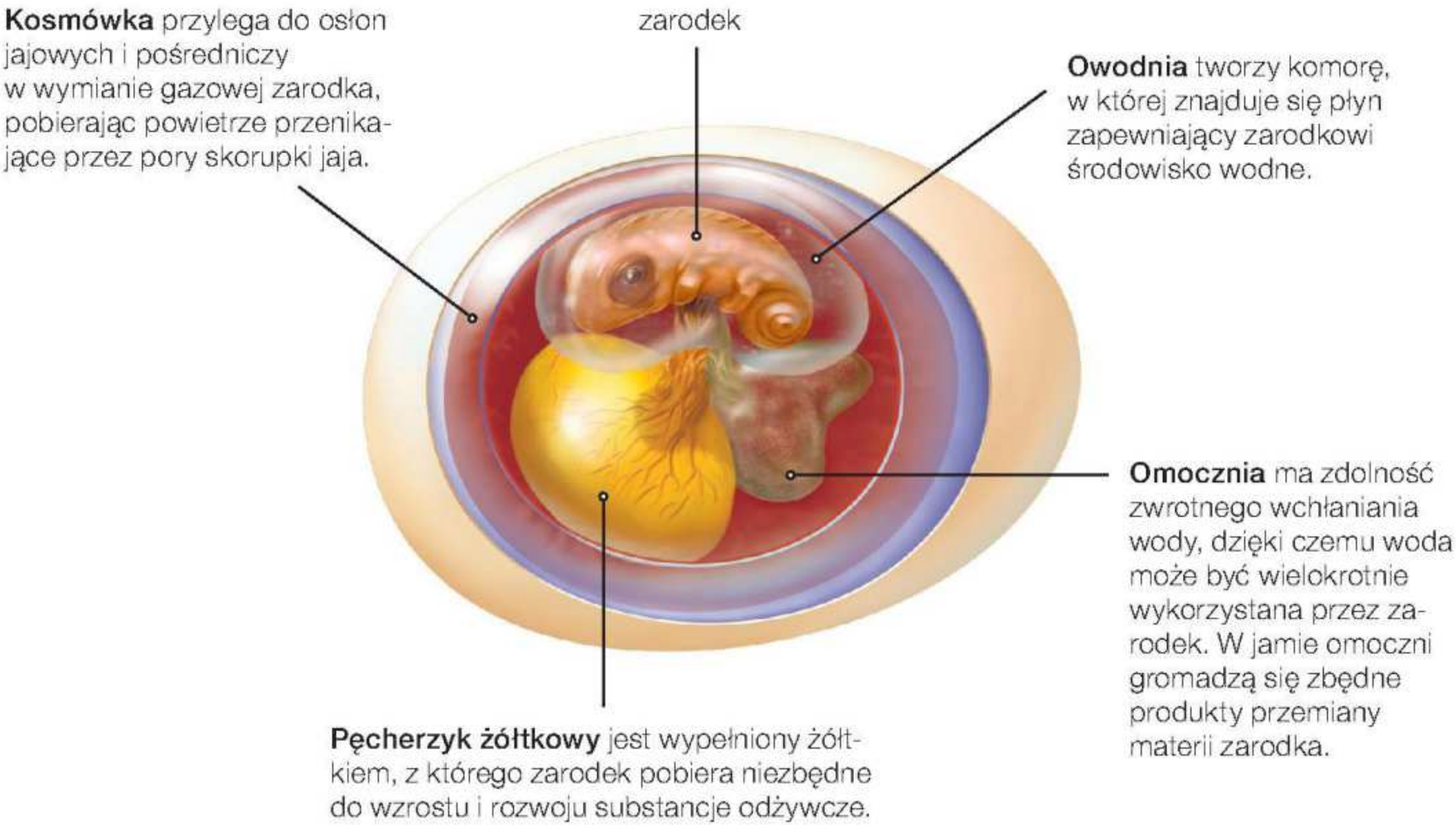
U **zwierząt jajożyworodnych** zarodek rozwija się w obrębie osłon jajowych kosztem substancji zmagazynowanych w komórce jajowej. Proces ten zachodzi w organizmie samicy. Zwierzęta jajożyworodne wytwarzają najczęściej jaja bogatożółtkowe lub średniożółtkowe. Jajożyworodność występuje u niektórych gatunków bezkręgowców, ryb, płazów i gadów.

U **zwierząt żyworodnych** zarodek rozwija się w drogach rodnych samic, a wszystkie substancje odżywcze otrzymuje z ciała matki. Zwierzęta te produkują komórki jajowe bezżółtkowe lub skąpożółtkowe. Żyworodność występuje u niektórych gatunków ryb, płazów i gadów, a wśród ssaków – u torbaczy i łożyskowców. U łożyskowców dodatkowo rozwija się łożysko – narząd, który umożliwia wymianę substancji między zarodkiem a organizmem matki.

Przypomnij sobie

Błony płodowe

Wykształcenie błon płodowych jest jedną z najważniejszych adaptacji, które pozwoliły owodniowcom (gadom, ptakom i ssakom) na opanowanie środowiska lądowego. Dzięki błonom płodowym rozwój zarodka jest całkowicie niezależny od środowiska wodnego. Zarodki owodniowców wytwarzają cztery błony płodowe: pęcherzyk żółtkowy, owodnię, omocznię i kosmówkę.



Rozwój młodocianych osobników

U zwierząt występują dwa typy rozwoju młodocianych osobników: rozwój prosty i rozwój złożony.

W **rozwoju prostym** młody osobnik jest bardzo podobny do osobnika dorosłego i prowadzi podobny do niego tryb życia. Rozwój młodocianego osobnika polega na wzroście organizmu i dojrzewaniu jego narządów rozrodczych. Ten typ rozwoju przechodzą wszystkie zwierzęta żyworodne, ślimaki lądowe, a także większość pajęczaków, ryb, gadów, ptaków i ssaków.

W **rozwoju złożonym** z jaj wylęgają się formy młodociane – larwy – które często różnią się od osobnika dorosłego wyglądem i trybem życia. W rozwoju niektórych zwierząt może występować kilka różnych postaci larwalnych (np. u pasożytów), a osiąganie przez nie kolejnych stadiów rozwoju wiąże się ze zmianą żywiciela lub środowiska życia. Wyróżnia się dwa rodzaje żywicieli:

- **żywiciel pośredni** to organizm, w którym pasożyt rozmnaża się bezpłciowo,
- **żywiciel ostateczny** to organizm, w którym pasożyt rozmnaża się płciowo.

Rozwojem złożonym charakteryzują się pasożytnicze płazińce, a także morskie skorupiaki, owady i płazy.

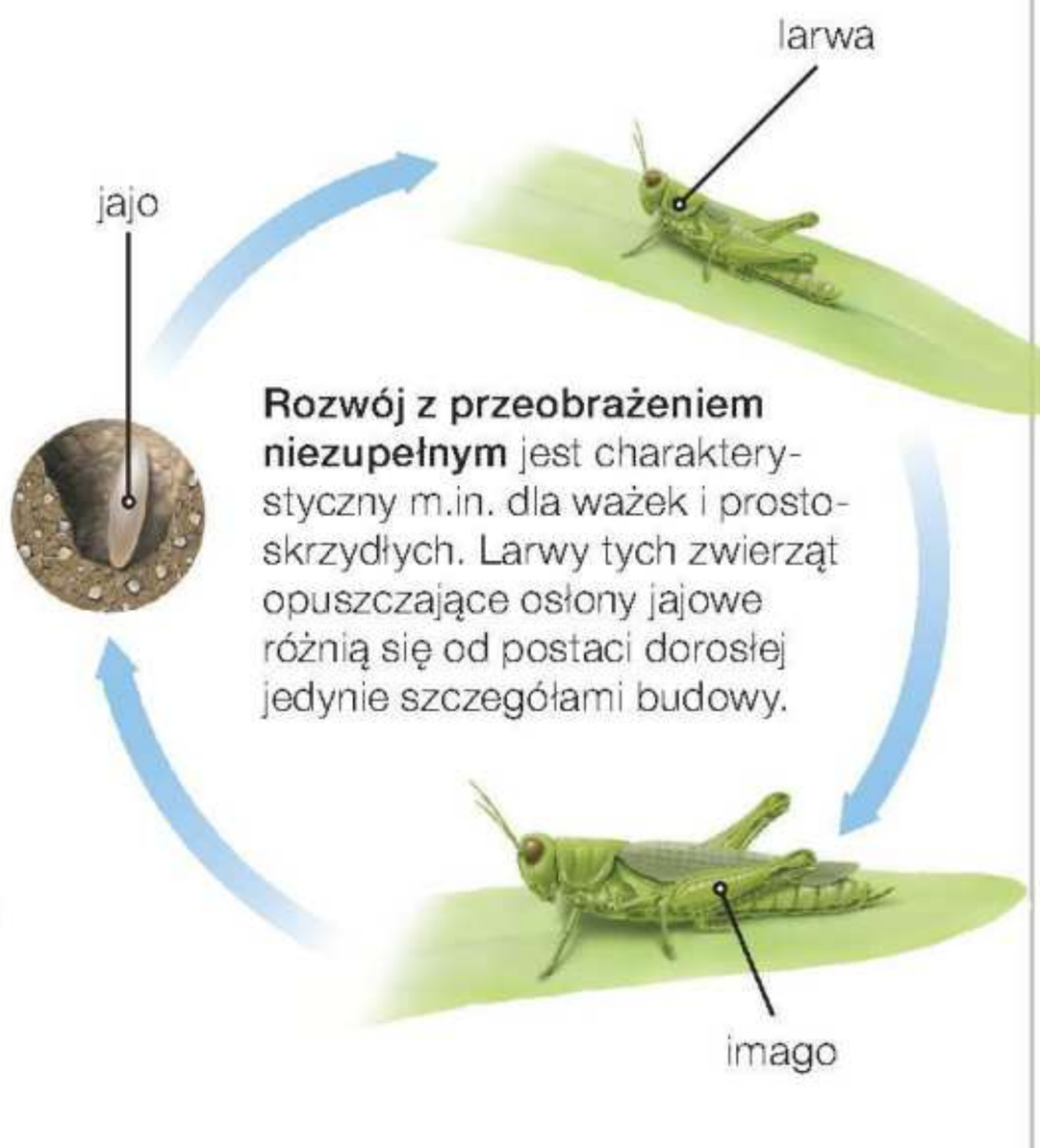
Przypomnij sobie

Rozwój złożony stawonogów

U stawonogów rozwój złożony może zachodzić z przeobrażeniem niezupełnym lub zupełnym. W rozwoju złożonym z przeobrażeniem niezupełnym występują dwa podobne do siebie stadia rozwojowe: larwa oraz postać dorosła – imago. W rozwoju złożonym z przeobrażeniem zupełnym występują trzy stadia rozwojowe: larwa, poczwarka i imago. Larwa znacznie różni się od postaci dorosłej wyglądem i trybem życia. Przebudowa organizmu do postaci dorosłej odbywa się w stadium poczwarki.



Rozwój niepylaka apollo (*Parnassius apollo*).



Rozwój konika (*Chorthippus*).

Systemy rozrodcze

Systemy rozrodcze to sposoby rozmnażania się i opieki nad potomstwem, które są uzależnione od stosunków panujących pomiędzy samicami a samcami. Celem tych systemów jest zwiększenie sukcesu rozrodczego osobników. Główne kryteria klasyfikowania systemów rozrodczych to m.in. czas, na jaki partnerzy dobierają się w pary, liczba partnerów w czasie jednego sezonu rozrodczego, a także udział poszczególnych płci w opiece nad potomstwem.



Samce batalionów na czas rozrodu zmieniają upierzenie na szatę godową, walczą ze sobą i wykonują efektowne loty godowe, aby przywabić samice.

Poligamia

Poligamia występuje wtedy, gdy osobnik jednej płci kojarzy się z kilkoma osobnikami płci przeciwnej. Wśród gatunków poligamicznych często występuje dymorfizm płciowy. Oznacza to, że samce i samice różnią się wyglądem, a przedstawiciel płci przyciągającej wielu partnerów jest np. większy lub bardziej kolorowy. W obrębie poligamii wyróżnia się poligynię i poliandrię.



Poligynia polega na kojarzeniu się w okresie godowym jednego samca z więcej niż jedną samicą. Poligynia występuje m.in. u wielu gatunków zagniazdowników, a także niektórych gatunków ssaków, np. jeleniowatych i lwów.



Poliandria to kojarzenie się w okresie godowym jednej samicy z więcej niż jednym samcem. Poliandria jest mniej rozpowszechniona niż poligynia i występuje m.in. u niektórych gatunków ssaków (np. marmozet) oraz ptaków (np. płatkonogów szydłodziobych).

Monogamia

Monogamia to okresowe lub stałe współżycie jednego samca z jedną samicą. Monogamia występuje najczęściej wśród tych gatunków, u których opiekę nad potomstwem sprawują zarówno matka, jak i ojciec (np. gniazdowniki). U gatunków monogamicznych dymorfizm płciowy zazwyczaj nie występuje lub jest słabo rozwinięty. Ponadto niektóre gatunki żyjące w monogamicznych parach nie są wierne swojemu partnerowi – system taki określa się mianem monogamii socjalnej.

Dymówki są przykładem gatunku monogamicznego socjalnie – badania genetyczne wskazują, że co trzecie pisklę w gnieździe pochodzi od innego ojca.



Opieka rodzicielska

Opieka rodzicielska to różne sposoby zachowywania się zwierząt wobec potomstwa. Opieka ta może być sprawowana przez jednego rodzica lub oboje rodziców. Zazwyczaj występuje u gatunków ponoszących bardzo wysokie koszty związane z rozrodem, np. u ptaków i ssaków. Dzięki opiece młode mają większe szanse na przeżycie i przekazanie genów kolejnym pokoleniom.

Brak opieki rodzicielskiej występuje najczęściej u gatunków, u których dochodzi do zapłodnienia zewnętrznego – osobniki dorosłe nie są wówczas pewne swojego ojcostwa (np. większość ryb i płazów).

U ssaków opiekę nad potomstwem sprawują zwykle samice, ponieważ to one karmią młode mlekiem.



Polecenia kontrolne

1. Porównaj rozmnażanie płciowe zwierząt z rozmnażaniem bezpłciowym pod względem zmienności genetycznej, która występuje wśród potomstwa.
2. Omów sposoby bezpłciowego rozmnażania się zwierząt.
3. Wyjaśnij różnice pomiędzy:
   a. zapłodnieniem zewnętrznym a zapłodnieniem wewnętrznym,
   b. jajożyworodnością a żyworodnością,
   c. rozwojem prostym a rozwojem złożonym.
4. Wykaż związek między ilością żółtka w jaju a typem rozrodu u zwierząt.

11.2. Budowa i funkcje męskich narządów rozrodczych

Zwróć uwagę na:
- budowę i funkcje męskich narządów rozrodczych,
- budowę plemnika i przebieg spermatogenezy.

Rozmnażanie się zapewnia zachowanie ciągłości gatunku dzięki wydawaniu na świat potomstwa. W układach rozrodczych zarówno mężczyzn, jak i kobiet powstają komórki płciowe – **gamety** – których połączenie prowadzi do zapłodnienia i powstania nowego organizmu.

Męski układ rozrodczy odpowiada m.in. za:
- wytwarzanie gamet męskich – plemników,
- wprowadzenie plemników do żeńskich dróg rodnych podczas aktu płciowego,
- wydzielanie męskich hormonów płciowych (androgenów), m.in. testosteronu.

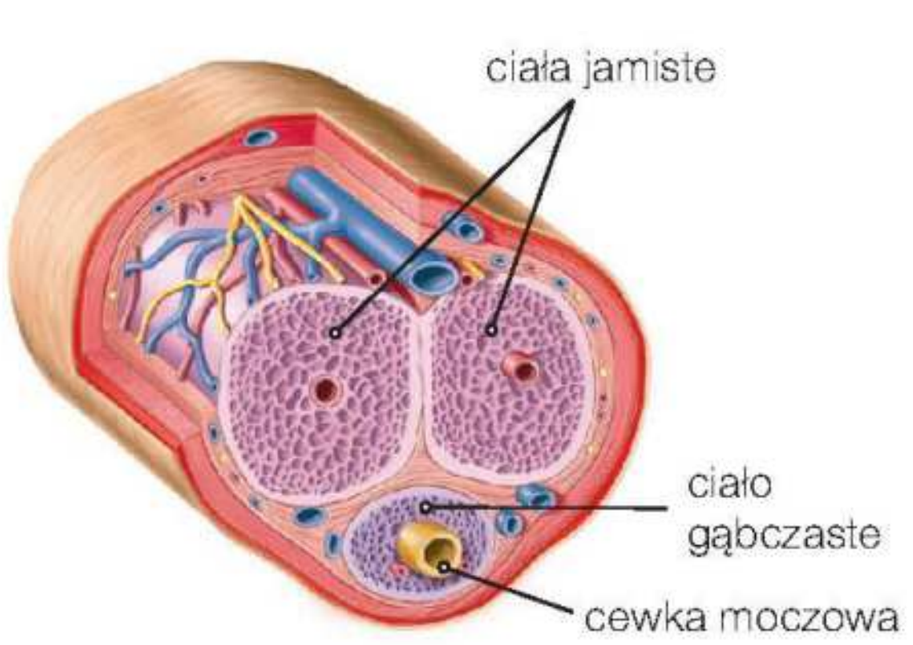
W męskim układzie rozrodczym można wyróżnić narządy płciowe zewnętrzne (prącie i moszna) oraz narządy płciowe wewnętrzne (jądra, najądrza, nasieniowody, przewody wytryskowe, cewkę moczową i gruczoły dodatkowe).

Narządy płciowe zewnętrzne

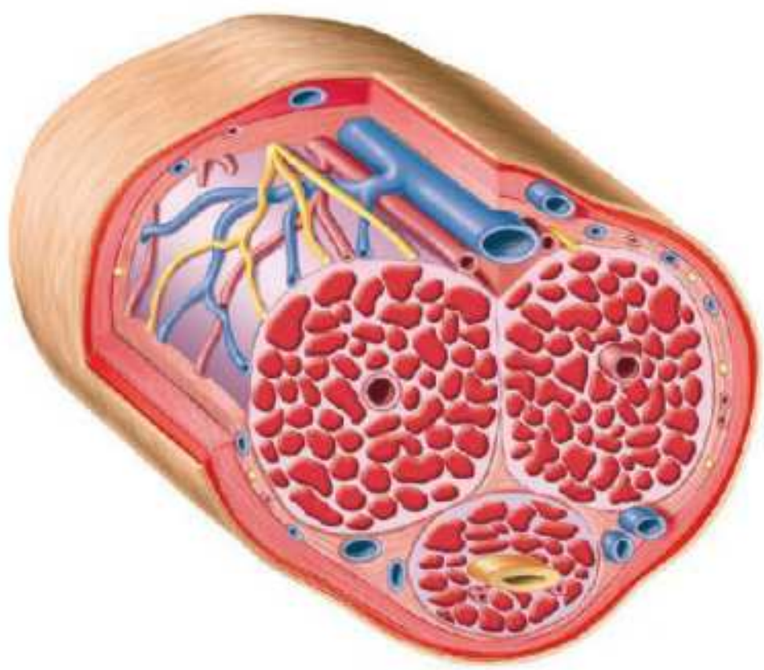
Prącie (penis) jest narządem kopulacyjnym, który składa się z trzonu i żołędzi. **Trzon prącia** ma kształt wydłużonego walca, jednym końcem przytwierdzonego do kości łonowej. Drugi koniec trzonu jest zakończony stożkowatą **żołędzią**. Na szczycie żołędzi znajduje się ujście cewki moczowej. Skóra pokrywająca trzon prącia w stanie jego spoczynku tworzy fałd skórny okrywający żołądź, zwany **napletkiem**. Pod wpływem podniecenia seksualnego dochodzi do **erekcji** (wzwodu), czyli usztywnienia członka. Umożliwia to odbycie stosunku płciowego, który może zostać zakończony **ejakulacją** (wytryskiem) nasienia i **zaplemnieniem**, czyli pozostawieniem nasienia w drogach rodnych kobiety.

Budowa wewnętrzna prącia i mechanizm erekcji

Prącie jest zbudowane z dwóch ciał jamistych i ciała gąbczastego. Pod wpływem impulsów nerwowych pochodzących z autonomicznego układu nerwowego wypełniają się one krwią. W ten sposób dochodzi do powiększenia i usztywnienia prącia, czyli erekcji (wzwodu).



W stanie spoczynku prącia ciała jamiste i ciało gąbczaste nie są wypełnione krwią.



Podczas erekcji ciała jamiste i ciało gąbczaste wypełniają się krwią, przez co prącie staje się sztywne.

Męski układ rozrodczy

W męskim układzie rozrodczym wyróżnia się narządy rozrodcze zewnętrzne i wewnętrzne. **Narządy rozrodcze zewnętrzne** to prącie i moszna. Do **narządów rozrodczych wewnętrznych** zalicza się: jądra, najądrza, nasieniowody, przewody wytryskowe, pęcherzyki nasienne, gruczoł krokowy, gruczoły opuszkowo-cewkowe oraz cewkę moczową – wspólną część układu rozrodczego i układu moczowego.

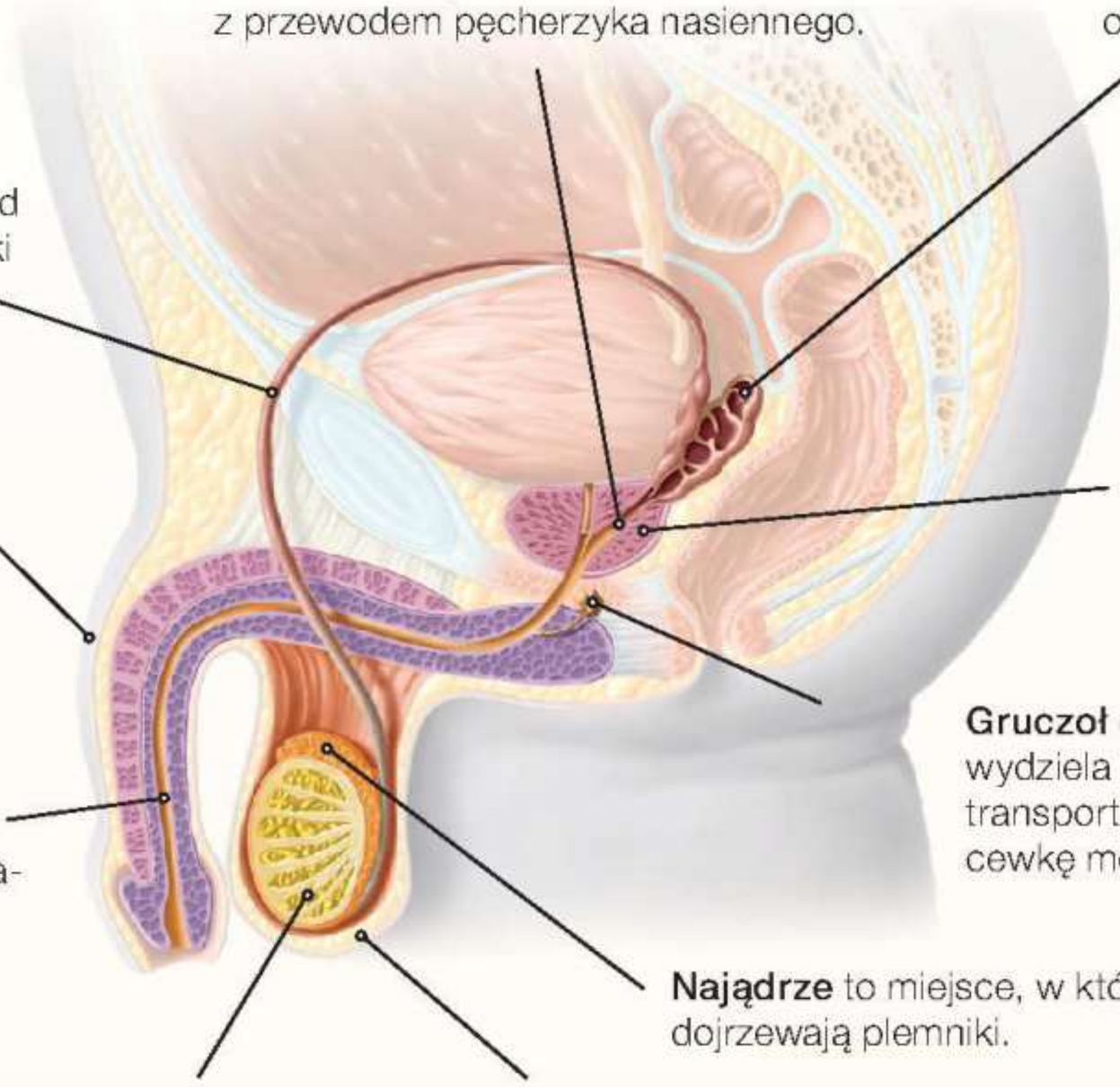
Przewód wytryskowy to odcinek dróg wyprowadzających nasienie, który powstał z połączenia nasieniowodu z przewodem pęcherzyka nasiennego.

Pęcherzyk nasienny produkuje wydzielinę zawierającą substancje odżywcze dla plemników.

Nasieniowód to przewód doprowadzający plemniki z najądrza do cewki moczowej.

Prącie to męski narząd kopulacyjny, który umożliwia wprowadzanie nasienia do dróg rodnych kobiety.

Cewka moczowa jest przewodem wyprowadzającym nasienie lub mocz na zewnątrz ciała.



Gruczoł krokowy (prostata) produkuje wydzielinę, która zawiera enzymy niezbędne do upłynnienia nasienia.

Gruczoł opuszkowo-cewkowy wydziela śluz, który ułatwia transport plemników przez cewkę moczową.

Najądrze to miejsce, w którym dojrzewają plemniki.

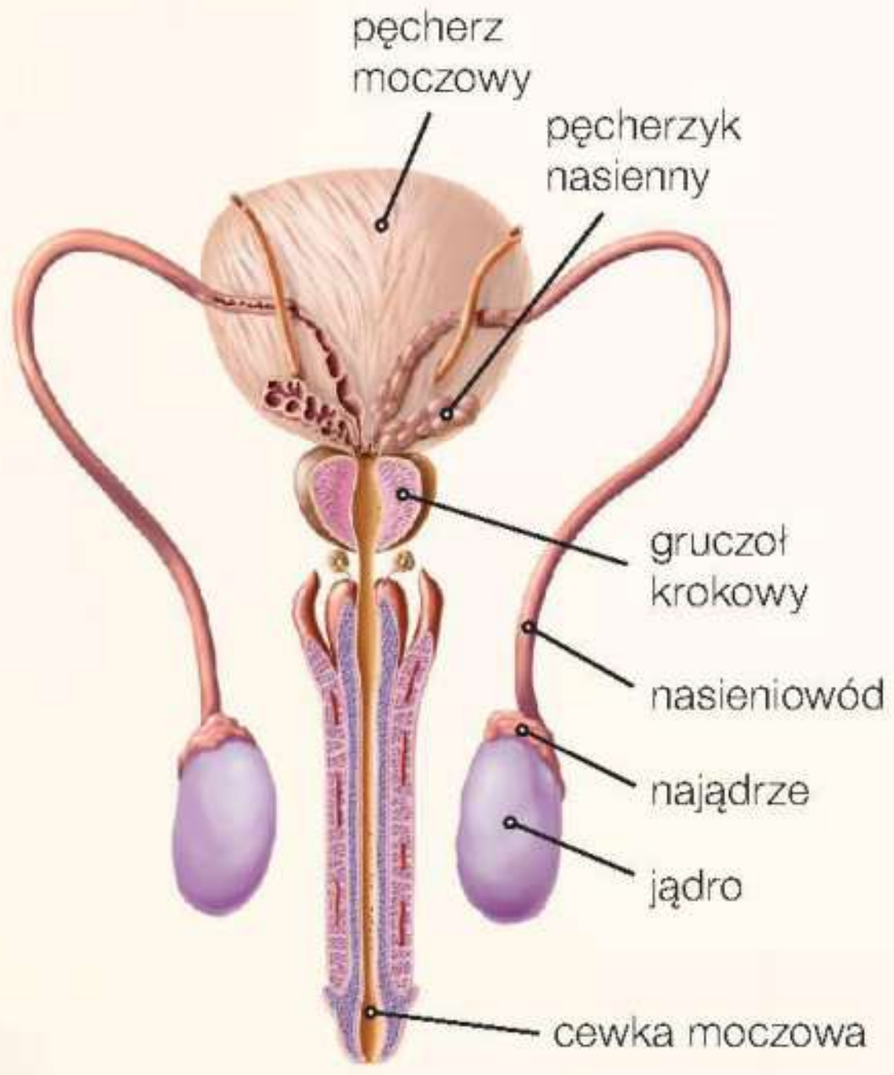
Jądro to gonada męska produkująca plemniki oraz gruczoł dokrewny, który wydziela męskie hormony płciowe.

Moszna to skórno-mięśniowy worek, w którym znajdują się jądra, najądrza i początkowe odcinki nasieniowodów.

Wytwarzanie i transport plemników

Główną funkcją męskich narządów rozrodczych jest produkcja i odżywianie plemników, magazynowanie ich oraz ostatecznie – wprowadzenie do dróg rodnych kobiety.

1. Plemniki powstają w jądrach w procesie spermatogenezy.
2. Z jąder plemniki są transportowane do najądrzy, gdzie dojrzewają (m.in. uzyskują pełną ruchliwość). W najądrzach plemniki są też magazynowane do momentu **ejakulacji** (wytrysku).
3. Podczas ejakulacji plemniki są uwalniane z najądrzy do nasieniowodów, którymi są kierowane do cewki moczowej. Podczas tej drogi płyn zawierający plemniki jest wzbogacany o wydzieliny pęcherzyków nasiennych i gruczołu krokowego. W ten sposób powstaje **nasienie**.
4. Cewką moczową nasienie wydostaje się z ciała mężczyzny. Jeśli dostanie się ono do wnętrza dróg rodnych kobiety, to dochodzi do **zaplemnienia**.



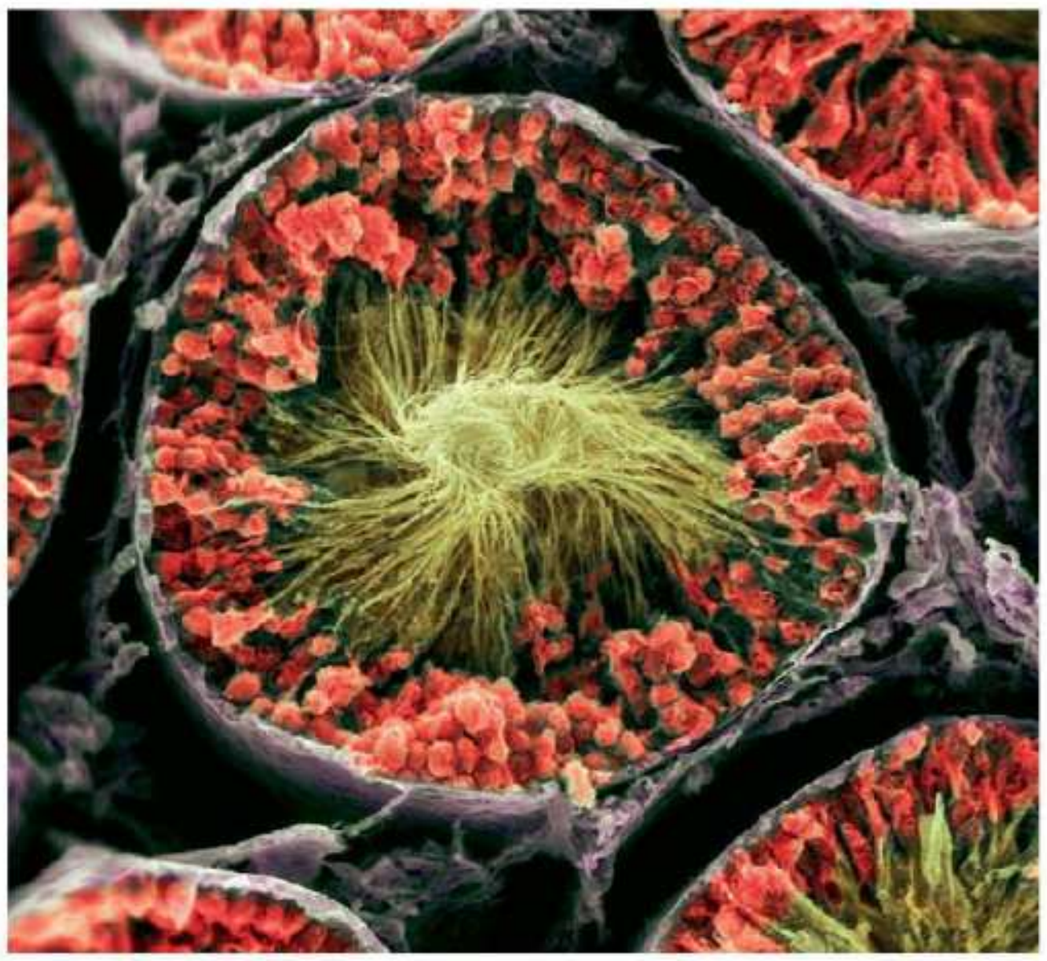
Moszna jest skórno-mięśniowym workiem, w którym znajdują się jądra, najądrza i początkowe odcinki nasieniowodów. Dzięki mosznie możliwe jest utrzymywanie jąder w temperaturze optymalnej dla rozwoju plemników, która jest nieco niższa od temperatury ciała (o ok. 2,5–4°C). Dodatkowo w mosznie znajduje się błona kurczliwa, zbudowana z mięśni gładkich, która reguluje napięcie worka mosznowego. Jej skurcz powoduje podciąganie jąder w stronę podbrzusza, co chroni je przed wychłodzeniem.

Narządy płciowe wewnętrzne

Jądra to parzyste narządy zlokalizowane w mosznie. Zawiązki jąder podczas rozwoju zarodkowego tworzą się w jamie brzusznej. Dopiero pod koniec rozwoju płodowego, między 7. a 9. miesiącem ciąży, jądra zstępują do moszny. Niezstąpienie jąder (wnętrostwo) grozi bezpłodnością, jednak może być ono wyleczone dzięki interwencji chirurgicznej. Funkcją jąder jest wytwarzanie plemników w procesie **spermatogenezy** i wydzielanie **androgenów** – męskich hormonów płciowych. Głównym męskim hormonem płciowym jest testosteron, który pełni różnorodne funkcje:

- pobudza spermatogenezę,
- stymuluje przyrost masy mięśniowej,
- pobudza wydzielanie łoju przez gruczoły łojowe w skórze (co może nasilać trądzik w okresie dojrzewania),
- jest odpowiedzialny za wykształcenie i podtrzymanie **męskich cech płciowych**. Wśród nich wyróżnia się cechy:
  - pierwszorzędowe – obecność jąder,
  - drugorzędowe – obecność dróg wyprowadzających plemniki i zewnętrznych narządów płciowych,
  - trzeciorzędowe – cechy zewnętrzne umożliwiające rozpoznanie płci, m.in. występowanie zarostu na twarzy, szerokie ramiona, wąskie biodra, niski głos.

Jądra są zbudowane z sieci wąskich przewodów – **kanalików nasiennych** – w których powstają plemniki. Kanaliki są wysłane nabłonkiem plemnikotwórczym, w skład którego wchodzą



Wnętrze kanalika nasiennego (obraz spod SEM).

dwa rodzaje komórek – komórki płciowe, znajdujące się na różnym etapie dojrzewania, oraz komórki podporowe (komórki Sertoliego), których rolą jest odżywianie komórek płciowych.

Pomiędzy kanalikami nasiennymi znajdują się skupienia komórek **gruczołu śródmiąższowego jądra** – komórek Leydiga [wym. lejdiga] – które produkują androgeny.

Do jąder przylegają **najądrza**. Są one układem krętych przewodów, w których plemniki osiągają pełną dojrzałość, a następnie są magazynowane. Najądrza przechodzą w **nasieniowody** – przewody o długości ok. 50 cm, które służą do szybkiego transportu nasienia do cewki moczowej. W początkowym odcinku nasieniowodu magazynowane są dojrzałe plemniki. Podczas wytrysku dochodzi do silnych skurczów nasieniowodów, w wyniku których plemniki są transportowane do **przewodów wytryskowych**. Są to krótkie przewody, które otwierają się do **cewki moczowej** – wspólnego odcinka układu moczowego i męskiego układu rozrodczego. Z cewki moczowej nasienie wydostaje się na zewnątrz organizmu. Podczas pokonywania tej drogi płyn, w którym znajdują się plemniki, łączy się z wydzielinami **gruczołów dodatkowych**, tworząc nasienie (spermę). Do gruczołów dodatkowych należą: pęcherzyki nasienne, prostata i gruczoły opuszkowo-cewkowe.

Pęcherzyki nasienne to parzyste gruczoły, których wydzielina uchodzi do końcowego odcinka nasieniowodu. W jej skład wchodzą m.in. białka zasadowe, które zobojętniają kwaśne środowisko pochwy, i fruktoza, która jest substratem energetycznym dla plemników. Wydzielina pęcherzyków nasiennych zawiera też prostaglandyny, które powodują skurcze macicy przyspieszające transport nasienia z pochwy do jajowodu, czyli do miejsca zapłodnienia.

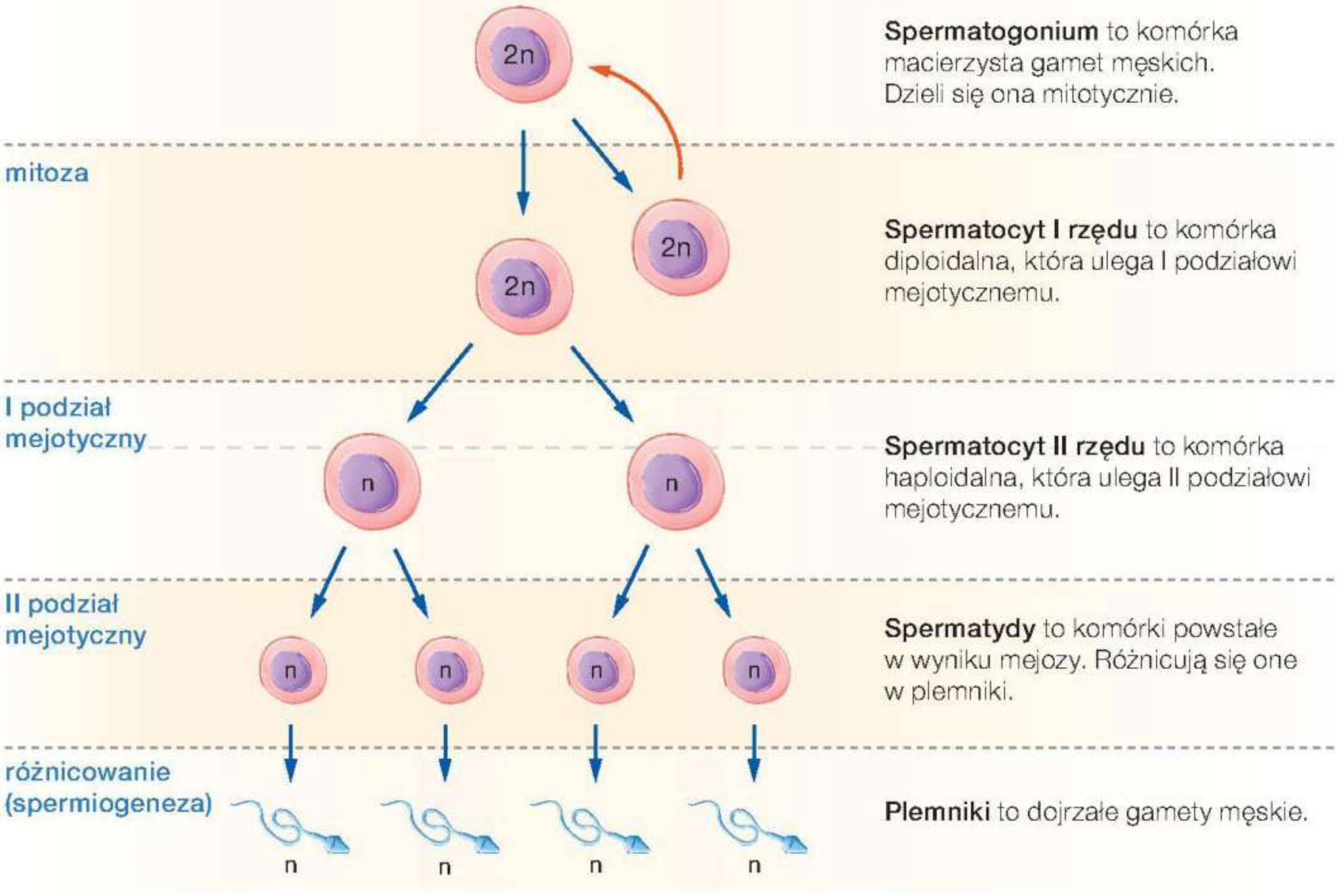
Gruczoł krokowy (prostata, stercz) jest nieparzystym narządem położonym tuż pod pęcherzem moczowym. Prostatę przebijają dwa rodzaje przewodów – cewka moczowa i przewody wytryskowe. Wydzielina gruczołu krokowego zawiera liczne enzymy hydrolityczne, które upłynniają nasienie, ułatwiając plemnikom poruszanie się w drogach rodnych kobiety.

Parzyste **gruczoły opuszkowo-cewkowe** podczas pobudzenia płciowego wytwarzają śluz o lekko zasadowym odczynie. Jego funkcją jest zobojętnienie kwaśnego pH cewki moczowej i ułatwienie przepływu nasienia.

Powstawanie plemników

Proces powstawania plemników nazywa się **spermatogenezą**. Zachodzi on w kanalikach nasiennych i trwa ok. 70 dni. Pierwsze etapy spermatogenezy zachodzą w okresie życia płodowego. Wówczas wyodrębniają się pierwotne komórki płciowe – **gonocyty** – które wielokrotnie dzielą się mitotycznie i przekształcają w **spermatogonia**. Komórki te wchodzą w fazę G_0 cyklu komórkowego i trwają w niej do okresu dojrzewania, zachowując zdolność podziału. Po rozpoczęciu okresu dojrzewania płciowego spermatogonia dzielą się mitotycznie. Jedna z komórek potomnych ulega kolejnym podziałom, co umożliwia zachowanie ciągłości procesu spermatogenezy, a druga przekształca się w **spermatocyt I rzędu**. Spermatocyt ten przechodzi następnie I podział mejotyczny, w wyniku którego powstają dwa **spermatocyty II rzędu** o zredukowanej liczbie chromosomów (1n = 23). Następnie dochodzi do II podziału mejotycznego – powstają wówczas **spermatydy**, które różnicują się w **plemniki**.

Schemat przebiegu spermatogenezy



Budowa plemnika

Plemnik człowieka jest jedną z najmniejszych komórek rozrodczych występujących u ssaków – ma ok. 60 μm długości. Składa się z główki, wstawki i witki. **Główka** plemnika zawiera niewielką ilość cytoplazmy, haploidalne jądro komórkowe o silnie skondensowanej chromatynie oraz **akrosom**, który powstaje ze zlania się pęcherzyków aparatu Golgiego. Akrosom znajduje się na szczycie główki. Zawiera enzymy hydrolityczne umożliwiające plemnikowi pokonanie osłon jajowych i wniknięcie do oocytu II rzędu. We **wstawce** znajdują się mitochondria, które uwalniają energię konieczną do ruchu plemnika. Ruch jest możliwy dzięki obecności długiej **witki** zbudowanej z mikrotubul – włókien białkowych zdolnych do kurczenia się.

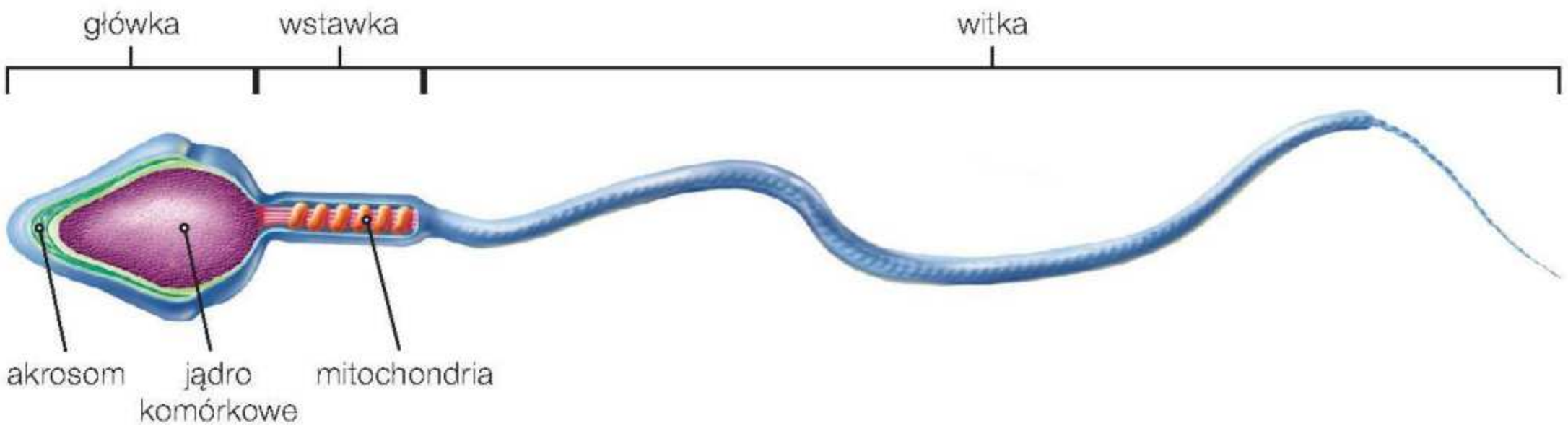
Połowa plemników zawiera chromosomy płciowe X, które po połączeniu się z oocytem II rzędu prowadzą do rozwoju zarodka płci żeńskiej, a połowa – chromosomy płciowe Y, które odpowiadają za rozwój zarodków płci męskiej.

Nasienie

Nasienie (sperma) jest gęstym, nieprzezroczystym, lepkim płynem o białawym zabarwieniu. Nasienie wydalone w czasie wytrysku określa się mianem **ejakulatu**. Jego objętość wynosi ok. 2–6 cm^3 i zawiera od 20 do 300 mln plemników. Plemniki znajdujące się w ejakulacie nie mają zdolności do zapłodnienia oocytu II rzędu. Nabierają jej w procesie **kapacytacji** (uzdatniania), gdy przechodzą przez drogi rodne kobiety. W skład nasienia wchodzą też płyn nasienny, który jest mieszaniną wydzielin gruczołów dodatkowych, oraz niewielkie ilości limfocytów, granulocytów i komórek nabłonka wyścielającego drogi wyprowadzające.

Zbyt mała liczba plemników w ejakulacie lub ich nieprawidłowa budowa mogą być powodem bezpłodności u mężczyzn. Przyczynami tych nieprawidłowości są m.in. niedożywienie, spożywanie zbyt dużej ilości alkoholu oraz soli metali ciężkich, naświetlanie promieniami jonizującymi, a także działanie zbyt wysokiej temperatury.

Budowa plemnika



Polecenia kontrolne

1. Wymień męskie narządy płciowe wewnętrzne.
2. Opisz funkcje poszczególnych gruczołów dodatkowych w produkcji składników nasienia.
3. Opisz, jaką rolę odgrywa testosteron w organizmie mężczyzny.
4. Wyjaśnij związek budowy plemnika z pełnioną przez niego funkcją.
5. Określ znaczenie mejozy dla zróżnicowania genetycznego potomstwa i zachowania stałej dla danego gatunku liczby chromosomów.
6. Wymień dwie różnice między spermatogonium a plemnikiem.
7. Określ który z podziałów zachodzących podczas spermatogenezy – mitoza czy mejoza – zapewnia różnorodność genetyczną potomstwa. Odpowiedź uzasadnij.

11.3. Budowa i funkcje żeńskich narządów rozrodczych

Zwróć uwagę na:

- budowę i funkcje żeńskich narządów rozrodczych,
- budowę oocytu II rzędu i przebieg oogenezy,
- przebieg cyklu menstruacyjnego,
- rolę hormonów w regulacji cyklu menstruacyjnego.

Żeński układ rozrodczy różni się budową od męskiego układu rozrodczego. Wynika to z odmiennych funkcji, które żeński układ rozrodczy pełni w procesie rozmnażania. Są to:

- produkcja gamet żeńskich – oocytów II rzędu – które podczas zapłodnienia przekształcają się w komórki jajowe,
- stworzenie w trakcie ciąży warunków do rozwoju zarodka i płodu oraz wydanie na świat potomstwa podczas porodu,
- wydzielanie żeńskich hormonów płciowych – estrogenów i progesteronu.

W budowie żeńskiego układu rozrodczego wyróżnia się narządy płciowe zewnętrzne (srom) oraz narządy płciowe wewnętrzne (jajniki, jajowody, macicę i pochwę).

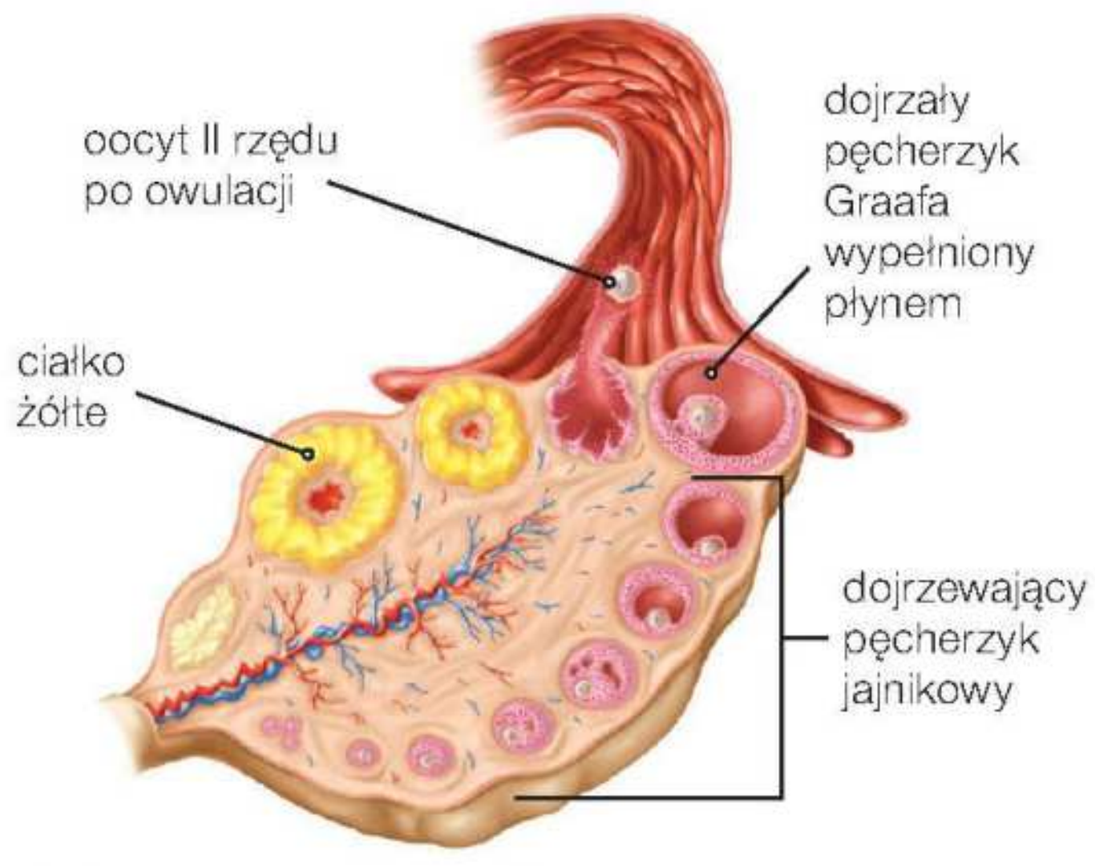
Narządy płciowe zewnętrzne

Srom tworzą: wzgórek łonowy, wargi sromowe większe, wargi sromowe mniejsze i łechtaczka. **Wzgórek łonowy** to wypukłość utworzona przez skupienie tkanki tłuszczowej. Jest ona zlokalizowana w dolnej części podbrzusza. Wzgórek łonowy łączy się z **wargami sromowymi** – parzystymi fałdami skórnymi. W pobliżu przedniego połączenia warg sromowych mniejszych znajduje się **łechtaczka**. Składa się ona, podobnie jak prącie, z ciał jamistych, które wypełniają się krwią podczas pobudzenia seksualnego. Łechtaczka jest narządem silnie unerwionym, dlatego odgrywa rolę w odczuwaniu przyjemności. Poniżej łechtaczki znajduje się ujście cewki moczowej, a pod nim – wejście do pochwy. U kobiet, które nie rozpoczęły jeszcze życia seksualnego, wejście do pochwy jest częściowo zamknięte poprzecznym fałdem błony śluzowej, tzw. błoną dziewiczą.

Narządy płciowe wewnętrzne

Jajniki to parzyste narządy, które pełnią podwójną funkcję w organizmie kobiety: są gonadami żeńskimi odpowiedzialnymi za produkcję gamet (oocytów II rzędu) oraz gruczołami dokrewnymi wydzielającymi żeńskie hormony płciowe – estrogeny i progesteron. Hormony te odpowiadają za prawidłowe funkcjonowanie układu rozrodczego oraz za wykształcenie i utrzymywanie **żeńskich cech płciowych**:

- pierwszorzędowych, którymi są jajniki,
- drugorzędowych, do których zalicza się jajowody, macicę, pochwę oraz srom,
- trzeciorzędowych, takich jak rozwinięte gruczoły mlekowe, szerokie biodra, wąskie ramiona, wysoki głos.



Budowa wewnętrzna jajnika i jego zmiany podczas cyklu miesiączkowego. W trakcie jednego cyklu zazwyczaj zostaje uwolniony jeden oocyt II rzędu.

Jajowody to parzyste przewody, które transportują oocyt II rzędu lub rozwijający się zarodek z jajnika do macicy. To wewnątrz nich najczęściej dochodzi do zapłodnienienia. W okolicy jajnika każdy jajowód jest rozszerzony i tworzy tzw. **lejek jajowodu**, którego brzegi są postrzępione i poruszają się. Strzępki obejmują jajnik, jednak nie są z nim bezpośrednio połączone. Ich zadaniem jest wychwycenie oocytu II rzędu uwolnionego podczas owulacji i jego transport w głąb jajowodu w kierunku macicy. Ściana jajowodu zawiera mięśnie gładkie, które mogą wykonywać ruchy perystaltyczne. Ułatwiają one przesuwanie żeńskich komórek płciowych (lub zarodka – jeśli doszło do zapłodnienia) w stronę macicy. Proces ten dodatkowo wspomagają rzęski znajdujące się na powierzchni nabłonka jajowodu.

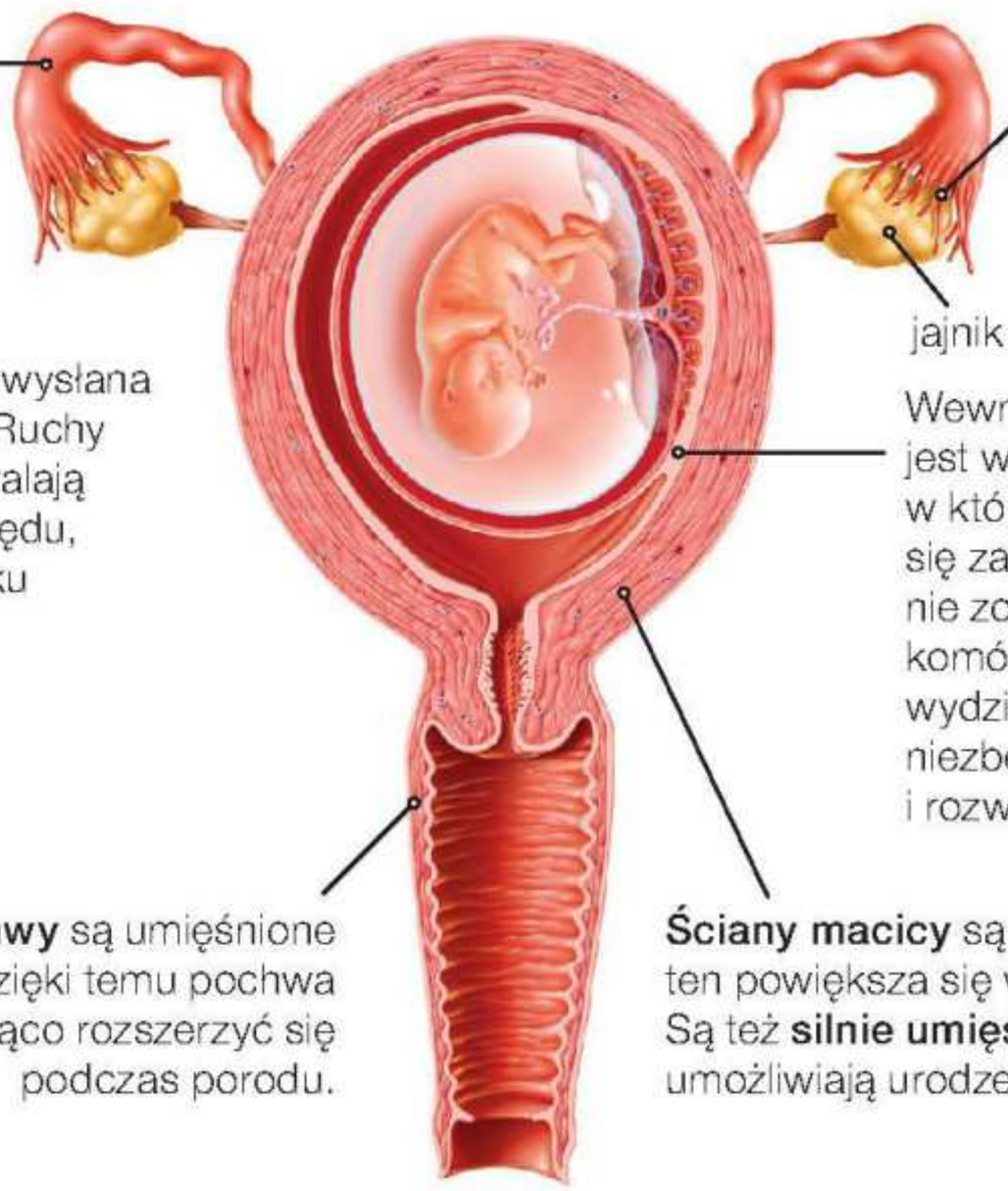
Macica jest miejscem, gdzie rozwijają się zarodek i płód podczas ciąży. Składa się ona z rozszerzonego trzonu, cieśni i wąskiej szyjki, która łączy się z pochwą. Kanał szyjki jest wypełniony śluzem szyjkowym, który zmienia właściwości w trakcie cyklu miesiączkowego. W ścianie macicy znajduje się gruba warstwa mięśni gładkich, których skurcze odgrywają kluczową rolę podczas porodu. Wnętrze macicy wyścieła błona śluzowa zwana **endometrium**, która w trakcie cyklu miesiączkowego podlega okresowym zmianom, a średnio raz na 28 dni złuszcza się, czemu towarzyszy krwawienie miesiączkowe.

Pochwa łączy macicę ze środowiskiem zewnętrznym. Jej główną funkcją w procesie rozmnażania jest przyjęcie nasienia wprowadzonego przez prącie podczas stosunku płciowego. W czasie porodu pochwa służy jako kanał wyprowadzający dla płodu. Stanowi również drogę odpływu krwi menstruacyjnej. Wnętrze pochwy wyścieła błona śluzowa pokryta nabłonkiem wielowarstwowym płaskim nierogowaciejącym. Komórki nabłonka zawierają duże ilości glikogenu, który jest rozkładany do kwasu mlekowego przez bakterie symbiotyczne żyjące w pochwie. Powoduje to powstanie kwaśnego odczynu we wnętrzu pochwy, co chroni macicę przez drobnoustrojami chorobotwórczymi i jest elementem odporności nieswoistej.

Przystosowania w budowie żeńskich narządów rozrodczych do ciąży i porodu



Powierzchnia jajowodu jest wysłana **orzęsionym nabłonkiem**. Ruchy rzęsek tego nabłonka pozwalają na przesuwanie oocytu II rzędu, a później zarodka w kierunku macicy.



Jajowód ma palczaste wypustki, które ułatwiają wprowadzenie oocytu II rzędu do jego wnętrza.

jajnik

Wewnętrzna powierzchnia **macicy** jest wysłana **błoną śluzową**, w której dochodzi do zagnieżdżenia się zarodka. Dodatkowo, dopóki nie zostanie wykształcone łożysko, komórki błony śluzowej macicy wydzielają składniki odżywcze niezbędne zarodkowi do wzrostu i rozwoju.

Ściany pochwy są umięśnione i rozciągliwe. Dzięki temu pochwa może znacząco rozszerzyć się podczas porodu.

Ściany macicy są rozciągliwe, ponieważ narząd ten powiększa się wraz z rosnącym płodem. Są też **silnie umięśnione** – ich skurcze umożliwiają urodzenie dziecka.

Żeński układ rozrodczy

Żeński układ rozrodczy jest zbudowany z zewnętrznych i wewnętrznych narządów płciowych. Do **zewnętrznych narządów płciowych** zalicza się srom, który tworzą: wzgórek łonowy, łechtaczka oraz wargi sromowe. Wśród **wewnętrznych narządów płciowych** wyróżnia się jajniki, jajowody, macicę i pochwę.

Jajowód to przewód łączący jajnik z macicą. Jego koniec nie jest ściśle połączony z jajnikiem – tworzy lejek jajowodu składający się ze strzępek, które wyłapują oocyt II rzędu uwolniony podczas owulacji.

Macica to umięśniony narząd wysłany błoną śluzową, w którym zachodzi rozwój zarodka, a potem płodu.

Jajnik to gonada żeńska produkująca gamety oraz gruczoł dokrewny, który wydziela żeńskie hormony płciowe.

Wzgórek łonowy to skupienie tkanki tłuszczowej nad spojeniem łonowym.

Łechtaczka jest narządem odgrywającym rolę w pobudzeniu seksualnym.

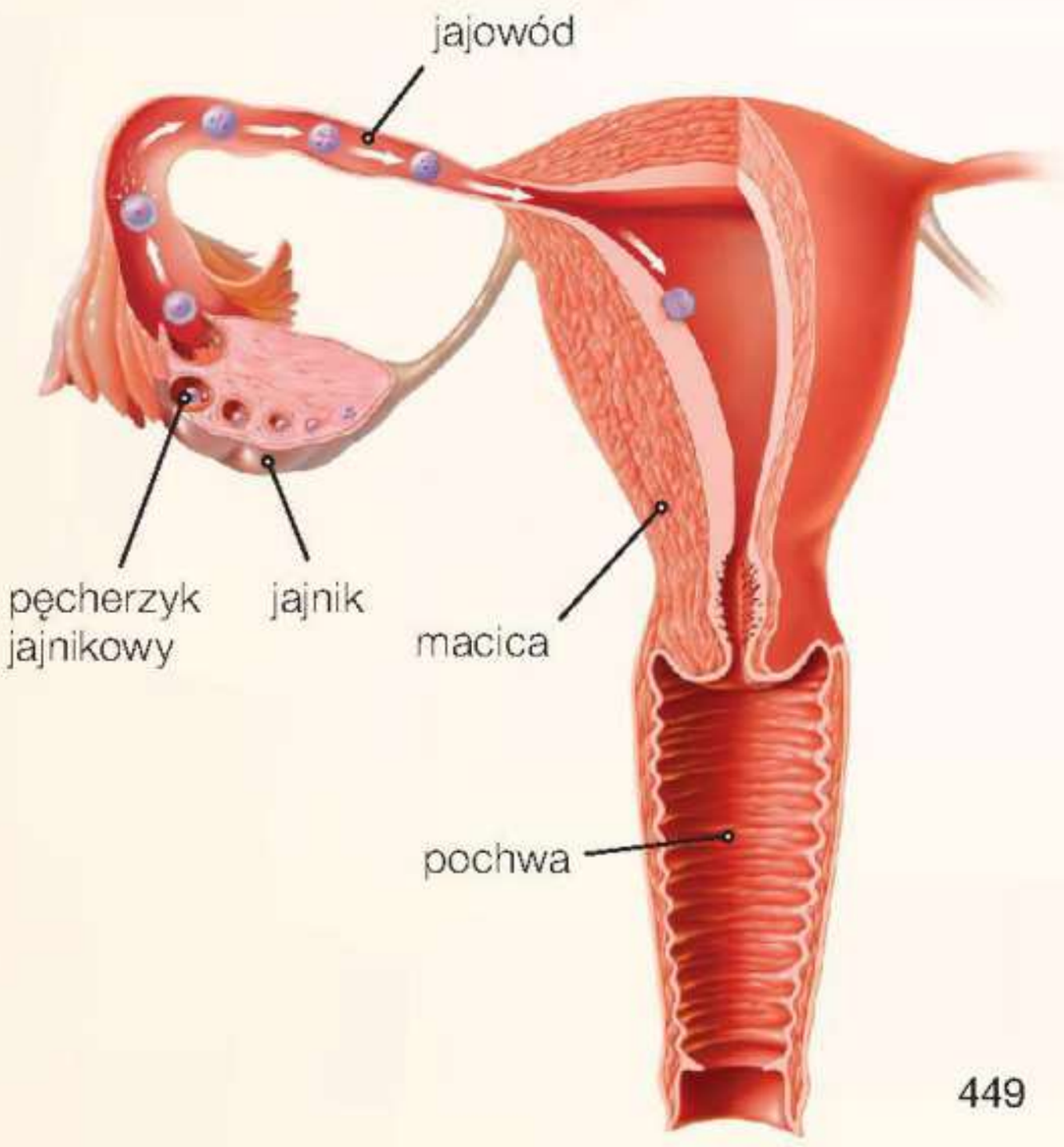
Pochwa jest przewodem łączącym macicę ze środowiskiem zewnętrznym. Za jej pośrednictwem wprowadzane jest nasienie, ponadto przez nią wydostaje się płód podczas porodu i usuwana jest krew menstruacyjna.

Wargi sromowe pełnią funkcję ochronną – osłaniają łechtaczkę, ujście cewki moczowej i wejście do pochwy.

Wytwarzanie i transport żeńskich komórek płciowych

Do najważniejszych funkcji żeńskiego układu rozrodczego należą wytwarzanie gamet żeńskich oraz stwarzanie dogodnych warunków do ich zapłodnienia, a następnie rozwoju zarodka i płodu.

1. W jajnikach znajdują się pęcherzyki jajnikowe, z których każdy zawiera niedojrzałą komórkę płciową. Podczas cyklu menstruacyjnego zwykle jeden pęcherzyk osiąga pełną dojrzałość i pęka. Obecny w nim oocyt II rzędu zostaje uwolniony do światła jajowodu w trakcie **owulacji**.
2. Jeśli w jajowodzie jest obecne nasienie, to może dojść do **zapłodnienia**. W jego efekcie powstaje **zygota**, która następnie rozwija się w **zarodek**. Jeśli nie dojdzie do zapłodnienia, to oocyt II rzędu obumiera i dochodzi do **menstruacji**.
3. W macicy dochodzi do zagnieżdżenia się zarodka i jego dalszego rozwoju w trakcie **ciąży**.
4. Pochwa to kanał, przez który podczas **porodu** dziecko zostaje wydane na świat.

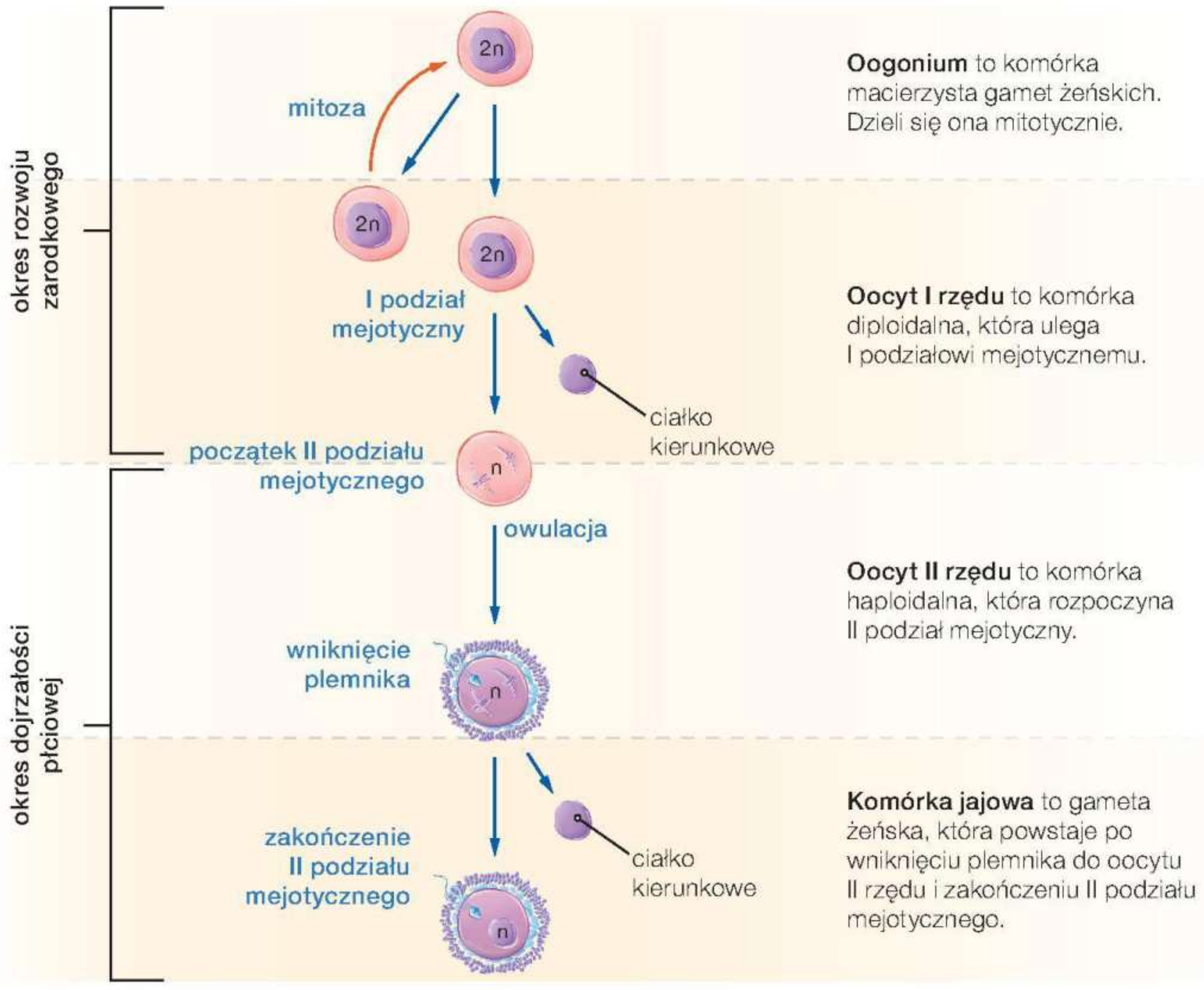


Powstawanie komórek jajowych

Proces powstawania, wzrostu i dojrzewania żeńskiej komórki płciowej nazywa się **oogenezą**. Proces ten rozpoczyna się już w trzecim tygodniu życia płodowego. Po osiągnięciu dojrzałości płciowej oogeneza staje się cykliczna i trwa aż do menopauzy.

Pierwotne komórki płciowe to **gonocyty**. Podczas rozwoju zarodkowego gonocyty dzielą się mitotycznie i przekształcają w **oogonia**. Oogonia również dzielą się mitotycznie. Jedna z komórek potomnych ulega kolejnym podziałom, co umożliwia zachowanie ciągłości procesu oogenezy, a druga przekształca się w **oocyt I rzędu**, który jest otoczony pojedynczą warstwą komórek i tworzy pierwotny pęcherzyk jajnikowy. Jeszcze przed urodzeniem się dziewczynki wszystkie oocyty I rzędu rozpoczynają podział mejotyczny, nie kończą go jednak – zatrzymuje się on w profazie I podziału. Wznowienie mejozy następuje dopiero po uzyskaniu dojrzałości płciowej i rozpoczęciu cyklu miesiączkowego. Średnio co 28 dni dojrzewa i pęka jeden pęcherzyk jajnikowy (pęcherzyk Graafa). Dochodzi wówczas do dokończenia I podziału mejotycznego, w wyniku którego powstają dwie komórki: **oocyt II rzędu** i ciałko kierunkowe. Oocyt II rzędu rozpoczyna II podział mejotyczny, który zostaje zatrzymany w stadium metafazy w momencie owulacji. Uwolniony z pęcherzyka jajnikowego oocyt II rzędu trafia do jajowodu, gdzie może nastąpić jego zapłodnienie. Po wniknięciu plemnika zachodzi aktywacja oocytu, czyli zakończenie II podziału mejotycznego. W wyniku podziału powstają **komórka jajowa** i ciałko kierunkowe. Jeśli nie dojdzie do zapłodnienia, to oocyt II rzędu ulega degradacji.

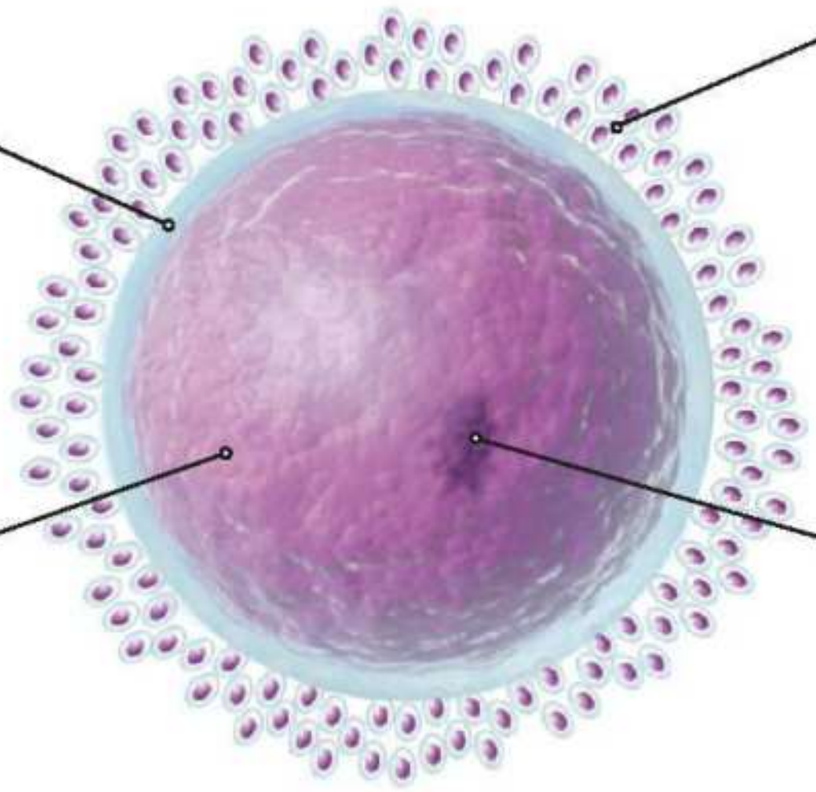
Przebieg oogenezy



Budowa oocytu II rzędu

Oocyt II rzędu nie ma zdolności ruchu i w porównaniu z innymi komórkami jest duży – ma ok. 0,2 mm i można go zobaczyć nieuzbrojonym okiem. W cytozolu tej komórki znajdują się substancje zapasowe oraz wszystkie niezbędne organelle komórkowe, które umożliwią rozwój przyszłemu zarodkowi. Oocyt II rzędu, podobnie jak plemnik, jest haploidalny – zawiera pojedynczy zestaw chromosomów.

Osłonka przejrzysta pełni funkcję ochronną i zapobiega wniknięciu do oocytu II rzędu więcej niż jednego plemnika.



Wieniec promienisty chroni oocyt II rzędu przed uszkodzeniami mechanicznymi.

Substancje zapasowe pełnią funkcję odżywczą dla przyszłego zarodka na początku jego rozwoju.

Chromosomy są w trakcie zahamowanej metafazy II mejozy – podział komórki zostanie dokończony po wniknięciu plemnika do oocytu II rzędu.

Porównanie oogenezy ze spermatogenezą

Podczas **oogenezy** podział mejotyczny dwukrotnie ulega zatrzymaniu. Jego wznowienie jest związane z owulacją i zapłodnieniem. Z jednego oocytu I rzędu powstają jedna haploidalna komórka jajowa, która jest niezdolna do poruszania się, oraz dwa lub trzy ciałka kierunkowe, które degenerują.

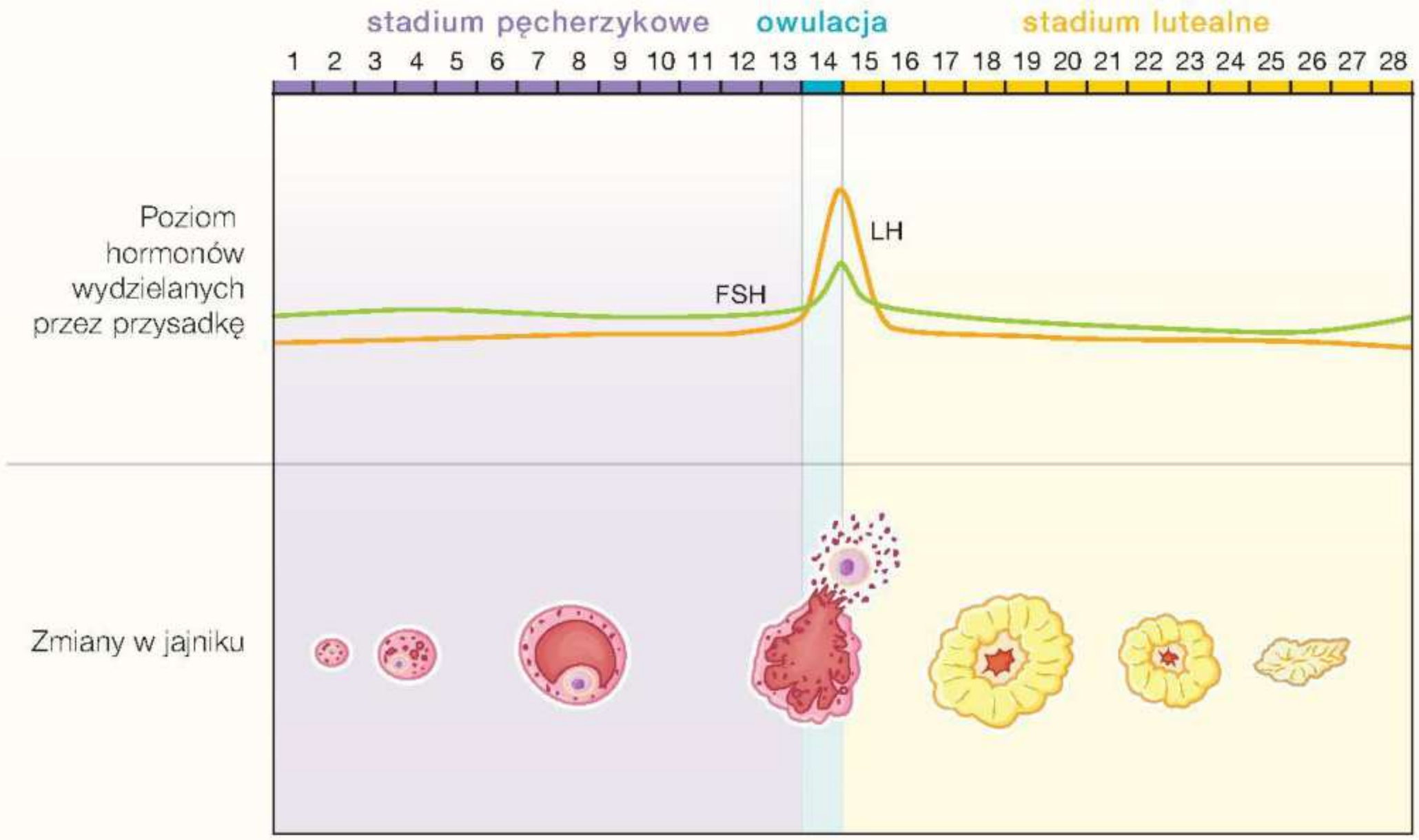
W czasie **spermatogenezy** podział mejotyczny jest procesem ciągłym – nie ulega on zatrzymaniu. W efekcie z każdego spermatocytu I rzędu powstają ostatecznie cztery ruchliwe haploidalne plemniki. Są one identyczne morfologicznie, ale różnią się od siebie informacją genetyczną.

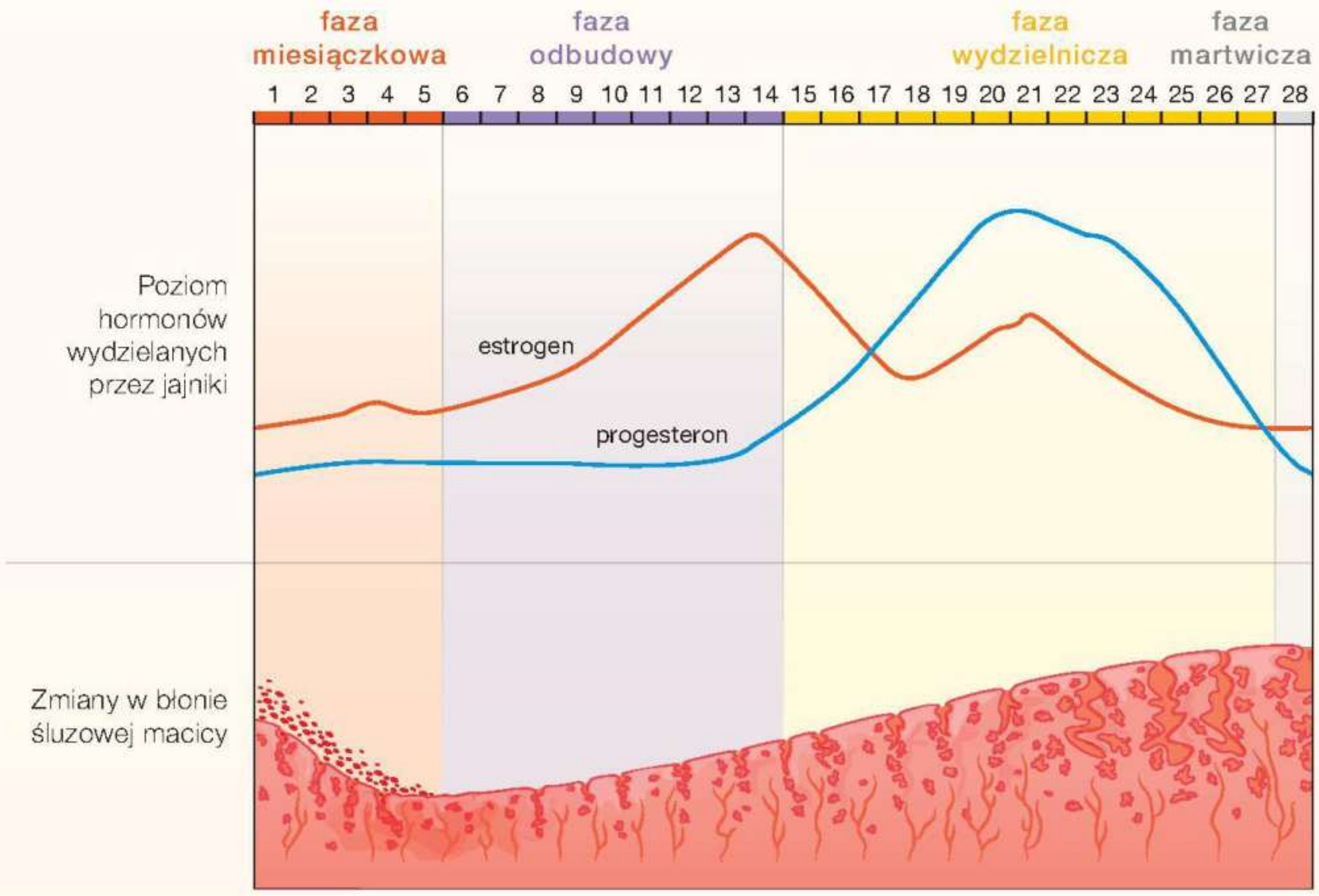
Porównanie przebiegu oogenezy z przebiegiem spermatogenezy

Cecha porównywana	Oogeneza	Spermatogeneza
Miejsce zachodzenia	jajniki	jądra
Długość trwania	od życia płodowego do momentu zapłodnienia	ok. 74 dni
Przebieg mejozy	podział mejotyczny dwukrotnie ulega zatrzymaniu (wznowienia podczas owulacji i zapłodnienia)	ciągły
Liczba i rodzaj powstałych gamet	1 oocyt II rzędu	4 plemniki
Liczba chromosomów w gametach	1n = 23 chromosomy	1n = 23 chromosomy

Cykl miesiączkowy

Przebieg cyklu miesiączkowego jest kontrolowany przez hormony przysadki (LH i FSH), które wpływają na pracę jajników, oraz przez hormony płciowe – estrogeny i progesteron – powodujące zmiany w błonie śluzowej macicy.





Cykl miesiączkowy

Cykl miesiączkowy jest zespołem cyklicznych zmian powtarzających się zazwyczaj co 28 dni, które prowadzą do powstania komórki płciowej – oocytu II rzędu. Zmiany te dotyczą jajników (cykl jajnikowy) oraz błony śluzowej macicy (cykl maciczny) i są kontrolowane przez działanie hormonów podwzgórza oraz przysadki.

Zmiany w jajniku

Cykl jajnikowy jest kontrolowany przez hormony przysadki i obejmuje procesy związane z dojrzewaniem pęcherzyków jajnikowych, uwolnieniem oocytu II rzędu i powstaniem ciałka żółtego. Cykl jajnikowy można podzielić na trzy stadia – stadium pęcherzykowe, owulację i stadium lutealne.

W **stadium pęcherzykowym** (1.–13. dzień cyklu) następuje rozwój pęcherzyków jajnikowych, z których jeden dojrzewa – dochodzi do wzrostu oocytu i otaczających go komórek warstwy ziarnistej. Oocyt wytwarza **osłonkę przejrzystą**, na zewnątrz której tworzy się **wieniec promienisty** zbudowany z komórek warstwy ziarnistej. Pod wpływem FSH tworzy się **pęcherzyk Graafa**, który jest wypełniony płynem i zawiera oocyt II rzędu (zatrzymany w metafazie II mejozy) oraz ciałko kierunkowe.

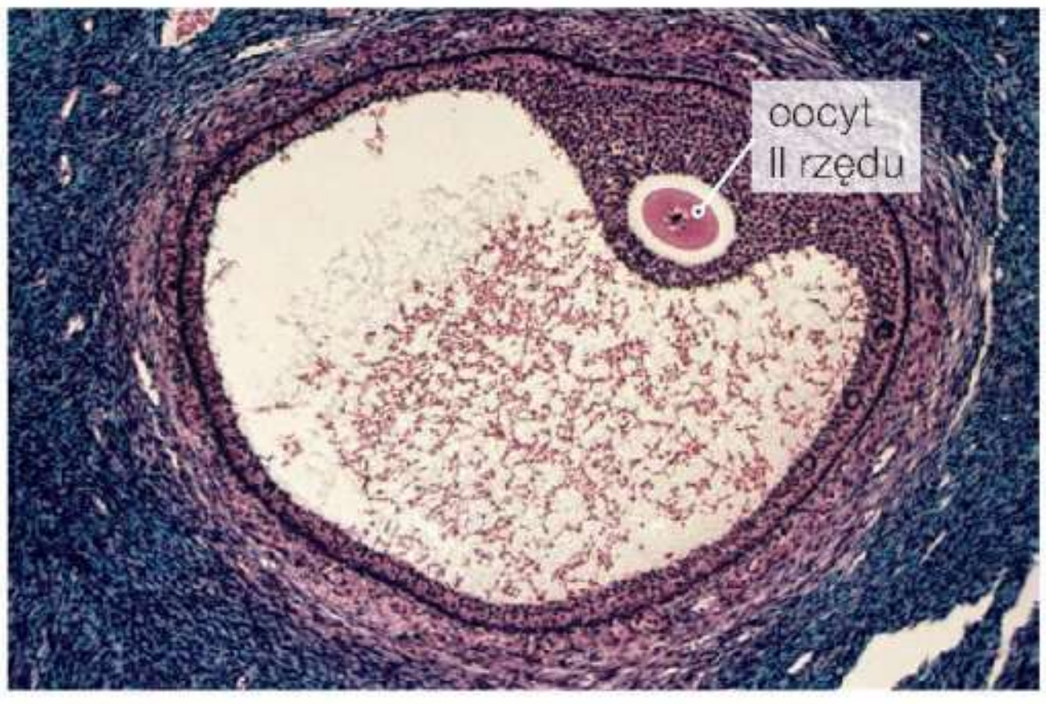
Kolejne stadium to owulacja (zwykle 14. dzień cyklu), czyli pęknięcie pęcherzyka Graafa oraz uwolnienie z jajnika oocytu II rzędu wraz z osłonką przejrzystą i wieńcem promienistym. Owulacja następuje w wyniku współdziałania hormonów przysadki – LH i FSH – wskutek nagłego wzrostu ich stężenia. Jeśli w ciągu 24–48 godz. nie dojdzie do zapłodnienia, to oocyt ulega degradacji.

Cykl jajnikowy zamyka **stadium lutealne** (15.–28. dzień cyklu). Podczas niego pęknięty w trakcie owulacji pęcherzyk Graafa przekształca się w **ciałko żółte** wydzielające progesteron. Hormon ten jest konieczny do utrzymania ewentualnej ciąży. Jeśli dojdzie do zapłodnienia, to ciałko żółte przekształca się w ciałko żółte ciążowe, a jeśli nie dojdzie do zapłodnienia – w ciałko białawe.

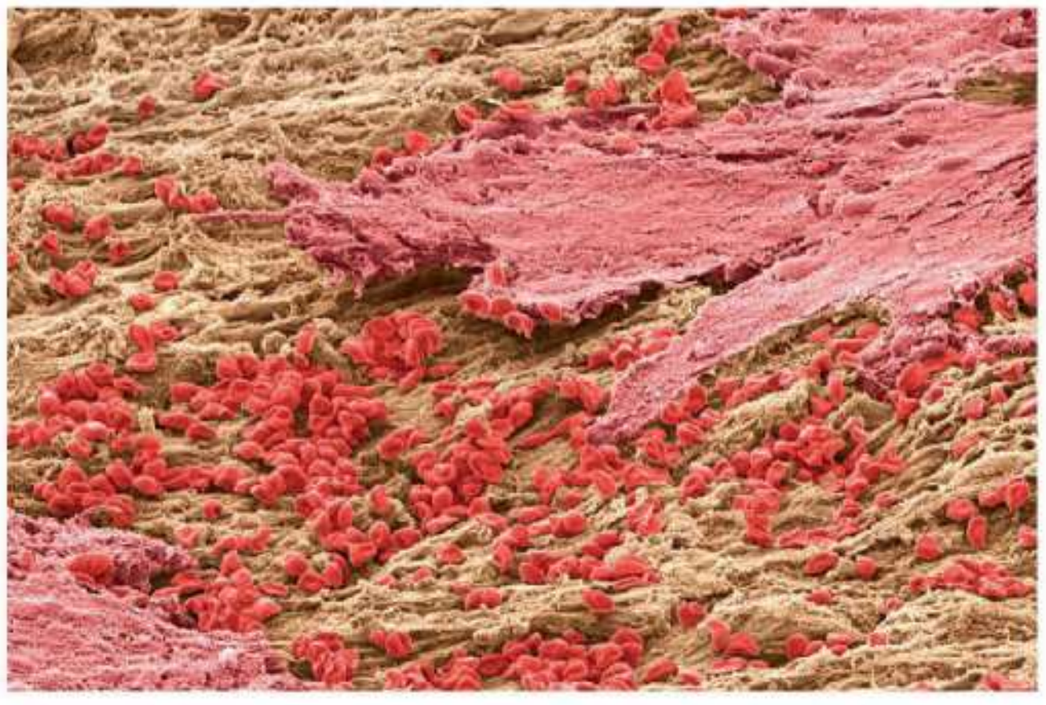
Zmiany w obrębie błony śluzowej macicy

Cykliczne zmiany w błonie śluzowej macicy (endometrium) są skutkiem zmian poziomu estrogenów i progesteronu – hormonów wydzielanych przez jajniki. W **cyklu macicznym** wyróżnia się cztery fazy.

Faza miesiączkowa (1.–5. dzień cyklu) rozpoczyna się wraz z pierwszym dniem krwawienia miesiączkowego. Menstruacja jest efektem złuszczania się powierzchniowej warstwy endometrium. Wynika z szybkiego spadku poziomu progesteronu i estrogenów, który powoduje skurcz naczyń krwionośnych znajdujących się w błonie śluzowej macicy. To prowadzi do niedotlenienia i niedożywienia komórek endometrium, a w konsekwencji – do ich martwicy. Warstwa obumarłych komórek oddziela się, a naczynia krwionośne się rozkurczają – wypływająca z nich krew wraz z martwą tkanką jest usuwana na zewnątrz przez pochwę.



Pęcherzyk Graafa (obraz spod mikroskopu optycznego).



Błona śluzowa macicy podczas miesiączki (obraz spod SEM). Widoczne są odrywające się fragmenty błony śluzowej i czerwone krwinki.

Faza odbudowy (6.–14. dzień cyklu) polega na odnowieniu i pogrubieniu błony śluzowej po miesiączce. Na początku tej fazy grubość endometrium wynosi ok. 1 mm, a pod koniec wzrasta dwu- lub trzykrotnie. Proces ten stymulują estrogeny, które są wytwarzane przez rozwijające się w tym czasie pęcherzyki jajnikowe. Faza kończy się w momencie owulacji i pęknięcia pęcherzyka Graafa.

Podczas **fazy wydzielniczej** (15.–27. dzień cyklu) pęknięty pęcherzyk Graafa przekształca się w ciałko żółte, które zaczyna wydzielać progesteron. Hormon ten powoduje dalszy rozrost błony śluzowej macicy i rozwój **gruczołów macicznych**, których wydzielina jest bogata w substancje odżywcze.

Błona śluzowa macicy staje się pulchna i ma strukturę gąbczastą – jest gotowa do przyjęcia rozwijającego się zarodka i jego zagnieżdżenia, czyli **implantacji**. Implantacja powoduje przekształcenie ciałka żółtego w ciałko żółte ciążowe, które wydziela coraz więcej progesteronu. Progesteron jest niezbędny do podtrzymania ciąży i właściwego przygotowania gruczołów mlekowych. Ciałko żółte ciążowe funkcjonuje do końca czwartego miesiąca ciąży – później jego rolę przejmuje łożysko. Jeżeli w danym cyklu nie dojdzie do zapłodnienia, to oocyt II rzędu obumiera w jajowodzie, a ciałko żółte przekształca się w **ciałko białawe** i przestaje produkować progesteron.

Ostatnim etapem cyklu macicznego jest **faza martwicza** (28. dzień cyklu). Nagłe zmniejszenie stężenia progesteronu i estrogenów powoduje jedno- lub dwudniowy okres niedokrwienia błony śluzowej macicy, który prowadzi do martwicy komórek. Skutkiem tego jest rozpoczęcie menstruacji i kolejnego cyklu miesiączkowego.

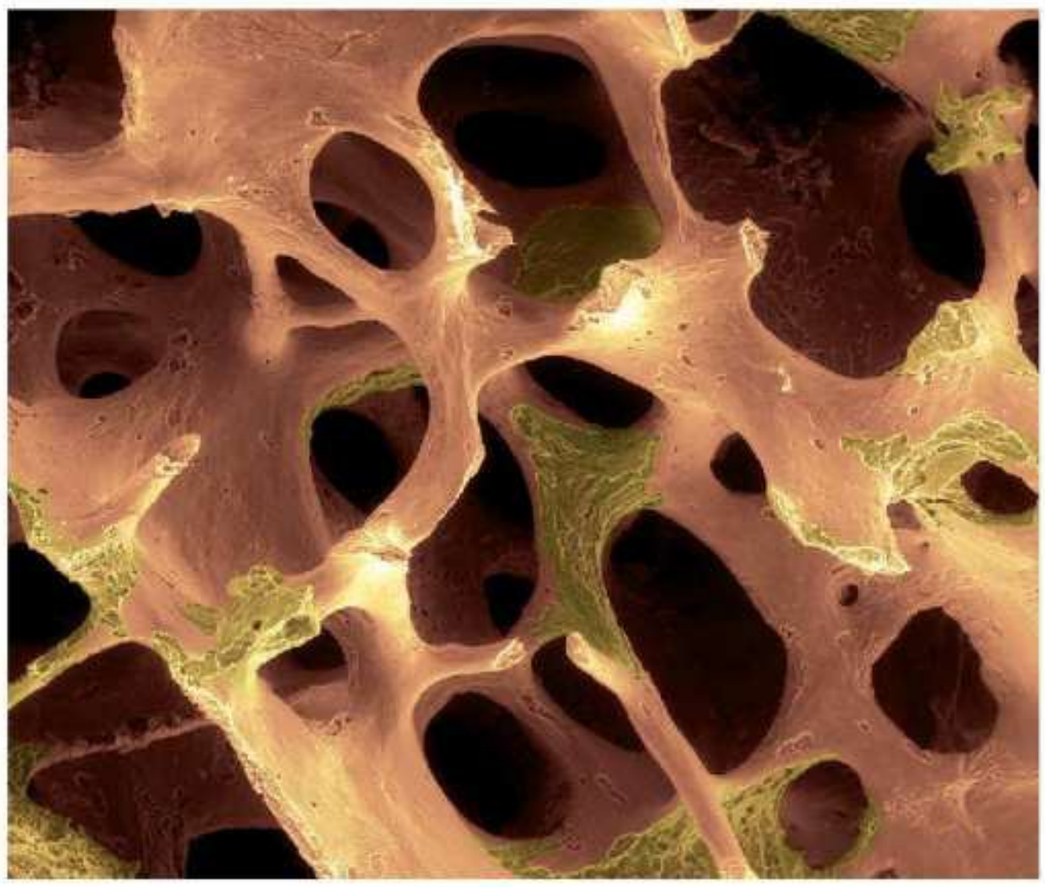
Menopauza

Między 45. a 55. rokiem życia kobiety cykle miesiączkowe zaczynają być coraz bardziej nieregularne, aż dochodzi do całkowitego ustania cyklu miesiączkowego, czyli menopauzy (przekwitania, klimakterium). Powodem menopauzy jest zmniejszenie wrażliwości jajników na działanie gonadotropin przysadkowych – hormonu luteinizującego (LH) i hormonu folikulotropowego (FSH). Skutkiem tego jest zahamowanie syntezy estrogenów i progesteronu przez jajniki oraz utrata płodności – kobiety po menopauzie nie mogą naturalnie zajść w ciążę. Zmiany w gospodarce hormonalnej podczas menopauzy wywołują wiele objawów, m.in.:

- uderzenia gorąca i nadmierne pocenie się,
- zaburzenia snu i trudności w zasypianiu,
- drażliwość,
- poczucie niepokoju, stany depresyjne,
- zmniejszenie zainteresowania życiem płciowym,
- zwiększone ryzyko wielu chorób, m.in. osteoporozy, cukrzycy typu II i chorób układu krążenia.



Endometrium w fazie wydzielniczej (obraz spod SEM) z widoczną wydzieliną gruczołów macicznych.



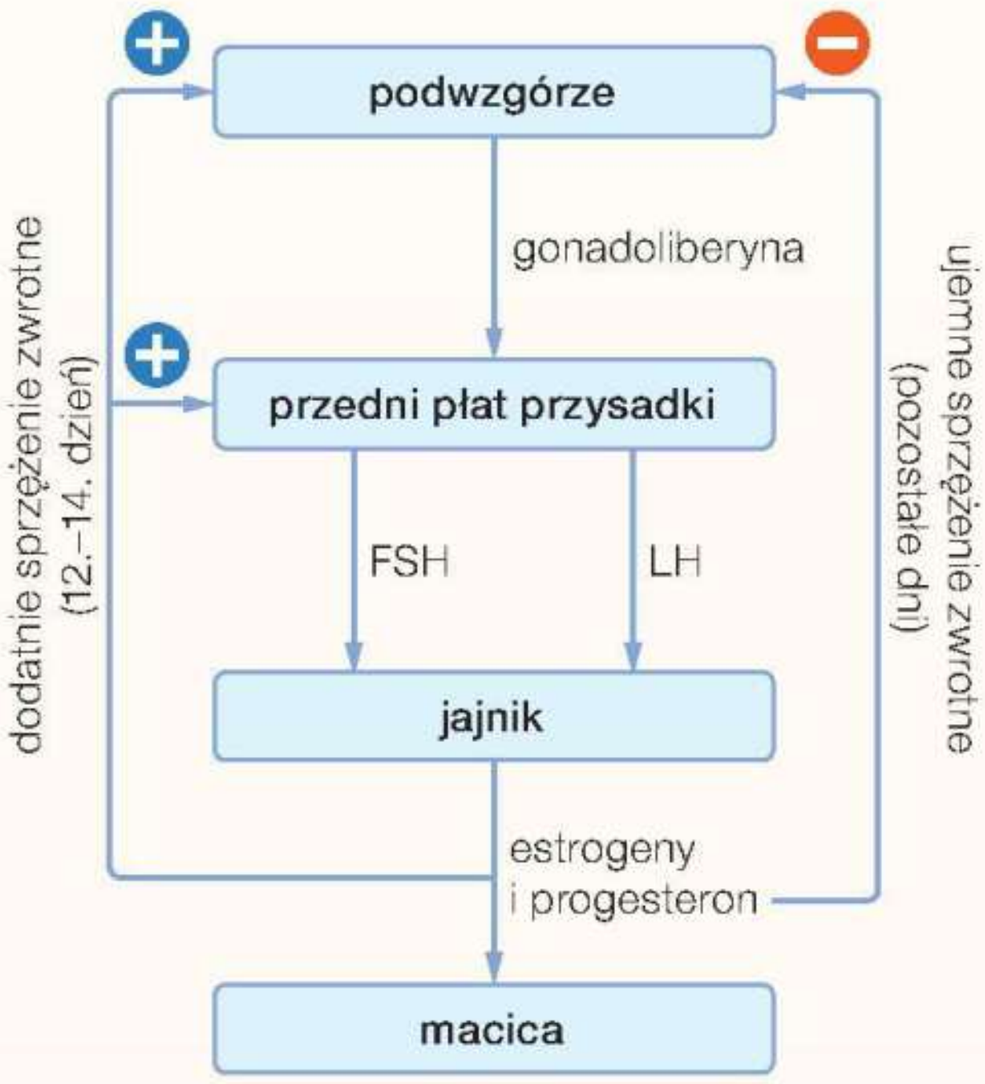
Podczas menopauzy spada poziom estrogenów, które pobudzają odkładanie wapnia w kościach, co zwiększa ryzyko osteoporozy (obraz spod SEM).

Regulacja hormonalna cyklu miesiączkowego

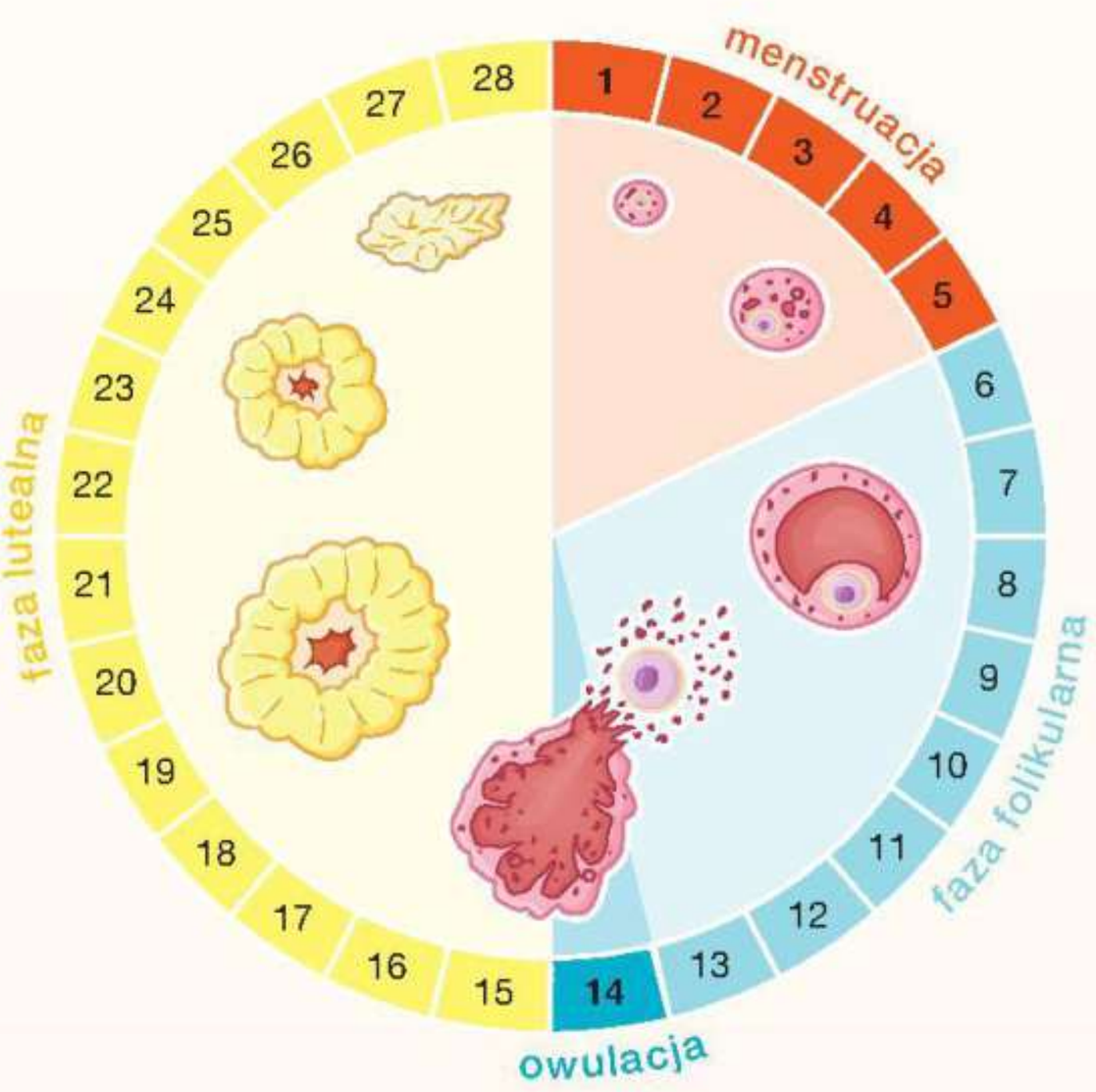
Cykl miesiączkowy kontrolują hormony wydzielane przez podwzgórze (gonadoliberyna), przysadkę (FSH i LH) oraz jajniki (estrogeny i progesteron).

Przebieg regulacji hormonalnej

W **fazie folikularnej** obserwuje się wysokie stężenie FSH, które powoduje rozwój pęcherzyków jajnikowych – źródła estrogenów. Jeden z estrogenów – estradiol – stymuluje wydzielanie LH na zasadzie sprzężenia zwrotnego dodatniego. W fazie **owulacji** stężenie FSH i LH jest maksymalne, co prowadzi do pęknięcia pęcherzyka Graafa i uwolnienia oocytu II rzędu. W **fazie lutealnej** następuje obniżenie stężenia FSH i LH, co wpływa na przekształcenie pękniętego pęcherzyka Graafa w ciałko żółte wytwarzające progesteron. Jeśli nie dojdzie do zapłodnienia, to ciałko żółte zanika, a stężenie progesteronu gwałtownie spada. W konsekwencji rozpoczynają się **miesiączka** i następny cykl menstruacyjny.



Regulacja hormonalna cyklu menstruacyjnego.



Przebieg cyklu menstruacyjnego.



Syntetyczne żeńskie hormony płciowe

Syntetyczne żeńskie hormony płciowe, które są produkowane przez przemysł farmaceutyczny, to m.in. estrogeny i progesteron. Hormony te mogą być stosowane w przypadku wystąpienia zaburzeń cyklu menstruacyjnego, jako metoda antykoncepcji albo hormonalna terapia zastępcza w okresie menopauzy.

Polecenia kontrolne

1. Opisz budowę i funkcje narządów żeńskiego układu rozrodczego.
2. Omów podobieństwa i różnice między spermatogenezą a oogenezą.
3. Porównaj budowę plemnika z budową oocytu II rzędu.
4. Wyjaśnij wpływ hormonów przysadki na cykl miesiączkowy.

11.4. Rozwój człowieka. Metody antykoncepcji

Zwróć uwagę na:
- przebieg ciąży i funkcje łożyska,
- znaczenie badań prenatalnych,
- etapy ontogenezy człowieka,
- metody antykoncepcji,
- skutki wydłużającego się okresu starości.

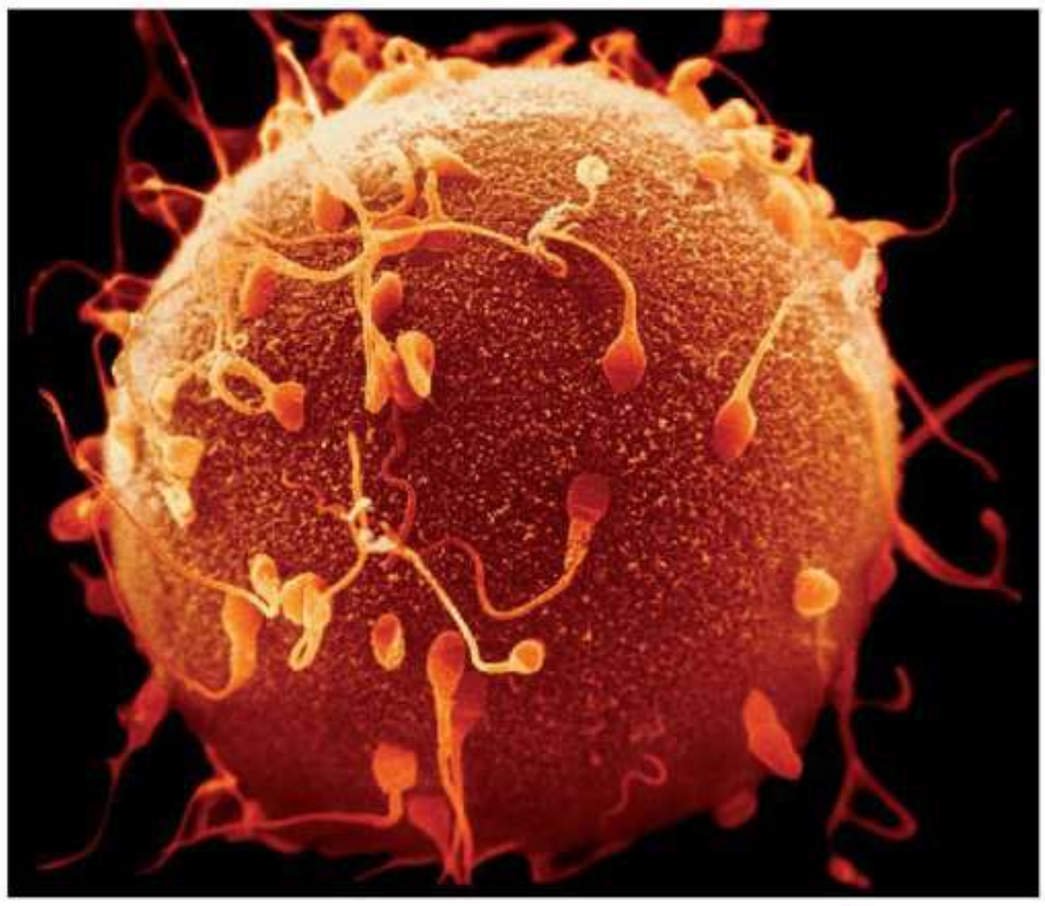
Rozwój osobniczy – **ontogeneza** – obejmuje wszystkie zmiany zachodzące od powstania pierwszej komórki nowego organizmu aż do jego śmierci. Ontogenezę dzieli się na dwa etapy:

- **rozwój prenatalny** – od poczęcia do narodzin,
- **rozwój postnatalny** – od narodzin do śmierci.

Aby mogło dojść do rozwoju nowego organizmu, konieczne jest zapłodnienie, czyli połączenie się plemnika z oocytem II rzędu.

Wędrówka plemników w drogach rodnych kobiety

Uwolnione podczas ejakulacji plemniki rozpoczynają wędrówkę w drogach rodnych kobiety w kierunku oocytu II rzędu. Do zapłodnienia dochodzi zazwyczaj w bańce jajowodu – rozszerzonej części jajowodu w okolicy lejka. Odległość, jaką muszą przebyć plemniki, wynosi ok. 18 cm. Działanie witki nie wystarczyłoby do pokonania takiego dystansu, dlatego dużą część drogi plemniki przebywają biernie. Przemieszczają się dzięki skurczom mięśniówki macicy i jajowodów. W trakcie wędrówki na plemniki oddziałują wydzieliny dróg rodnych. Zmieniają one właściwości plemników, przygotowując je do zapłodnienia. Proces ten nazywa się **kapacytacją** (uzdatnianiem) plemników. Aby dotrzeć do macicy, plemniki muszą się przedostać przez śluz wypełniający jej szyjkę. Ich przemieszczanie się odbywa się dzięki oddziaływaniu elektrostatycznemu, dlatego drogę tę pokonują jedynie żywe komórki. W jamie macicy plemniki poruszają się aktywnie za pomocą witek. Ich ruch jest w niewielkim stopniu wspomagany przez skurcze mięśniówki macicy. W jajowodach plemniki przesuwają się ruchem biernym. Dopiero w bańce jajowodu, pod wpływem zmian warunków środowiska, odzyskują pełną ruchliwość. Penetrują przestrzeń bańki jajowodu aż do momentu napotkania oocytu II rzędu, który został uwolniony podczas owulacji.



Plemniki otaczające oocyt II rzędu (obraz spod SEM). Z ok. 250 mln plemników znajdujących się w ejakulacie do miejsca zapłodnienia dociera maksymalnie 200.

Zapłodnienie

Proces zapłodnienia obejmuje:

- wniknięcie plemnika do oocytu II rzędu,
- zakończenie II podziału mejotycznego oocytu, w wyniku którego powstają komórka jajowa i ciałko kierunkowe,
- powstanie zygoty.

Plemniki, które dotrą do gamety żeńskiej, przenikają przez wieniec promienisty i osłonkę przejrzystą, co ułatwiają im enzymy akrosomalne

zlokalizowane w główce. Pierwszy plemnik, który pokona obie osłony, układa się płasko na powierzchni błony komórkowej oocytu II rzędu. Następnie błony komórkowe obu gamet zlewają się, a jądro plemnika dostaje się do wnętrza żeńskiej komórki rozrodczej. Po połączeniu się gamet następuje dokończenie II podziału mejotycznego – powstają dojrzała komórka jajowa oraz drugie ciałko kierunkowe. Zachodzi również reakcja korowa, której efektem jest stwardnienie osłonki przejrzystej. Reakcja ta uniemożliwia polispermię, czyli wnikanie do jednej komórki więcej niż jednego plemnika. Haploidalne jądro plemnika przemieszcza się w kierunku haploidalnego jądra komórki jajowej. W efekcie z połączenia się obu jąder powstaje diploidalna **zygota**, która jest pierwszą komórką nowego organizmu.

Rozwój prenatalny

Rozwój prenatalny organizmu obejmuje dwa okresy: zarodkowy i płodowy.

Rozwój zarodkowy trwa przez pierwsze osiem tygodni ciąży i liczy się od momentu powstania zygoty do wykształcenia się zawiązków wszystkich narządów. Obejmuje bruzdkowanie, gastrulację i organogenezę.

Bruzdkowanie u człowieka jest całkowite i równomierne. Powstające blastomery są jednakowej wielkości i nie oddzielają się od siebie. Bruzdkujący zarodek wędruje przez jajowód i dociera do jamy macicy. Skupienie 12–16 blastomerów nosi nazwę **moruli**.

W dalszym rozwoju, prowadzącym do stadium **blastocysty**, kolejnym podziałom towarzyszy zmiana kształtu powstających komórek oraz gromadzenie się między nimi płynu. Na skutek tych przemian komórki zewnętrznej warstwy spłaszczają się, tworząc ścianę **blastocysty** nazywaną **trofoblastem**. Komórki znajdujące się wewnątrz pęcherzyka skupiają się w jednym miejscu przy trofoblaście, tworząc **węzeł zarodkowy** z którego rozwija się ciało zarodka. Trofoblast wchłania substancje odżywcze z płynu jajowodowo-macicznego, wytwarza enzymy rozpuszczające osłonkę przejrzystą oraz ułatwiające **implantację** (zagnieżdżenie się) w macicy, a także bierze udział w powstawaniu kosmówki. Implantacja następuje ok. szóstego dnia rozwoju, liczonego od momentu zapłodnienia.

Kolejnym etapem rozwoju jest **gastrulacja**. W jej trakcie formują się pierwotne tkanki: ektoderma, endoderma i mezoderma, nazywane też **listkami zarodkowymi**. Z nich, w dalszym rozwoju, powstaną narządy pierwotne, takie jak: cewka nerwowa, struna grzbietowa i jelito zarodkowe. Nie występują one w dorosłym organizmie, gdyż ich miejsce zajmują narządy ostateczne (np. mózgowie i rdzeń kręgowy, kręgosłup). Proces tworzenia się narządów nosi nazwę **organogenezy**.

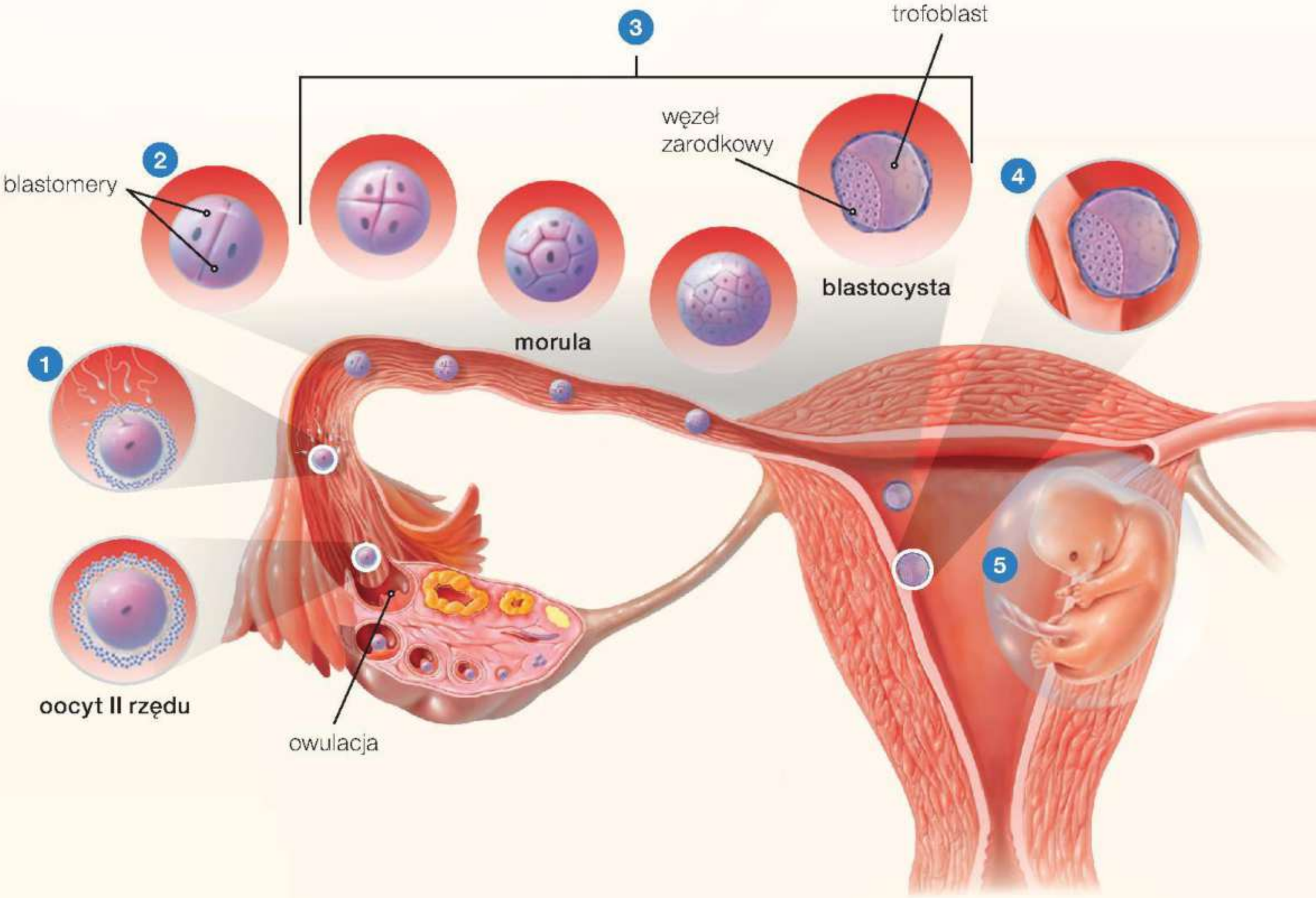
Po zakończeniu rozwoju zarodkowego, czyli ok. dziewiątego tygodnia od zapłodnienia, rozpoczyna się **rozwój płodowy**, który trwa aż do porodu.

Pochodzenie tkanek i narządów ciała człowieka



Etapy rozwoju prenatalnego

Rozwój prenatalny człowieka trwa ok. 40 tygodni. Wyróżnia się w nim dwa główne etapy: **rozwój zarodkowy** i **rozwój płodowy**. Rozwój zarodkowy trwa od momentu zapłodnienia do ok. 8. tygodnia życia. Po nim następuje rozwój płodowy trwający aż do chwili narodzin.



1. Zapłodnienie następuje zwykle w ciągu 24 godz. od owulacji. W jego wyniku powstaje **zygota**.
2. Po ok. 30 godz. od zapłodnienia zachodzi podział zygoty rozpoczynający bruzdkowanie. Powstają dwie identyczne komórki – **blastomery**.
3. Kolejne podziały mitotyczne zygoty prowadzą do powstania moruli (12–16 blastomerów), a później **blastocysty**, czyli pęcherzyka wypełnionego płynem. Ściana pęcherzyka tworzy trofoblast, a komórki wewnątrz – węzeł zarodkowy, z którego rozwija się ciało zarodka.
4. Około szóstego dnia od zapłodnienia następuje implantacja (zagnieżdżenie) zarodka w macicy. Jest ona możliwa dzięki enzymom wydzielanym przez trofoblast, które nadtrawiają błonę śluzową macicy. Następnie komórki trofoblastu dzielą się, by razem z błoną śluzową macicy utworzyć łożysko i błony płodowe.
5. Pod koniec **drugiego miesiąca zarodek** ma ok. 3 cm długości, wykształcone zawiązki narządów, widoczne zarysy oczu i nosa, a także palców rąk i stóp. Jego serce zaczyna bić.

Rozwój zarodkowy

6 Pod koniec **trzeciego miesiąca** płód ma ok. 10 cm długości oraz wykształcony układ nerwowy i układ mięśniowy. Reaguje na bodźce i porusza kończynami. Można już określić jego płeć.



7 Pod koniec **szóstego miesiąca** płód ma ok. 30 cm długości. Jego szkielet kostnieje, a narządy wewnętrzne dojrzewają. Płuca zaczynają wytwarzać surfaktant, który zapobiega zapadaniu się pęcherzyków płucnych. Płód potrafi rozpoznać głos matki.



8 W **dziewiątym miesiącu** ciąży płód jest zdolny do podjęcia czynności życiowych poza organizmem matki. Ma zwykle ok. 50 cm długości i waży ok. 3,5 kg.

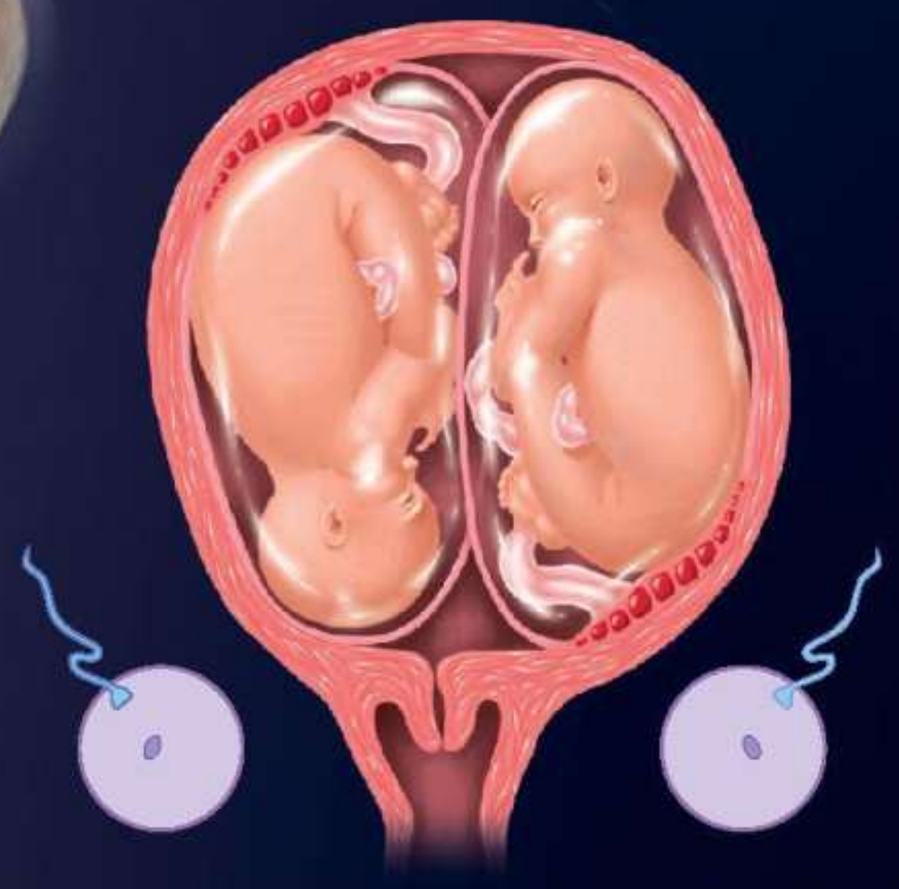


Dlaczego czasami rodzą się bliźnięta?

Niekiedy zygota dzieli się na dwie części, dając początek dwóm niezależnym zarodkom – powstają wtedy **bliźnięta jednojajowe**. Mają one taką samą informację genetyczną, dlatego są tej samej płci i wyglądają prawie identycznie. Bliźnięta mogą również powstać wtedy, gdy u kobiety dojrzeją jednocześnie dwie komórki jajowe, które zostaną zapłodnione w tym samym czasie. W takiej sytuacji powstają **bliźnięta dwujajowe**, które mogą się znacznie od siebie różnić, np. mogą być różnej płci.



Bliźnięta jednojajowe powstają z tej samej zygoty.



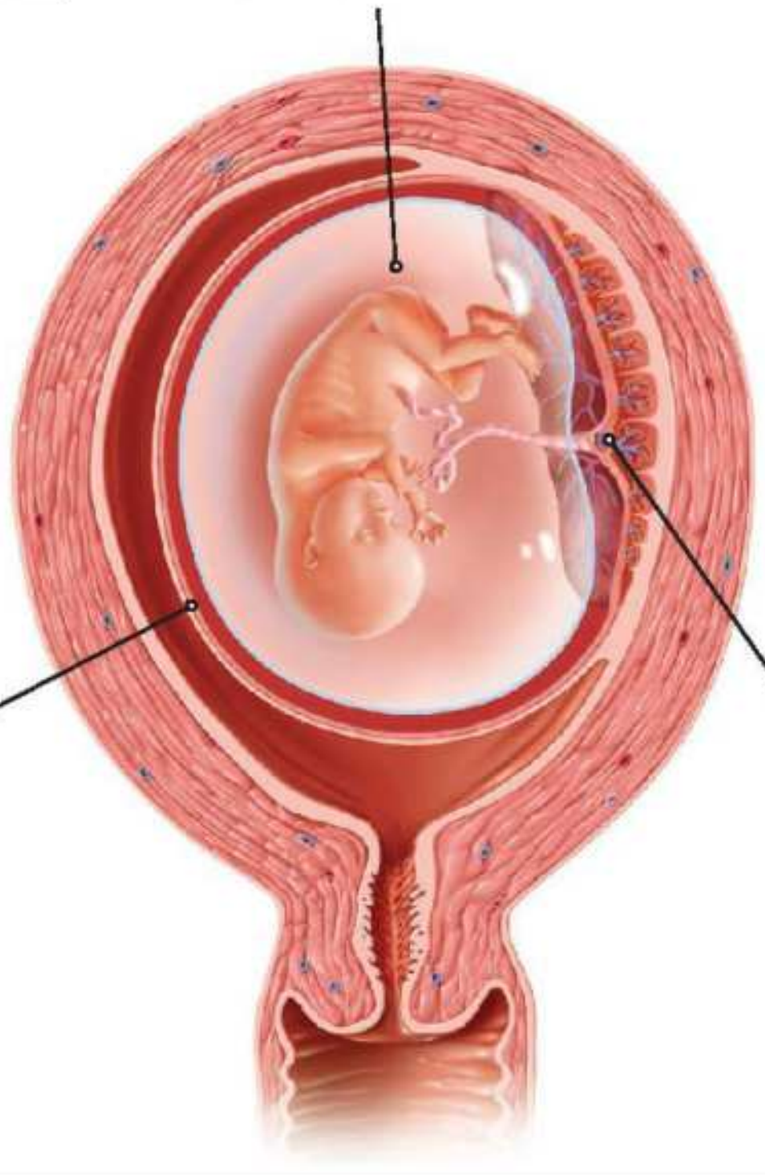
Bliźnięta dwujajowe powstają z dwóch różnych zygot.

Błony płodowe człowieka

Od ok. ósmego dnia od momentu zapłodnienia zarodek zaczyna wytwarzać błony płodowe. Są to: omocznia, owodnia, kosmówka oraz pęcherzyk żółtkowy.

Owodnia wydziela specjalny płyn owodniowy (tzw. wody płodowe), w którym rozwija się zarodek, a później płód. Płyn ten amortyzuje wstrząsy, zapewnia właściwą temperaturę i ułatwia dziecku wykonywanie ruchów.

Pęcherzyk żółtkowy to niewielka, zbudowana z ok. 100 komórek struktura, która zanika w 2. miesiącu ciąży. W rozwoju zarodkowym pełni funkcję krwiotwórczą. Ponadto w ścianie pęcherzyka pojawiają się pierwotne komórki płciowe – gonocyty – które przemieszczają się do zawiązków gonad.



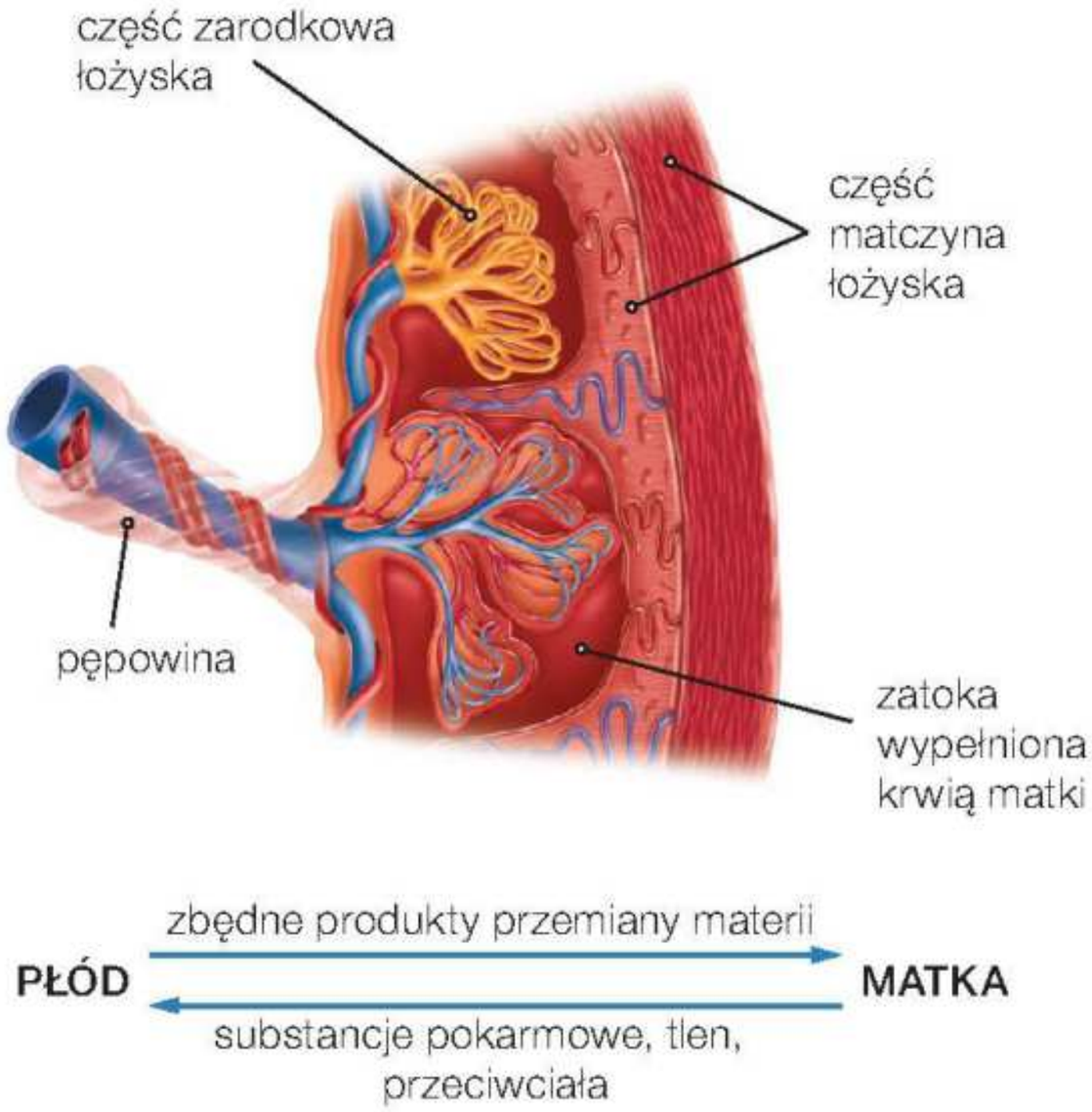
Kosmówka pośredniczy w wymianie substancji między matką a dzieckiem. Tworzą ją wypustki, zwane kosmkami. Wraz ze śluzówką macicy bierze ona udział w tworzeniu łożyska.

Omocznia uczestniczy w tworzeniu naczyń krwionośnych występujących w pępowinie.

Łożysko

Łożysko jest wspólnym narządem matki i płodu. Składa się z dwóch części: **płodowej**, będącej rozbudowaną kosmówką, i **matczynej**, która jest zmodyfikowaną błoną śluzową macicy. Pełnię rozwoju osiąga ono w czwartym miesiącu życia płodowego. Jest połączone z płodem za pomocą sznura pępowinowego, wewnątrz którego znajdują się trzy naczynia krwionośne: dwie tętnice pępkowe i żyła pępkowa.

Łożysko uczestniczy w procesach transportu i **wymiany substancji** między organizmem matki a płodem. Matka za pomocą łożyska przekazuje płodowi tlen, składniki odżywcze oraz przeciwciała zapewniające odporność. Z ciała dziecka do organizmu matki przez łożysko są odprowadzane zbędne produkty przemiany materii, takie jak mocznik czy dwutlenek węgla. Bariera łożyskowa nie stanowi przeszkody dla wielu substancji trujących i niebezpiecznych dla płodu, takich jak alkohol, nikotyna, kofeina czy metale ciężkie. Ponadto przenikają przez nią m.in. wirus różyczki oraz protisty wywołujące toksoplazmozę. Łożysko pełni również funkcję **gruczołu dokrewnego** – wydziela hormony niezbędne do podtrzymania ciąży.



Budowa łożyska i kierunek transportu substancji.

Działanie wybranych hormonów wydzielanych przez łożysko

Hormony	Działanie
Gonadotropina kosmówkowa (hCG)	• Do czwartego miesiąca ciąży utrzymuje ciałko żółte ciążowe wydzielające progesteron. • U płodów męskich pobudza wydzielanie testosteronu przez jądra. • Tłumi reakcję immunologiczną i zapobiega odrzuceniu płodu przez organizm matki.
Progesteron	• Niezbędny do utrzymania ciąży, od czwartego miesiąca ciąży wydzielany przez łożysko. • Hamuje samoistne skurcze macicy, zapobiegając poronieniu. • Utrzymuje błonę śluzową macicy w stanie fizjologicznej aktywności. • Pobudza gruczoły mlekowe.
Estrogeny	• Powodują powiększenie macicy, zewnętrznych narządów płciowych i piersi. • Hamują czynność gonadotropową przysadki (zanik miesiączek). • Zwiotczają więzadła miednicy.
Relaksyna	• Zmniejsza kurczliwość macicy. • Rozluźnia więzadło łonowe.

Czynniki wpływające na przebieg ciąży

Na przebieg ciąży mogą wpływać zarówno czynniki wewnętrze, jak i czynniki zewnętrzne.

Do czynników wewnętrznych zalicza się m.in. choroby przewlekłe matki (np. cukrzycę czy nadciśnienie tętnicze), jej kondycję fizyczną oraz wiek. Im później kobieta zachodzi w ciążę, tym większe ryzyko powstania wad genetycznych u płodu. Wiąże się to z długim przebiegiem oogenezy i okresem zatrzymania mejozy. Podział mejotyczny podczas oogenezy zatrzymuje się w życiu płodowym i zostaje dokończony dopiero podczas zapłodnienia. Dlatego im dłużej trwa przerwa w podziale mejotycznym, tym większe prawdopodobieństwo nieprawidłowości w jego przebiegu.

Do czynników zewnętrznych wpływających na przebieg ciąży i prawidłowy rozwój dziecka należą m.in.:

- dieta matki. W okresie ciąży kobieta ma zwiększone zapotrzebowanie na składniki pokarmowe. Ich niedobór może prowadzić do zaburzeń rozwoju dziecka. Na przykład niedobór kwasu foliowego (witaminy B_{11}) może prowadzić do powstania u płodu wad układu nerwowego;
- stosowanie przez matkę używek i leków – substancje te mogą przenikać do płodu przez łożysko i przyczyniać się do wystąpienia u dziecka wad wrodzonych. Ich stosowanie może też prowadzić do poronienia;



Podczas ciąży ważne jest zachowanie aktywności fizycznej, np. poprzez wykonywanie specjalnych ćwiczeń.

- drobnoustroje chorobotwórcze. Do szczególnie niebezpiecznych drobnoustrojów dla płodu, które przenikają przez barierę łożyskową, należą: wirus różyczki, wirus HIV, wirus ospy wietrznej oraz protist wywołujący toksoplazmozę;
- działanie promieniowania, np. rentgenowskiego lub UV, które ma działanie mutagenne i może uszkodzić płód;
- zanieczyszczenie środowiska. Toksyczne substancje i pyły znajdujące się w zanieczyszczonym powietrzu mogą powodować zaburzenia rozwojowe płodu.

Wrażliwość na wymienione wyżej czynniki zależy od stadium rozwoju zarodka lub płodu, a także od dawki albo natężenia określonego czynnika.

Badania prenatalne

Badania prenatalne umożliwiają sprawdzenie, czy wzrost i rozwój dziecka w łonie matki przebiegają prawidłowo. Badania te pozwalają m.in. wykryć na wczesnym etapie występujące u dziecka wady rozwojowe i genetyczne, a także rozpocząć leczenie już w okresie życia płodowego.

Jednym z najważniejszych badań prenatalnych jest nieinwazyjne **badanie ultrasonograficzne** (USG). Do jego wykonania wykorzystuje się ultradźwięki, które odbijają się od płodu i innych struktur. Lekarz, na podstawie obrazu uzyskanego na monitorze, może m.in. ocenić prawidłowość rozwoju dziecka, określić jego wiek i płeć oraz sprawdzić, czy ciąża nie jest mnoga.

Z kolei przykładem badania inwazyjnego jest **amniopunkcja**. Polega ona na nakłuciu owodni i pobraniu wód płodowych, zawierających złuszczone komórki płodu. Pobrane komórki są poddawane różnorodnym badaniom, m.in. analizom DNA i kariotypu, które pozwalają na wykrycie chorób genetycznych lub zaburzeń chromosomowych. Przeprowadzenie amniopunkcji zaleca się m.in. w sytuacji, gdy kobieta urodziła wcześniej dziecko z wadami wrodzonymi, a także gdy kobieta ukończyła 35. rok życia.



Aby nie uszkodzić płodu, lekarz zwykle kontroluje przebieg amniopunkcji dzięki badaniu USG wykonywanemu w tym samym czasie.

Poród

Zakończeniem rozwoju prenatalnego jest poród. Zwykle następuje on ok. 266–270 dni po zapłodnieniu. Rozpoczyna się regularnymi skurczami macicy określanymi jako bóle porodowe, którym towarzyszy skrócenie i rozwarcie szyjki macicy. Skurcze są inicjowane przez **oksytocynę** – hormon produkowany przez podwzgórze i uwalniany przez tylny płat przysadki. Wyróżnia się trzy fazy porodu.

Faza pierwsza trwa od rozpoczęcia akcji porodowej do pełnego rozwarcia szyjki macicy. Co 10–15 minut pojawiają się łagodne skurcze macicy, trwające 15–25 sekund. Stopniowo stają się one coraz silniejsze i trwają coraz dłużej. Powodują przemieszczanie płodu w kierunku rozszerzającej się szyjki macicy.

Podczas **fazy drugiej** (porodu właściwego) następuje pęknięcie owodni i odejście wód płodowych. Intensywne skurcze macicy oraz mięśni brzucha przesuwają dziecko przez szyjkę macicy, a następnie przez pochwę. Po wydostaniu się na zewnątrz głowy (kości czaszki są połączone w taki sposób, że jej kształt dostosowuje się do dróg rodnych) rodzi się reszta ciała dziecka. Skurcze macicy wyciskają krew płodową z łożyska do układu krwionośnego noworodka. Po ustaniu tętna w pępowinie zostaje ona przecięta i zawiązana. Od tej pory dziecko rozpoczyna życie poza organizmem matki. Po przecięciu pępowiny we krwi dziecka zaczyna się gromadzić dwutlenek węgla. Zwiększenie jego stężenia prowadzi do pobudzenia ośrodka oddechowego w rdzeniu przedłużonym. Wywołuje to skurcz mięśni oddechowych (klatki piersiowej i przepony), umożliwiając wykonanie pierwszego wdechu. Oddech jest głęboki i przy wydechu dziecko wydaje pierwszy krzyk.

Faza trzecia porodu trwa od przecięcia pępowiny do wydalenia łożyska i błon płodowych. Wkrótce po narodzinach dziecka łożysko oddziela się od ściany macicy i w kolejnej serii skurczów zostaje wydalone na zewnątrz wraz z błonami płodowymi. Po porodzie rozpoczyna się rozwój postnatalny dziecka.

Etapy rozwoju postnatalnego

Rozwój postnatalny człowieka trwa od momentu narodzin aż do śmierci. Składa się z ośmiu okresów.

1 Okres noworodkowy

(od narodzin do końca 1. miesiąca życia)

Noworodek przystosowuje się do życia poza organizmem matki. Jest bezbronny – wymaga opieki, pielęgnacji i karmienia.

2 Okres niemowlęcy

(od 2. miesiąca życia)

Niemowlę stopniowo rozwija się ruchowo, pojawiają się u niego zęby mleczne oraz zaczyna wypowiadać pierwsze słowa.

3 Okres poniemowlęcy

(od 2. roku życia)

Dziecko uczy się wykonywania złożonych czynności, rozwijają się u niego mowa oraz zdolność kojarzenia i koncentracji uwagi.

4 Okres dzieciństwa

(od 4. roku życia do rozpoczęcia okresu dojrzewania)

Następuje szybki wzrost i wielostronny rozwój dziecka. Rozpoczyna się wymiana zębów mlecznych na zęby stałe i mineralizacja szkieletu.

5 Okres dojrzewania

(od ok. 9.–11. roku życia)

Pod wpływem hormonów płciowych u dziewcząt pojawia się pierwsza miesiączka, a u chłopców zachodzi zmiana barwy głosu na niższą (tzw. mutacja). Uwidaczniają się też trzeciorzędowe cechy płciowe.

6 Okres dorosłości

(od ok. 18.–25. roku życia)

W tym okresie człowiek osiąga dojrzałość fizyczną, psychiczną i społeczną.

7 Okres przekwitania

(od ok. 45.–55. roku życia)

Zmniejsza się wydzielanie hormonów płciowych – u kobiet prowadzi to do menopauzy, a u mężczyzn do obniżenia zdolności rozrodczych.

8 Okres starości

(od ok. 60.–65. roku życia)

Następuje spadek odporności, sprawności fizycznej, a czasem też intelektualnej człowieka.



Antykoncepcja

Działania mające na celu zapobieganie niezaplanowanemu poczęciu dziecka są określane mianem **antykoncepcji**. Metody regulacji poczęć można podzielić na naturalne i sztuczne.

Naturalne metody antykoncepcji w większości opierają się na dokładnej obserwacji zmian zachodzących w organizmie kobiety podczas cyklu miesiączkowego. Na ich podstawie można określić **dni płodne**, w które należy powstrzymać się od współżycia, aby zmniejszyć szansę na zajście w ciążę. Metody naturalne są całkowicie bezpieczne dla organizmu kobiety, warto jednak pamiętać, że nie chronią one przed chorobami przenoszonymi drogą płciową. Ponadto wnioski wyciągane z prowadzonych obserwacji cyklu miesiączkowego mogą być nieprawdziwe, jeśli kobieta jest narażona na stres, choroby czy przemęczenie, co obniża skuteczność tego rodzaju antykoncepcji.

Sztuczne metody antykoncepcji zapobiegają zapłodnieniu bez konieczności powstrzymania się od współżycia płciowego. Metody te można podzielić na trzy grupy: mechaniczne, chemiczne i hormonalne.

Metody mechaniczne opierają się na umieszczeniu fizycznej bariery – np. diafragmy czy prezerwatywy – na drodze plemników do komórki jajowej. Ponadto prezerwatywy jako jedyne chronią przed zakażeniem chorobami przenoszonymi drogą płciową.

Metody chemiczne polegają przede wszystkim na stosowaniu środków plemnikobójczych, które powodują unieruchomienie plemników. W efekcie plemniki nie są w stanie dotrzeć do komórki jajowej. Podczas stosowania tych środków warto zachować ostrożność, ponieważ u niektórych osób zawarte w nich substancje mogą powodować podrażnienia lub uczulenia.

Często łączy się stosowanie metod mechanicznych ze stosowaniem metod chemicznych, np. w prezerwatywach może znajdować się środek plemnikobójczy.

Metody hormonalne opierają się na przyjmowaniu przez kobietę syntetycznych odpowiedników ludzkich hormonów płciowych.



Metody hormonalne wywierają bardzo duży wpływ na organizm kobiety, dlatego muszą być odpowiednio dobrane podczas konsultacji z lekarzem ginekologiem.

Istnieje wiele metod podania hormonów, m.in. tabletki i plastry antykoncepcyjne. W efekcie ich działania owulacja jest hamowana, wyściółka macicy staje się cieńsza, a śluz gęstszy, przez co nie dochodzi do zapłodnienia.

Skuteczność metod antykoncepcyjnych wyraża się w procentach lub za pomocą **wskaźnika Pearla** [wym. perla]. Określa on, jaki procent kobiet zajdzie w ciążę w ciągu roku mimo prawidłowego stosowania danej metody. Wskaźnik 0 oznacza całkowite zabezpieczenie przed ciążą. Taką skuteczność daje tylko absolutne powstrzymanie się do stosunków płciowych. Im wyższy wskaźnik, tym większe prawdopodobieństwo zajścia w ciążę. Współżycie bez zabezpieczenia ma wskaźnik 85.

Niepłodność

Niepłodnością określa się niemożność poczęcia dziecka mimo regularnego współżycia bez zabezpieczenia w okresie dłuższym niż jeden rok. Szacuje się, że problem ten dotyczy ok. 15% par. Najczęstszymi przyczynami niepłodności u kobiet są zaburzenia hormonalne wpływające na owulację, nieprawidłowa budowa narządów rozrodczych (np. niedrożność jajowodów) i przebyte stany zapalne tych narządów. Niepłodność u mężczyzn w większości przypadków jest spowodowana niską jakością nasienia – zbyt małą liczbą plemników, ich nieprawidłową budową lub obniżoną żywotnością.

Porównanie wybranych metod antykoncepcji

Nazwa metody	Sposób działania	Zalety	Wady	Wskaźnik Pearla
Metody naturalne				
Metoda kalendarzowa	Wyznaczenie dni płodnych na podstawie znajomości cyklu miesiączkowego i wiedzy o długości życia komórki jajowej i plemników.	Bezpieczna dla zdrowia i prosta w stosowaniu. Nie wymaga przyjmowania środków chemicznych.	Mała skuteczność – przy nieregularnych miesiączkach trudno określić dni płodne; wiele czynników, np. choroby czy stres, może zaburzać przebieg cyklu.	14–50
Metoda termiczna	Wyznaczenie dni płodnych na podstawie pomiarów temperatury ciała.	Bezpieczna dla zdrowia. Nie wymaga stosowania środków chemicznych.	Pomiary muszą być prowadzone o tej samej porze dnia. Wiele czynników może zaburzać przebieg cyklu miesiączkowego.	0,3–13
Metoda owulacyjna	Wyznaczenie dni płodnych na podstawie obserwacji śluzu produkowanego przez gruczoły szyjki macicy.	Bezpieczna dla zdrowia. Nie wymaga stosowania środków chemicznych.	Wygląd śluzu jest często trudny do oceny. Obserwacje muszą być prowadzone o tej samej porze dnia.	0,5–40
Metoda objawowo-termiczna	Wyznaczenie dni płodnych na podstawie pomiarów temperatury i obserwacji śluzu produkowanego przez gruczoły szyjki macicy.	Bezpieczna dla zdrowia. Nie wymaga stosowania środków chemicznych.	Wymaga regularnych pomiarów temperatury i obserwacji śluzu. Wiele czynników, np. choroby czy stres, może zaburzać przebieg cyklu.	0,2–9
Metody sztuczne				
Metody mechaniczne	Zapobieganie przedostaniu się plemników do dróg rodnych kobiety przez umieszczenie fizycznej bariery, np. prezerwatyw, diafragm, kapturków.	Nie mają wpływu na funkcjonowanie organizmu kobiety. Prezerwatywy zapobiegają rozprzestrzenianiu się chorób przenoszonych drogą płciową.	Materiały, z których są wykonane prezerwatywy i inne środki, mogą ulec uszkodzeniu, jeśli są niewłaściwe stosowane.	2–15
Metody chemiczne	Stosowanie dopochwowych środków plemnikobójczych.	Łatwe w stosowaniu. Wywierają niewielki wpływ na organizm kobiety. Występują w formie kremów, pianek i globulek.	Mogą wywołać reakcje uczuleniowe na składniki środków.	2–30
Metody hormonalne	Regulowanie cyklu menstruacyjnego przez przyjmowanie syntetycznych hormonów płciowych.	Charakteryzują się wysoką skutecznością. Istnieje wiele metod podania hormonów, np. tabletki, zastrzyki, implanty.	Możliwe skutki uboczne. Użycie tylko po konsultacji z lekarzem. Przyjmowanie środków w postaci tabletek wymaga regularnego stosowania.	0,1–1

Skutki wydłużającego się okresu starości

Postęp cywilizacyjny, dokonujący się zwłaszcza dzięki rozwojowi nauk medycznych, przyczynił się do wzrostu długość życia, a w rezultacie – do znacznego wydłużenia się okresu starości. Jest to pozytywny efekt, który niesie ze sobą społeczne wyzwania oraz możliwości. Należą do nich m.in.:

- troska o zapewnienie osobom starszym długoterminowej opieki oraz odpowiedniego poziomu życia (także pod względem finansowym),
- wzrost zapotrzebowania na miejsca w placówkach opiekuńczych oraz zwiększone zapotrzebowanie na wykwalifikowanych pracowników służby zdrowia – lekarzy geriatrów, pielęgniarzy czy rehabilitantów,
- możliwość czerpania z wiedzy i doświadczenia osób starszych,
- szansa dla starszych osób na rozwijanie zainteresowań i realizowanie planów, na które wcześniej brakowało im czasu, np. podróżowanie, uprawianie hobby.

Fizjologiczne skutki wydłużającego się okresu starości można niwelować dzięki działaniom aktywizującym. Kluczowe jest zachęcanie seniorów do uczestniczenia w życiu społecznym oraz zachowywania sprawności intelektualnej i fizycznej. Codzienne spacery czy spokojna gimnastyka wpływają korzystnie na pracę układu krążenia oraz na kości, stawy i mięśnie. Sprawność intelektualną można ćwiczyć np. poprzez rozwiązywanie krzyżówek i czytanie książek.



Gimnastyka w wodzie poprawia ogólną kondycję fizyczną i psychiczną osób starszych. Wzmacnia mięśnie, stawy oraz polepsza koordynację ruchową.



Szachy to gra wymagająca logicznego myślenia. W turniejach szachowych biorą udział ludzie w różnym wieku – zarówno dzieci, jak i seniorzy.

Polecenia kontrolne

1. Opisz etapy rozwoju prenatalnego człowieka.
2. Określ, jakie substancje są transportowane przez łożysko z organizmu matki do płodu.
3. Wyjaśnij, na czym polega implantacja i jakiego stadium rozwoju zarodkowego dotyczy.
4. Omów funkcje łożyska jako gruczołu dokrewnego.
5. Opisz wybraną metodę diagnostyki prenatalnej.
6. Podaj dwa argumenty, które przemawiają za wykonywaniem badań prenatalnych.
7. Podaj nazwę okresu rozwoju postnatalnego, w którym się obecnie znajdujesz.
8. Wyjaśnij różnice między naturalnymi metodami antykoncepcji a sztucznymi metodami antykoncepcji.
9. Zaproponuj trzy działania, dzięki którym można ograniczyć uciążliwe skutki wydłużającego się okresu starości.

11.5. Higiena i choroby układu rozrodczego

Zwróć uwagę na:
- choroby układu rozrodczego człowieka oraz znaczenie ich wczesnej diagnostyki,
- choroby przenoszone drogą płciową i ich profilaktykę.

Dla wielu osób dolegliwości dotyczące układu rozrodczego to trudny i bardzo wstydliwy temat. Jeżeli jednak pojawią się niepokojące objawy związane z funkcjonowaniem tego układu, to nie należy zwlekać z wizytą u specjalisty. Mężczyźni powinni zwrócić się o pomoc do lekarza **urologa**, a kobiety – do lekarza **ginekologa**. Wczesna diagnoza i rozpoczęcie leczenia mogą uchronić przed poważnymi konsekwencjami, takimi jak zakażenie partnera czy niepłodność. W przypadku chorób nowotworowych mogą zaś znacząco zwiększyć szansę na wyleczenie. Należy też pamiętać, że niektórych chorób układu rozrodczego można uniknąć dzięki przestrzeganiu zasad higieny.

Jak dbać o układ rozrodczy?

Jedną z podstawowych zasad związanych z higieną układu rozrodczego jest codzienne dbanie o czystość zewnętrznych narządów płciowych. Zaniedbanie tej czynności spowoduje, że mikroorganizmy chorobotwórcze, takie jak bakterie i grzyby, będą mogły się dużo łatwiej rozwijać i powodować infekcje. Aby właściwie dbać o czystość miejsc intymnych, warto m.in.:

- stosować środki myjące, które nie powodują podrażnienia i przesuszenia (np. nie zawierają detergentu SLS),
- nie używać gąbek i myjek, ponieważ są one siedliskiem rozwoju bakterii i grzybów,
- często zmieniać ręczniki kąpielowe,
- unikać gorących kąpieli, które u mężczyzn mogą doprowadzić do obniżenia płodności,
- po kąpieli wycierać miejsca intymne do sucha (wilgoć sprzyja rozwojowi grzybów),
- podczas miesiączki często zmieniać podpaski lub tampony i myć okolice intymne dwa razy dziennie,
- nosić przewiewną bieliznę z naturalnych materiałów i codziennie ją zmieniać.

Ryzyko chorób układu rozrodczego zwiększają przypadkowe kontakty seksualne i duża liczba partnerów seksualnych. Prawdopodobieństwo zakażenia podczas stosunku płciowego można zmniejszyć, stosując prezerwatywy.

W profilaktyce chorób układu rozrodczego bardzo ważne jest także regularne wykonywanie badań kontrolnych – dotyczy to zarówno kobiet, jak i mężczyzn. Warto też uważnie przyglądać się swojemu ciału – wszelkie niepokojące objawy, takie jak zmiany na skórze okolic intymnych, ból tych okolic czy wydzielina z pochwy lub cewki moczowej, powinny zostać skonsultowane z lekarzem.



Regularne badania kontrolne pomagają wykryć wiele groźnych chorób układu rozrodczego.

Metody diagnostyczne

Do najważniejszych badań diagnostycznych chorób układu rozrodczego i chorób przenoszonych drogą płciową należą: badanie cytologiczne, USG jamy brzusznej, testy krwi oraz badania piersi.

Badanie cytologiczne

Do wykonania badania cytologicznego konieczne jest pobranie próbki komórek oraz śluzu z przedniej części szyjki macicy. Następnie z próbki wykonuje się preparat mikroskopowy, który jest oceniany przez cytologa. Dzięki temu badaniu można wykryć wiele chorób, nawet na bardzo wczesnym etapie ich rozwoju, m.in. raka szyjki macicy i zakażenia wirusowe lub bakteryjne.

USG jamy brzusznej

Badanie USG jamy brzusznej pozwala przyjrzeć się budowie narządów należących do układu rozrodczego, m.in. jajników i macicy u kobiet, a także prostaty u mężczyzn. Badanie ultrasonograficzne pozwala m.in. na wykrycie guzów nowotworowych czy wad rozwojowych.

Testy krwi

Badania krwi umożliwiają zdiagnozowanie wielu chorób. Testy na obecność przeciwciał produkowanych przez kontakt z konkretnym patogenem pozwalają na wykrycie m.in. zakażenia wirusem HIV czy kiłą. Z kolei w celu precyzyjnego określenia typu patogenu stosuje się testy molekularne, opierające się na izolacji materiału genetycznego danego drobnoustroju chorobotwórczego. Techniki te są bardzo czułe i wykrywają nawet śladowe ilości materiału genetycznego patogenu. Dzięki temu można rozpocząć leczenie już na wczesnym etapie zakażenia. Niezwykle pomocne są też testy wykrywające podwyższone stężenie tzw. **markerów nowotworowych**. Pozwalają one ustalić, czy u pacjenta następuje rozwój nowotworu. Przykładem takiego markera jest PSA, którego podwyższone stężenie może świadczyć o rozwoju raka prostaty.

Mutacje genetyczne a ryzyko rozwoju nowotworów

Ryzyko zachorowania na nowotwory można określić na podstawie badań genetycznych wykrywających występowanie określonych mutacji. Na przykład występowanie **mutacji w genach *BRCA1* oraz *BRCA2*** oznacza zwiększone ryzyko wystąpienia raka piersi (ok. 80%) i raka jajnika (ok. 40%). Stwierdzenie, że dana osoba znajduje się w grupie zwiększonego ryzyka, pozwala na podjęcie działań profilaktycznych, np. częstszych badań kontrolnych, dzięki którym możliwe jest wykrycie choroby we wczesnym stadium, gdy prawdopodobieństwo jej wyleczenia jest bardzo wysokie. Jednym ze sposobów profilaktyki jest też usunięcie piersi (tzw. profilaktyczna mastektomia), a następnie ich odtworzenie.

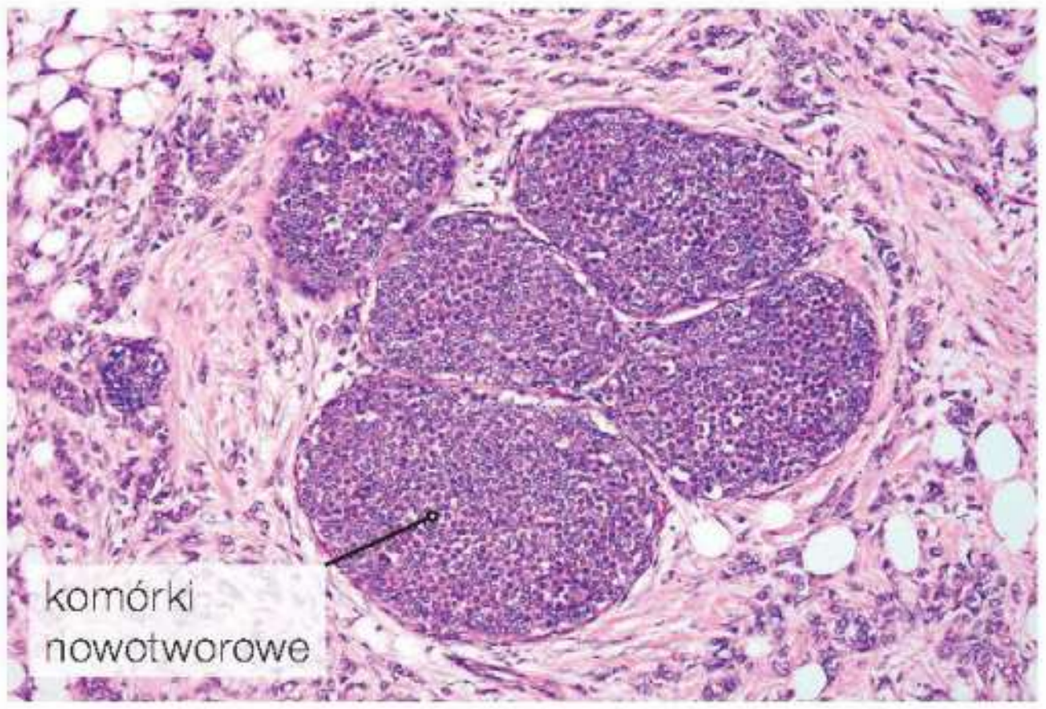


Zespół badawczy amerykańskiej genetyczki Mary-Claire King [wym. mery kler king] jako pierwszy odkrył powiązanie pomiędzy mutacją w genie *BRCA1* a zwiększonym ryzykiem zachorowania na raka piersi.

Badania piersi

Regularne badania profilaktyczne piersi są niezwykle ważne w wykrywaniu nowotworów tego gruczołu. Aby ocenić, czy gruczoł mlekowy ma prawidłową strukturę, wykonuje się USG piersi lub mammografię. U kobiet przed 40. rokiem życia, których piersi składają się głównie z tkanki gruczołowej, wykonuje się **badanie USG**. Z upływem lat tkanka gruczołowa zanika, dlatego po 40. roku życia przeprowadza się **mammografię**. Polega ona na wykonaniu serii zdjęć RTG, które pozwalają na szczegółową analizę tkanki tłuszczowej piersi. Zarówno badanie USG, jak i mammografia umożliwiają wykrycie niezłośliwych zmian, takich jak torbiele i cysty, a także guzów o charakterze złośliwym. Badania profilaktyczne powinny być wykonywane raz do roku przez kobiety po 50. roku życia oraz przez kobiety po 30. roku życia, w których rodzinie występowały nowotwory piersi.

W przypadku wykrycia niepokojących zmian pacjentka jest kierowana na biopsję, czyli pobranie fragmentu zmienionej tkanki. Następnie pobrana próbka jest oceniania pod mikroskopem podczas badania histopatologicznego, co pozwala na określenie rodzaju zmiany i dobranie właściwej terapii.



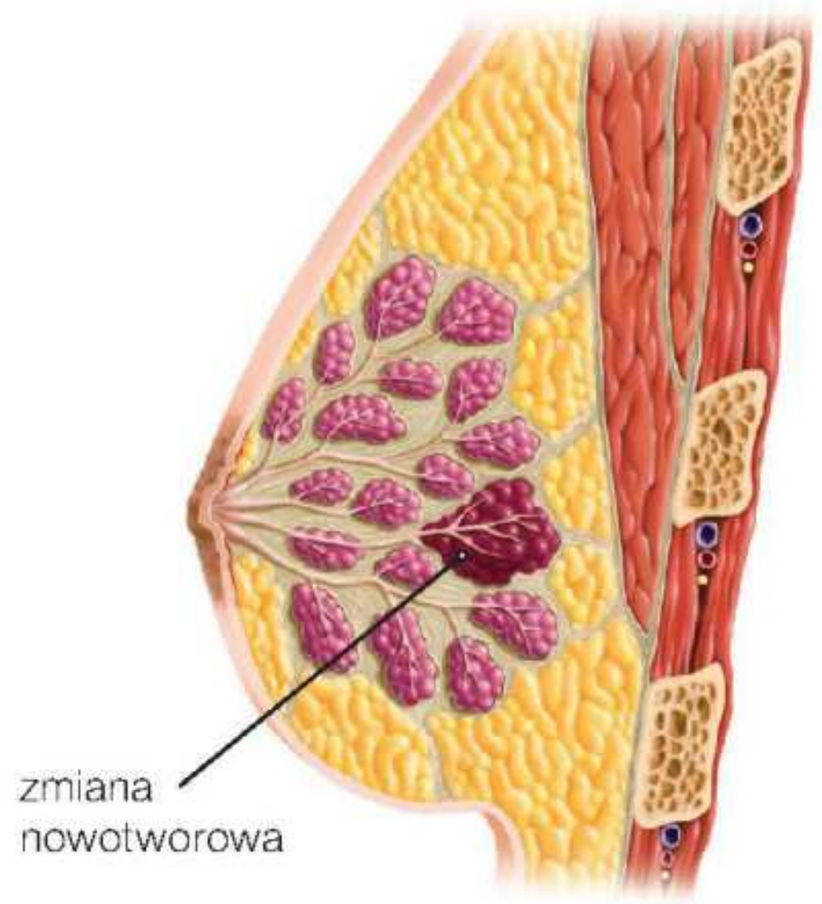
Komórki nowotworowe w piersi (obraz spod mikroskopu optycznego).

To było w szkole podstawowej!

Rak piersi

Rak piersi to nowotwór złośliwy wywodzący się z komórek nabłonkowych budujących gruczoł mlekowy. Choroba ta dotyczy głównie kobiet, jednak może wystąpić również u mężczyzn.

- **Przyczyna:** niekontrolowane dzielenie się komórek wywołane zmianami w materiale genetycznym.
  Czynniki ryzyka:
  – uwarunkowania genetyczne,
  – zachorowania na raka piersi w rodzinie,
  – wiek – ryzyko zachorowania wzrasta wraz z wiekiem,
  – niezdrowy tryb życia (np. nieprawidłowa dieta, picie alkoholu, palenie papierosów),
  – stosowanie leków hormonalnych i hormonalnych środków antykoncepcyjnych,
  – otyłość.
- **Profilaktyka:**
  – prowadzenie zdrowego stylu życia,
  – samobadanie piersi, czyli regularnie wykonywana obserwacja zmian kształtu, położenia i zabarwienia brodawki sutkowej oraz przede wszystkim – zgrubień lub guzków w obrębie obu piersi oraz w okolicy pach,
  – regularne konsultacje lekarskie i wykonywanie badań kontrolnych, np. USG piersi i mammografii.



Zmiany nowotworowe rozwijają się w tkance gruczołowej piersi.

Te choroby warto znać

Choroby nowotworowe układu rozrodczego

Do chorób nowotworowych układu rozrodczego mężczyzn należą: **nowotwór jądra** oraz **rak gruczołu krokowego** (rak prostaty). U kobiet, obok **raka piersi**, najczęściej występują: **rak szyjki macicy** i **rak jajnika**.

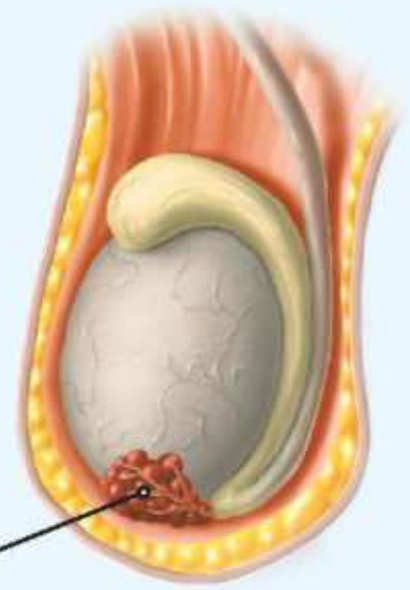
- **Przyczyny:** zmiany w materiale genetycznym, powodujące niekontrolowane dzielenie się komórek.
  Czynniki ryzyka:
  – uwarunkowania genetyczne,
  – wiek,
  – czynniki środowiskowe, m.in. niezdrowa dieta i stosowanie używek.

Nowotwór jądra

Nowotwory jąder to najczęściej występujące nowotwory u mężczyzn w wieku od 20 do 44 lat. Rozwijają się głównie z komórek nabłonka plemnikotwórczego i tworzą nowotwory zarodkowe jądra, charakteryzujące się dużym ryzykiem przerzutów do innych narządów.

- **Profilaktyka:** regularne samobadanie jąder, odpowiednia dieta, niestosowanie używek, unikanie urazów mechanicznych jąder.
- **Objawy:** powiększenie jądra i moszny, ból brzucha lub pleców w okolicy lędźwiowej, uczucie ciężaru w mosznie.

Diagnostyka:
– badania USG jąder,
– biopsja i badanie histopatologiczne.



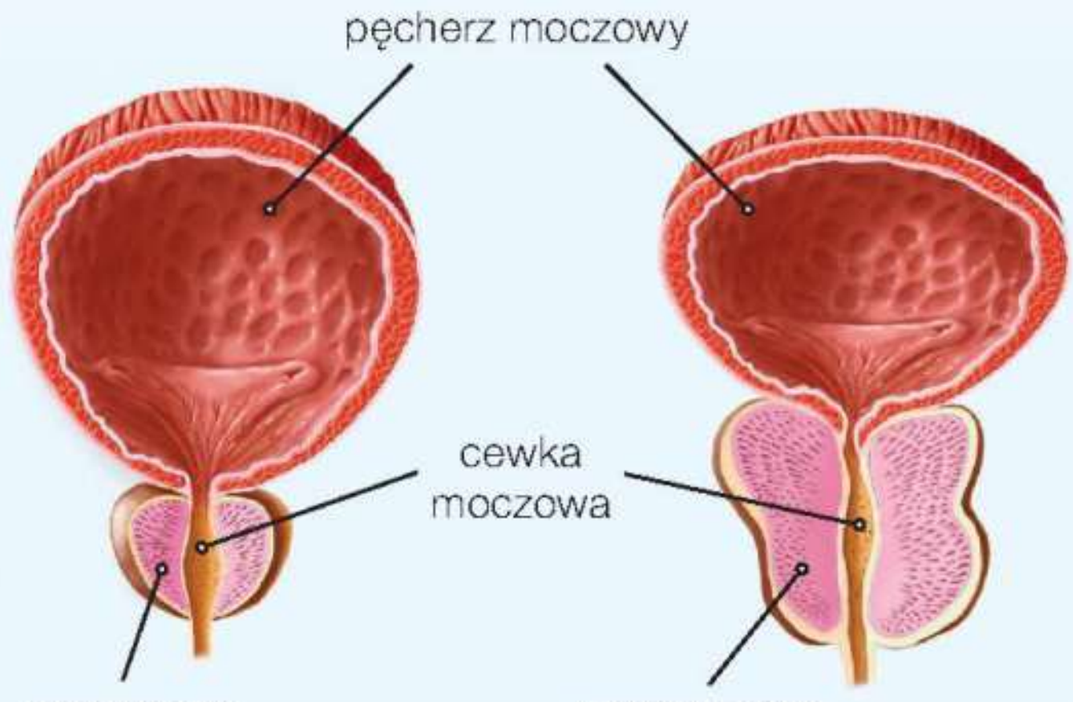
Jądro ze zmianą nowotworową.

Przerost i rak gruczołu krokowego (prostaty)

Łagodny przerost prostaty dotyczy co drugiego mężczyzny po 55. roku życia. W niektórych przypadkach przerost gruczołu krokowego może prowadzić do rozwoju **raka prostaty**. Ryzyko wystąpienia raka prostaty wzrasta wraz z wiekiem – najczęściej jest on rozpoznawany ok. 70. roku życia.

- **Profilaktyka:** brak.
- **Objawy:** częste oddawanie małych ilości moczu, zmniejszony strumień oddawanego moczu, uczucie niecałkowitego opróżnienia pęcherza moczowego, problemy ze wzwodem i ból podczas ejakulacji.

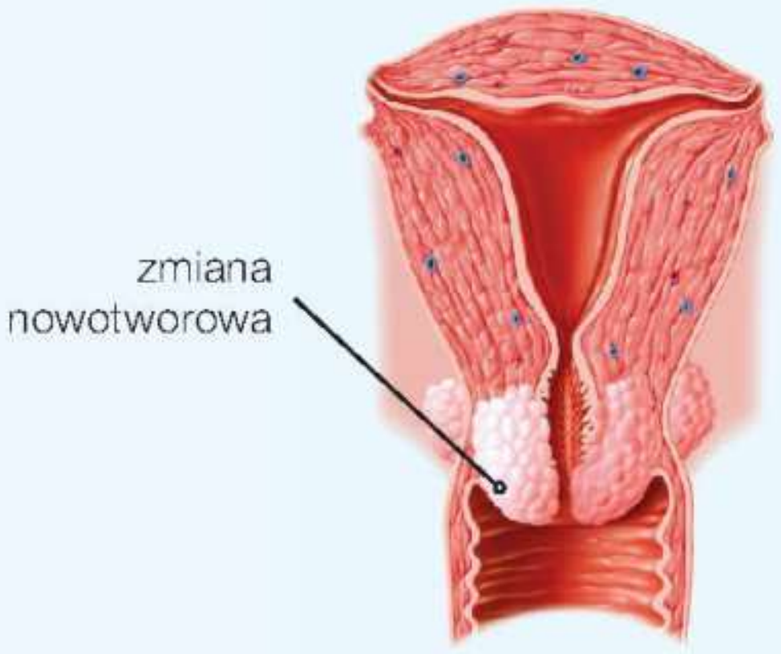
Diagnostyka:
– badanie *per rectum* (przez odbytnicę),
– badanie poziomu antygenu PSA (charakterystycznego m.in. dla raka gruczołu krokowego),
– USG jamy brzusznej.



Przerost prostaty powoduje ucisk pęcherza i cewki moczowej, co może utrudniać opróżnianie pęcherza i powodować ból podczas oddawania moczu.

Rak szyjki macicy

Rak szyjki macicy jest najczęściej występującym nowotworem żeńskiego układu rozrodczego. Wcześnie wykryty jest prawie całkowicie wyleczalny. Zwykle wykrywa się go u kobiet w wieku 40–55 lat, ale mogą na niego zachorować osoby w innym wieku. Głównym czynnikiem ryzyka rozwoju nowotworu jest przewlekła infekcja **wirusem brodawczaka ludzkiego (HPV)**. Wirus ten powoduje trwałe zmiany w DNA komórek nabłonkowych szyjki macicy, co prowadzi do rozwoju nowotworu.



Szyjka macicy ze zmianami nowotworowymi.

- **Profilaktyka:** regularne wykonywanie badań cytologicznych i ginekologicznych, szczepienie przeciwko wybranym typom HPV, odpowiednia dieta i regularny wysiłek fizyczny.
- **Objawy:** krwawienia z dróg rodnych poza okresem menstruacji, upławy (nadmierna wydzielina z pochwy o nieprzyjemnym zapachu), ból podbrzusza i pleców, dłuższe i bardziej obfite miesiączki.

Diagnostyka:
– USG jamy brzusznej,
– badania ginekologiczne,
– badanie cytologiczne,
– badania krwi (markery nowotworowe).



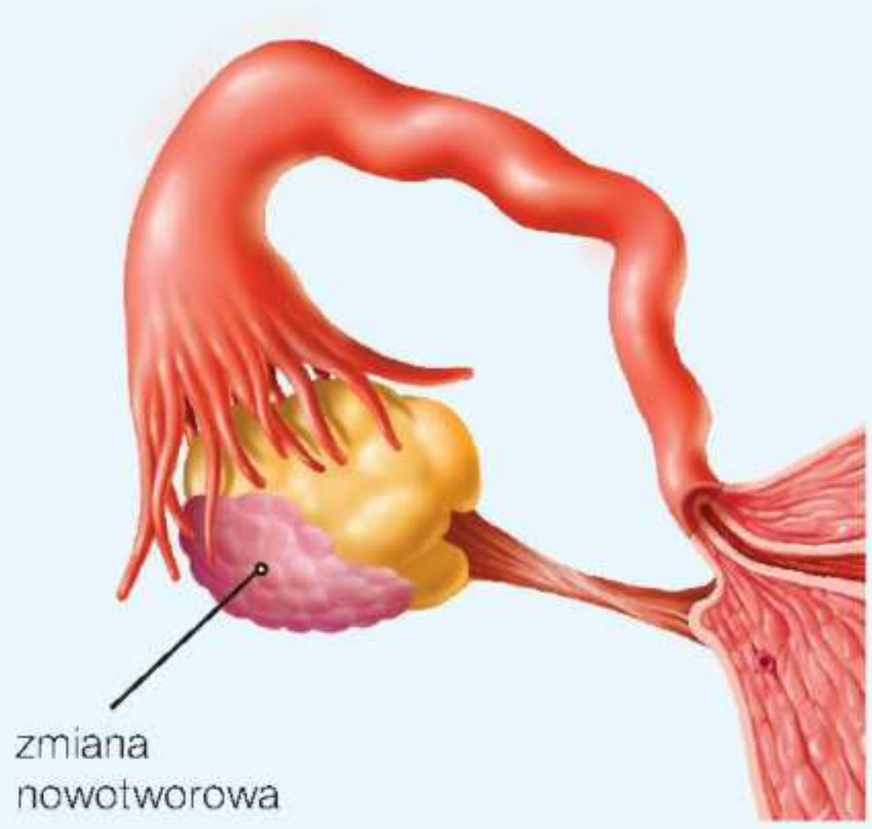
Szczepionka przeciwko HPV, przyjęta zwłaszcza przed rozpoczęciem życia seksualnego, skutecznie chroni przed zakażeniem wybranymi typami tego wirusa.

Rak jajnika

Rak jajnika to nowotwór złośliwy, który często nie daje objawów we wczesnych stadiach. W szybkim tempie tworzy przerzuty – rozprzestrzenia się po innych narządach w jamie brzusznej. Ryzyko rozwoju raka jajnika wzrasta wraz z wiekiem.

- **Profilaktyka:** regularne wizyty kontrolne u ginekologa, unikanie używek (zwłaszcza palenia tytoniu), utrzymywanie prawidłowej masy ciała.
- **Objawy:** wzdęcia, uczucie pełności w brzuchu, krwawienia z dróg rodnych poza okresem menstruacji, dłuższe i bardziej obfite miesiączki, uczucie ucisku w miednicy.

Diagnostyka:
– badanie USG jamy brzusznej,
– badania ginekologiczne,
– badania krwi (markery nowotworowe).



Jajnik ze zmianą nowotworową.

Te choroby warto znać

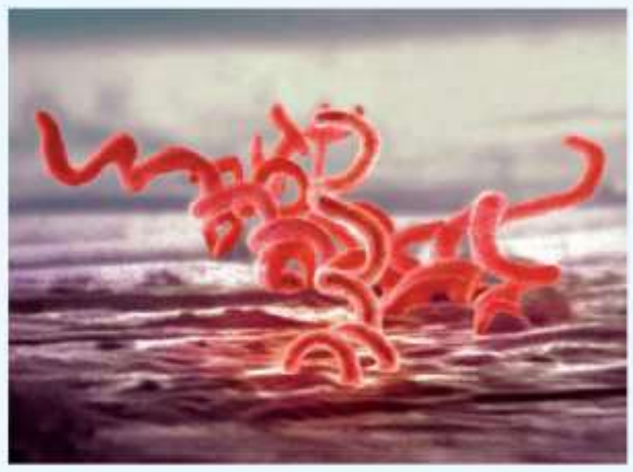
Choroby przenoszone drogą płciową

Choroby przenoszone drogą płciową (choroby weneryczne) są wywoływane przez chorobotwórcze wirusy oraz mikroorganizmy, takie jak bakterie, protisty lub grzyby.

Kiła

Kiła (syfilis) to choroba bakteryjna, która może powodować poważne uszkodzenia narządów wewnętrznych.

- **Przyczyna:** zakażenie bakterią – krętkiem bladym – podczas kontaktu seksualnego. Bakterie mogą też przeniknąć z ciała matki do organizmu dziecka w czasie ciąży (kiła wrodzona).
- **Profilaktyka:** używanie prezerwatyw oraz unikanie przypadkowych stosunków seksualnych.
- **Objawy:** owrzodzenia na zewnętrznych narządach płciowych, powiększenie węzłów chłonnych, plamista wysypka. W dalszych stadiach – uszkodzenia mózgu, serca i kości.



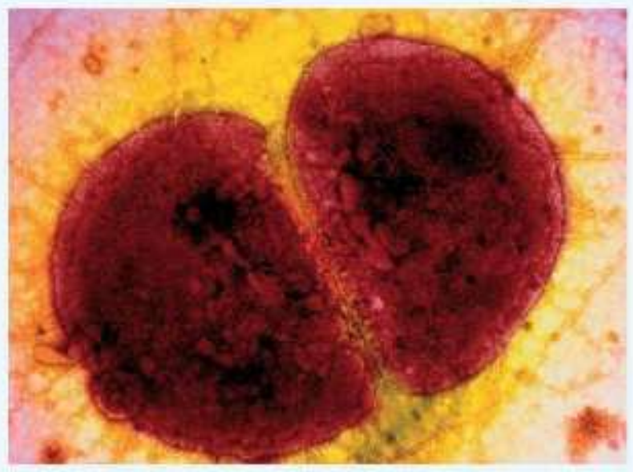
Krętek blady (obraz spod SEM).

Diagnostyka:
– badania krwi wykrywające przeciwciała przeciwko krętkowi blademu.

Rzeżączka

Rzeżączka to choroba bakteryjna. U dorosłych może prowadzić do bezpłodności, u noworodków – do ślepoty.

- **Przyczyna:** zakażenie bakterią dwoinką rzeżączki podczas kontaktu seksualnego. Noworodki mogą zarazić się chorobą od matki w czasie porodu.
- **Profilaktyka:** używanie prezerwatyw, unikanie przypadkowych stosunków seksualnych, badanie kobiet w ciąży pod kątem występowania choroby.
- **Objawy:** u mężczyzn – ból przy oddawaniu moczu, ropny wyciek z cewki moczowej, obrzęk najądrzy, świąd skóry w okolicach narządów płciowych. U kobiet – obfite upławy, świąd skóry w okolicach narządów płciowych, krwawienia z dróg rodnych, bóle brzucha.



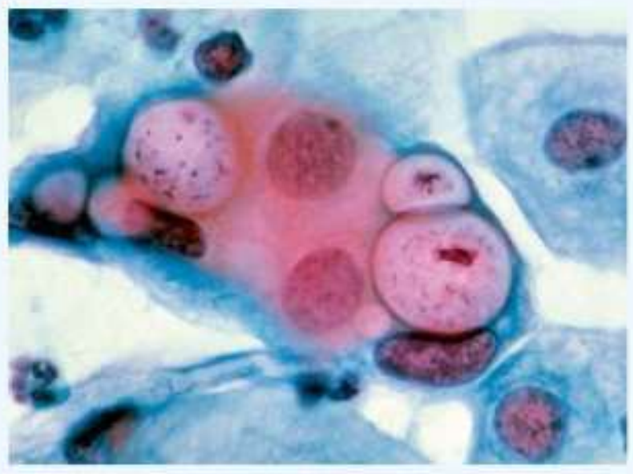
Dwoinka rzeżączki (obraz spod TEM).

Diagnostyka:
– wymaz z cewki moczowej (mężczyźni) lub pochwy (kobiety).

Chlamydioza

Chlamydiozy to jedne z najczęstszych zakażeń przenoszonych drogą płciową.

- **Przyczyna:** zakażenie bakterią *Chlamydia trachomatis* podczas kontaktu seksualnego. Możliwe jest również przeniesienie patogenu z matki na dziecko podczas porodu.
- **Profilaktyka:** używanie prezerwatyw, unikanie przypadkowych stosunków seksualnych.
- **Objawy:** u mężczyzn – wyciek z cewki moczowej, dyskomfort podczas oddawania moczu. U kobiet – obfite upławy, ból podbrzusza, dyskomfort podczas oddawania moczu.
U noworodków – zapalenie płuc i infekcja oczu.



Chlamydia trachomatis (obraz spod mikroskopu świetlnego).

Diagnostyka:
– wymaz z cewki moczowej lub pochwy,
– badania krwi wykrywające przeciwciała przeciwko *Chlamydia* sp.

Rzęsistkowica

Rzęsistkowica to choroba powodowana przez pasożytnicze protisty. Nieleczona może prowadzić do niepłodności.

- **Przyczyna:** zakażenie protistem – rzęsistkiem pochwowym. Do zakażenia dochodzi w czasie kontaktów seksualnych lub przez przedmioty higieny osobistej.
- **Profilaktyka:** używanie prezerwatyw, unikanie przypadkowych stosunków seksualnych, używanie wyłącznie własnych przedmiotów higieny osobistej.
- **Objawy:** u mężczyzn – zazwyczaj brak objawów, czasami występuje dyskomfort podczas oddawania moczu oraz obrzęk moszny. U kobiet – ból podczas oddawania moczu, świąd i ból pochwy, obfite upławy.



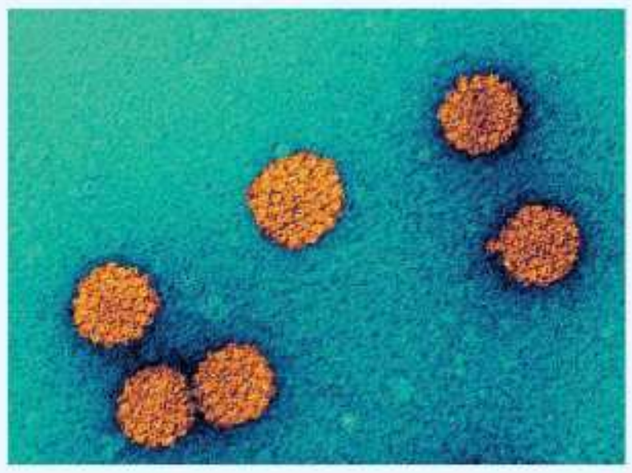
Rzęsistek pochwowy (obraz spod SEM).

Diagnostyka:
– wymaz z cewki moczowej lub pochwy,
– badanie moczu.

Zakażenia wirusem brodawczaka ludzkiego (HPV)

Przewlekła infekcja niektórymi typami wirusa brodawczaka ludzkiego (HPV) może być przyczyną rozwoju raka szyjki macicy.

- **Przyczyna:** wirusy brodawczaka ludzkiego (HPV). Do zakażenia dochodzi przez stosunek seksualny lub używanie cudzych przedmiotów higieny osobistej i bielizny.
- **Profilaktyka:** szczepienia ochronne, używanie prezerwatyw, unikanie przypadkowych stosunków seksualnych, używanie wyłącznie własnych przedmiotów higieny osobistej oraz bielizny.
- **Objawy:** zazwyczaj brak objawów. W późnym stadium mogą pojawić się zmiany brodawkowate, świąd, pieczenie okolic intymnych oraz upławy.



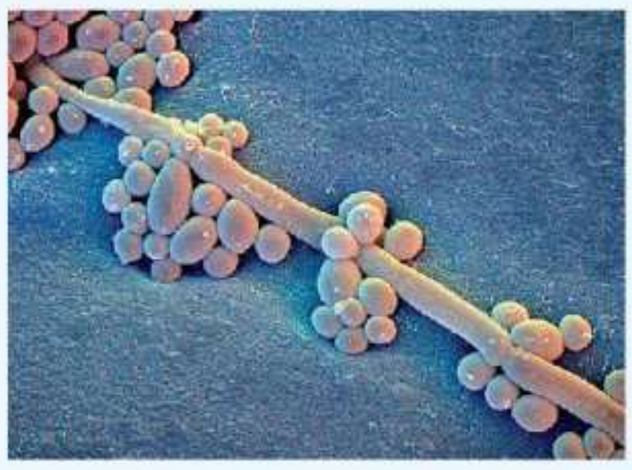
Wirus HPV (obraz spod TEM).

Diagnostyka:
– badania cytologiczne,
– testy molekularne wykrywające obecność materiału genetycznego wirusa.

Grzybice narządów płciowych

Grzybice narządów płciowych są często występującymi i nawracającymi chorobami narządów układu rozrodczego.

- **Przyczyna:** grzyby chorobotwórcze – zazwyczaj drożdżaki należące do rodzaju *Candida*. Mikroorganizmy te stanowią naturalny element mikrobiomu organizmu. W przypadku zaburzenia równowagi organizmu i zniszczenia mikrobiomu (np. w wyniku antybiotykoterapii) grzyby zaczynają intensywnie się namnażać, co powoduje rozwój choroby.
- **Profilaktyka:** spożywanie probiotyków, odpowiednia higiena narządów płciowych oraz noszenie bielizny z naturalnych materiałów.
- **Objawy:** u mężczyzn – zazwyczaj brak objawów, czasami występuje uczucie pieczenia, wysypka oraz białawy nalot na żołędzi prącia. U kobiet – podrażnienie błony śluzowej pochwy, zaczerwienienie i obrzęk zewnętrznych narządów płciowych, świąd, ból i upławy zawierające białe grudki.



Bielnik biały (obraz spod SEM).

Diagnostyka:
– wymaz z pochwy lub cewki moczowej,
– badanie mykologiczne (w kierunku wykrycia grzybów).

Dowiedz się więcej

Zespół policystycznych jajników

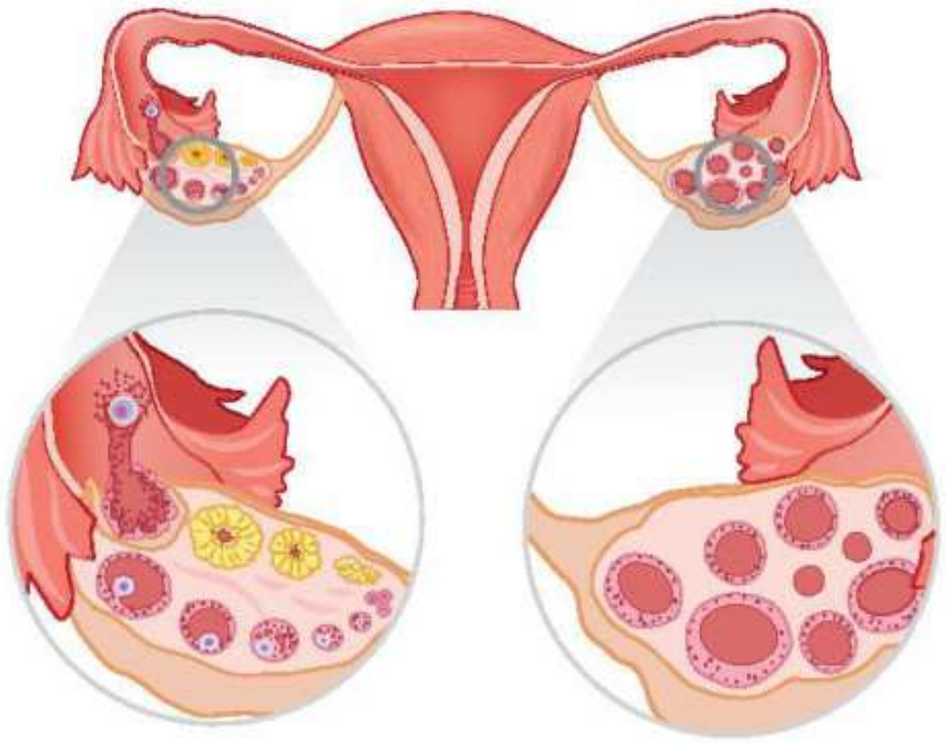
Zespół policystycznych jajników (PCOS) jest uznawany za jedno z najczęstszych schorzeń endokrynologicznych wśród kobiet w wieku rozrodczym.

Objawy PCOS

Główne objawy PCOS:

- podwyższony poziom męskich hormonów płciowych, który prowadzi do problemów z nadmiernym owłosieniem i trądziku,
- liczne torbiele w obrębie jajników,
- nieregularne cykle miesiączkowe, często połączone z brakiem owulacji.

U większości kobiet cierpiących na to zaburzenie występuje zjawisko **insulinooporności**, czyli zmniejszenia wrażliwości komórek na insulinę. Zjawisko to sprzyja przybieraniu na wadze, rozwojowi cukrzycy typu II oraz rozwojowi chorób układu krążenia.



Jajnik prawidłowy. **Jajnik policystyczny.**

U kobiet chorujących na PCOS dochodzi do zaburzeń oogenezy i braku owulacji.

Diagnostyka i leczenie

Do zdiagnozowania PCOS konieczne jest wykonanie wielu badań, m.in. USG narządów rodnych i analiz krwi (badanie poziomu hormonów oraz badanie w kierunku insulinooporności).
Leczenie PCOS opiera się głównie na łagodzeniu objawów i farmakologicznej regulacji insulinooporności oraz cyklu menstruacyjnego. Pozytywne efekty daje również redukcja nadwagi.



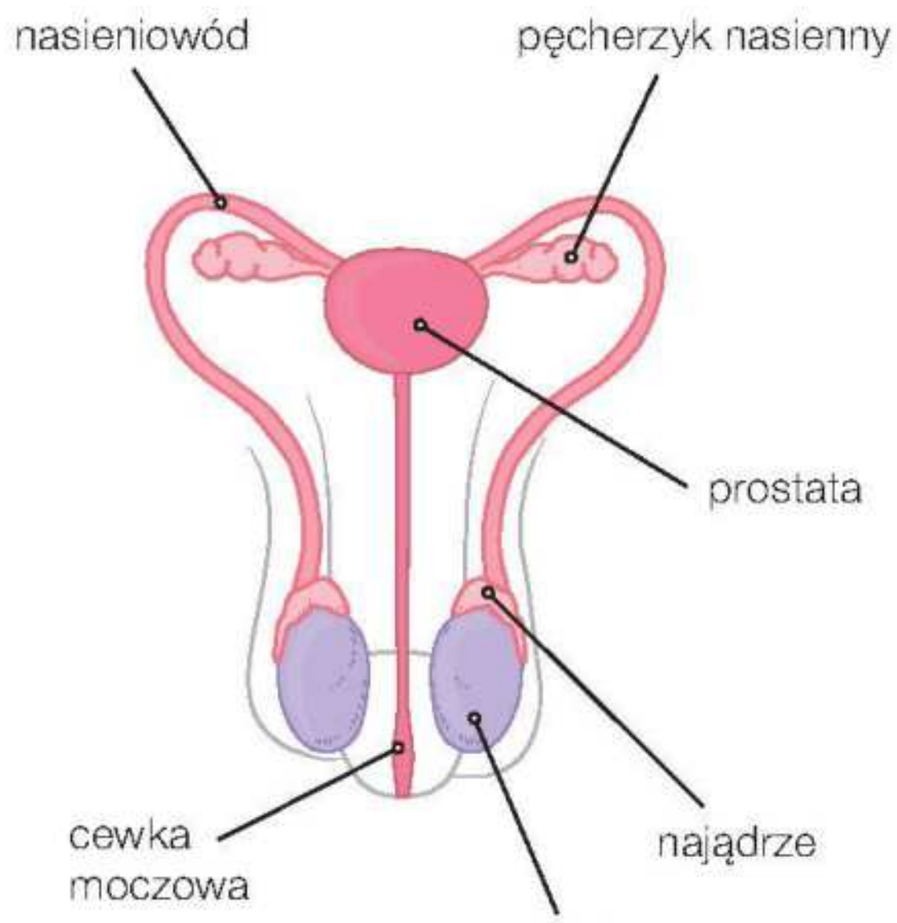
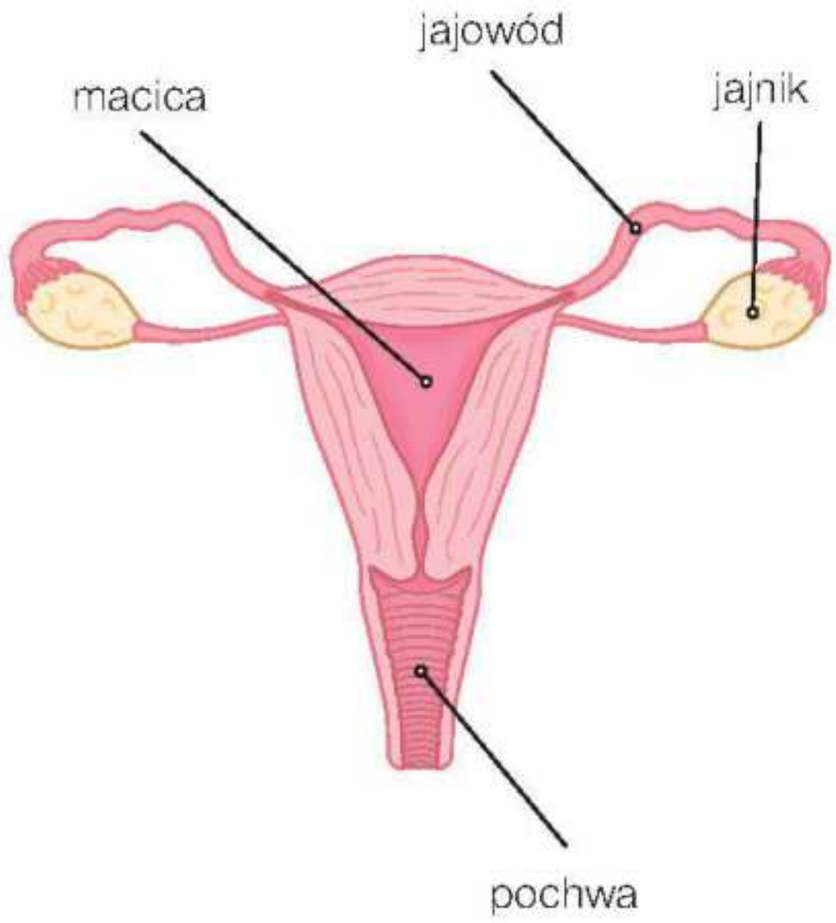
PCOS jest jedną z najczęstszych przyczyn niepłodności kobiet.

Polecenia kontrolne

1. Podaj trzy zalecenia, których przestrzeganie pozwala zachować odpowiednią higienę miejsc intymnych.
2. Wymień trzy czynniki, które sprzyjają zarażeniu się chorobami przenoszonymi drogą płciową.
3. Opisz metody diagnostyczne, które umożliwiają wykrycie:
   a. raka prostaty,
   b. raka szyjki macicy,
   c. rzęsistkowicy.
4. Wyjaśnij, dlaczego jednym z objawów przerostu prostaty są trudności z oddawaniem moczu.

Podsumowanie

1 Budowa męskiego i żeńskiego układu rozrodczego

<table>
<tr><th>Męski układ rozrodczy</th><th>Żeński układ rozrodczy</th></tr>
<tr><td colspan="2">narządy zewnętrzne</td></tr>
<tr><td>• prącie
• moszna</td><td>• srom (wzgórek łonowy, wargi sromowe większe i mniejsze, łechtaczka)</td></tr>
<tr><td colspan="2">narządy wewnętrzne</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
</table>

2 Funkcje męskich i żeńskich narządów rozrodczych

Funkcje męskich narządów rozrodczych	
Jądra	Wytwarzają plemniki i męskie hormony płciowe, m.in. testosteron.
Najądrza	Są miejscem dojrzewania i magazynowania plemników.
Nasieniowody	Doprowadzają plemniki z najądrzy do cewki moczowej.
Cewka moczowa	Wyprowadza nasienie (lub mocz) na zewnątrz ciała.
Prącie	Wprowadza nasienie do dróg rodnych kobiety.
Pęcherzyki nasienne	Produkują wydzielinę, która zawiera substancje odżywcze dla plemników.
Gruczoł krokowy	Produkuje wydzielinę, która zawiera enzymy niezbędne do upłynnienia nasienia.
Funkcje żeńskich narządów rozrodczych	
Jajniki	Wytwarzają oocyty II rzędu i żeńskie hormony płciowe – estrogeny i progesteron.
Jajowody	Umożliwiają przemieszczanie się żeńskiej komórki płciowej lub zarodka do macicy.
Macica	Zapewnia odpowiednie warunki do rozwoju zarodka, a następnie płodu.
Pochwa	Umożliwia wprowadzenie nasienia do organizmu kobiety, usuwanie krwi menstruacyjnej i wydostanie się noworodka na zewnątrz ciała kobiety.

3 Cykl menstruacyjny (cykl miesiączkowy) – zespół cyklicznych, złożonych i zależnych od siebie przemian zachodzących w organizmie kobiety, związanych z dojrzewaniem i uwalnianiem oocytów II rzędu. Jest on regulowany przez hormony przysadki: **hormon folikulotropowy** (FSH) i **hormon luteinizujący** (LH) oraz hormony wydzielane przez jajniki: **estrogeny** i **progesteron**.

Zmiany w jajniku		
1.–13. dzień	**14. dzień**	**15.–28. dzień**
stadium pęcherzykowe • dojrzewanie pęcherzyka jajnikowego, który wytwarza estrogeny	**owulacja** • pęknięcie pęcherzyka Graafa i uwolnienie oocytu II rzędu	**stadium lutealne** • wydzielanie progesteronu przez ciałko żółte • przy braku ciąży – stopniowe zanikanie ciałka żółtego, co powoduje spadek poziomu progesteronu

Zmiany w błonie śluzowej macicy			
1.–5. dzień	**6.–14. dzień**	**15.–27. dzień**	**28. dzień**
faza miesiączkowa • krwawienie miesiączkowe, które zachodzi w wyniku złuszczania się błony śluzowej	**faza odbudowy** • odnowienie błony śluzowej i zwiększenie jej grubości	**faza wydzielnicza** • dalsze pogrubienie błony śluzowej i jej rozrost	**faza martwicza** • przy braku ciąży – niedokrwienie błony śluzowej macicy i martwica komórek

4 Syntetyczne żeńskie hormony płciowe – wytwarzane sztucznie hormony, które stosuje się m.in. w przypadku zaburzeń cyklu menstruacyjnego.

5 Funkcje łożyska, błon płodowych i pęcherzyka żółtkowego

Element	Funkcja
Łożysko	• Umożliwia wymianę substancji między organizmem matki a płodem. • Wydziela hormony niezbędne do prawidłowego przebiegu ciąży, m.in. progesteron, gonadotropinę kosmówkową oraz estrogeny. • Ochronia dziecko przed przenikaniem do jego organizmu wielu szkodliwych substancji i drobnoustrojów chorobotwórczych.
Owodnia	• Tworzy jamę wypełnioną płynem owodniowym, który amortyzuje wstrząsy, zapewnia właściwą temperaturę i ułatwia dziecku wykonywanie ruchów.
Kosmówka	• Pośredniczy w wymianie substancji między matką a dzieckiem. • Współtworzy łożysko.
Omocznia	• Uczestniczy w tworzeniu naczyń krwionośnych występujących w pępowinie.
Pęcherzyk żółtkowy	• W rozwoju zarodkowym wytwarza elementy morfotyczne krwi i gonocyty.

6 Czynniki wpływające na przebieg ciąży:

- dieta matki,
- używki i leki stosowane przez matkę,
- stan psychiczny matki,
- drobnoustroje chorobotwórcze,
- promieniowanie, np. rentgenowskie i UV,
- zanieczyszczenie środowiska.

7 **Rozwój prenatalny** – okres życia człowieka od poczęcia do narodzin.

Rozwój prenatalny

rozwój zarodkowy	rozwój płodowy
Trwa od momentu powstania zygoty do wykształcenia zawiązków wszystkich narządów, czyli przez pierwsze 8 tygodni ciąży.	Trwa od momentu wykształcenia się zawiązków narządów do porodu, czyli od ok. 9. do 40. tygodnia ciąży.

8 **Rozwój postnatalny** – obejmuje okresy: noworodkowy, niemowlęcy, poniemowlęcy, dzieciństwa, dojrzewania, dorosłości, przekwitania i starości.

9 **Choroby nowotworowe układu rozrodczego**

Choroba	Objawy	Profilaktyka
Nowotwór jądra	• powiększenie jądra i moszny • ból brzucha lub okolicy lędźwiowej • uczucie ciężaru w mosznie	• regularne samobadanie jąder • odpowiednia dieta • niestosowanie używek • unikanie urazów mechanicznych jąder
Rak prostaty	• częste oddawanie małych ilości moczu • zmniejszony strumień moczu • uczucie niecałkowitego opróżnienia pęcherza	• nielekceważenie początkowych objawów choroby i regularne wykonywanie badań diagnostycznych
Rak szyjki macicy	• krwawienia z dróg rodnych poza okresem menstruacji • upławy • dłuższe i bardziej obfite miesiączki • ból podbrzusza i pleców	• regularne wykonywanie badań cytologicznych i ginekologicznych • szczepienie przeciwko wybranym typom wirusa HPV • zdrowy tryb życia
Rak jajnika	• wzdęcia • uczucie pełności w brzuchu • nieprawidłowe krwawienia z dróg rodnych • uczucie ucisku w miednicy	• regularne wizyty kontrolne u ginekologa • zdrowy tryb życia

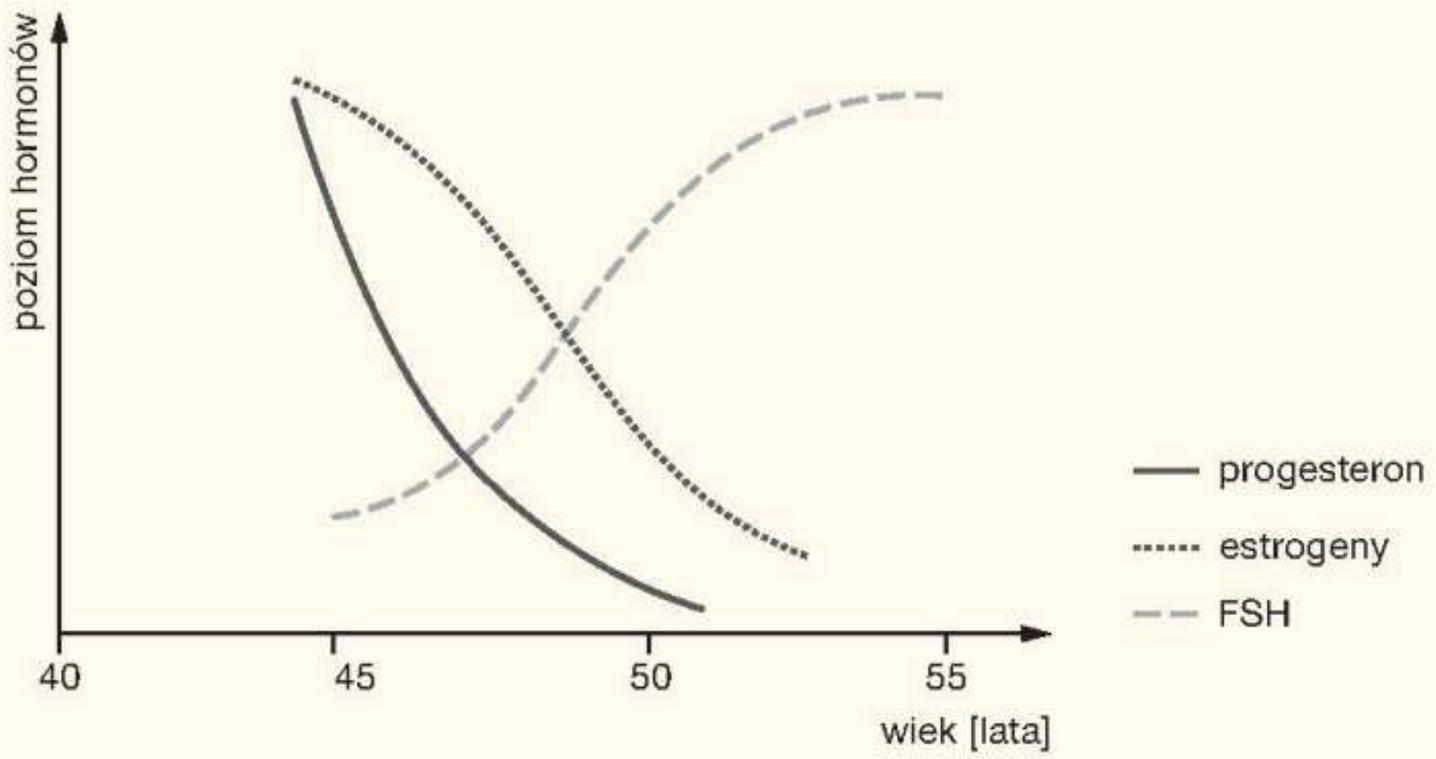
10 **Chorobami przenoszonymi drogą płciową** można zarazić się podczas kontaktów seksualnych.

Przykłady chorób przenoszonych drogą płciową	Patogeny wywołujące chorobę
Kiła	bakteria krętek blady
Rzeżączka	bakteria dwoinka rzeżączki
Chlamydioza	bakteria *Chlamydia trachomatis*
Rzęsistkowica	protist rzęsistek pochwowy
Zakażenia wirusem brodawczaka ludzkiego	wirus brodawczaka ludzkiego (HPV)
Grzybice	zazwyczaj drożdżaki należące do rodzaju *Candida*

Sposób na zadania

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Wykres przedstawia zmiany poziomu hormonów – FSH, estrogenów i progesteronu – w okresie około-menopauzalnym.



Na podstawie: D. Wojnowska, M. Juszkiewicz-Borowiec, G. Chodorowska, *Wpływ menopauzy na starzenie się skóry*, „Postępy Dermatologii i Alergologii" 2006, 23 (3), s. 149–156.

a) Wyjaśnij, co oznacza termin *menopauza*.

b) Na podstawie wykresu oceń, czy poniższe stwierdzenia dotyczące zmian hormonalnych w okresie okołomenopauzalnym są prawdziwe. Zaznacz P, jeśli stwierdzenie jest prawdziwe, albo F – jeśli jest fałszywe.

1.	W okresie okołomenopauzalnym zmniejsza się wrażliwość jajników na działanie hormonów przysadki.	P	F
2.	W okresie okołomenopauzalnym poziom estrogenów spada szybciej niż poziom progesteronu.	P	F
3.	W okresie okołomenopauzalnym poziom FSH rośnie wraz z wiekiem.	P	F

c) Podaj nazwę hormonu przysadkowego, innego niż FSH, który wpływa na pracę jajników.

d) Dokończ zdanie. Wybierz odpowiedź A lub B oraz jej uzupełnienie 1–3.

Menopauza zwiększa ryzyko osteoporozy, ponieważ w czasie jej zachodzenia spada poziom

A.	estrogenów odpowiedzialnych	za	1.	regulację poziomu glukozy w surowicy krwi.
B.	progesteronu odpowiedzialnego		2.	stymulację odkładania wapnia w kościach.
			3.	zwiększanie krzepliwości krwi.

Wskazówki

Podpunkt a)

1. Przypomnij sobie wiadomości dotyczące menopauzy. Informacje na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 454.
2. Zwróć uwagę, że polecenie wymaga podania znaczenia terminu *menopauza*, a nie przyczyn i konsekwencji tego etapu.
3. Sformułuj odpowiedź.

Podpunkt b)

1. Przypomnij sobie wiadomości dotyczące kontroli hormonalnej cyklu miesiączkowego i pracy jajników. Informacje na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 452.
2. Zastanów się, jak hormony przysadki wpływają na wydzielanie estrogenów i progesteronu przez jajniki przed okresem okołomenopauzalnym.
3. Przeanalizuj wykres. Sprawdź wzajemny stosunek poziomu hormonu przysadkowego i hormonów płciowych. Zastanów się, czy stosunek ten oznacza wzrost czy spadek wrażliwości jajników na działanie hormonów przysadki. Zaznacz odpowiednią literę.
4. Przeanalizuj wykres zamieszczony we wstępie do zadania. Odszukaj na nim linie oznaczające poziom estrogenów i progesteronu.
5. Porównaj zmiany stężenia estrogenów ze zmianami stężenia progesteronu i zastanów się, czy drugie stwierdzenie jest prawdziwe. Zaznacz odpowiednią literę.
6. Odszukaj na wykresie linię oznaczającą zmiany poziomu FSH. Oceń prawdziwość trzeciego stwierdzenia. Zaznacz odpowiednią literę.

Podpunkt c)

1. Przypomnij sobie wiadomości dotyczące kontroli hormonalnej cyklu miesiączkowego i pracy jajników. Informacje na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 452.
2. Zwróć szczególną uwagę na hormony przysadki kontrolujące pracę jajników.
3. Sformułuj odpowiedź.

Podpunkt d)

1. Przypomnij sobie wiadomości dotyczące osteoporozy. Informacje na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 99.
2. Zwróć szczególną uwagę na przyczyny osteoporozy.
3. Zastanów się, jaki jest związek między zmianami hormonalnymi zachodzącymi w czasie menopauzy a osteoporozą. Informacje na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 454.
4. Zaznacz właściwe odpowiedzi.

Zadania powtórzeniowe

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Jądra, najądrza i początkowe odcinki nasieniowodów są osłonięte moszną. Jest ona skórno-mięśniowym workiem zapewniającym utrzymywanie jąder w temperaturze optymalnej dla rozwoju plemników, czyli w temperaturze o ok. 2,5–4°C niższej od temperatury ciała. Pełnienie funkcji termoregulacyjnej umożliwia mosznie zbudowana z mięśni gładkich błona kurczliwa, która reguluje jego napięcie, a także brak podściółki tłuszczowej.

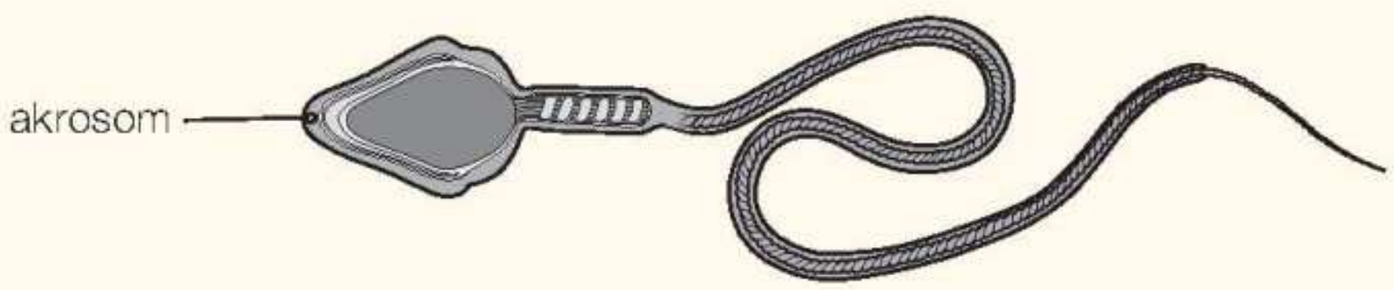
a) Wyjaśnij, w jaki sposób błona kurczliwa moszny zapewnia jądrom ochronę przed wychłodzeniem.

b) Wyjaśnij termoregulacyjne znaczenie braku podściółki tłuszczowej w worku mosznowym.

c) Wymień dwie funkcje najądrzy.

2 Nasienie to gęsty, nieprzezroczysty płyn o białawym zabarwieniu. W jego skład wchodzą plemniki oraz płyn nasienny, który jest mieszaniną wydzielin gruczołów dodatkowych.

Schemat przedstawia budowę plemnika.



a) Podaj nazwę części plemnika, w której znajdują się mitochondria.

b) Opisz funkcję akrosomu.

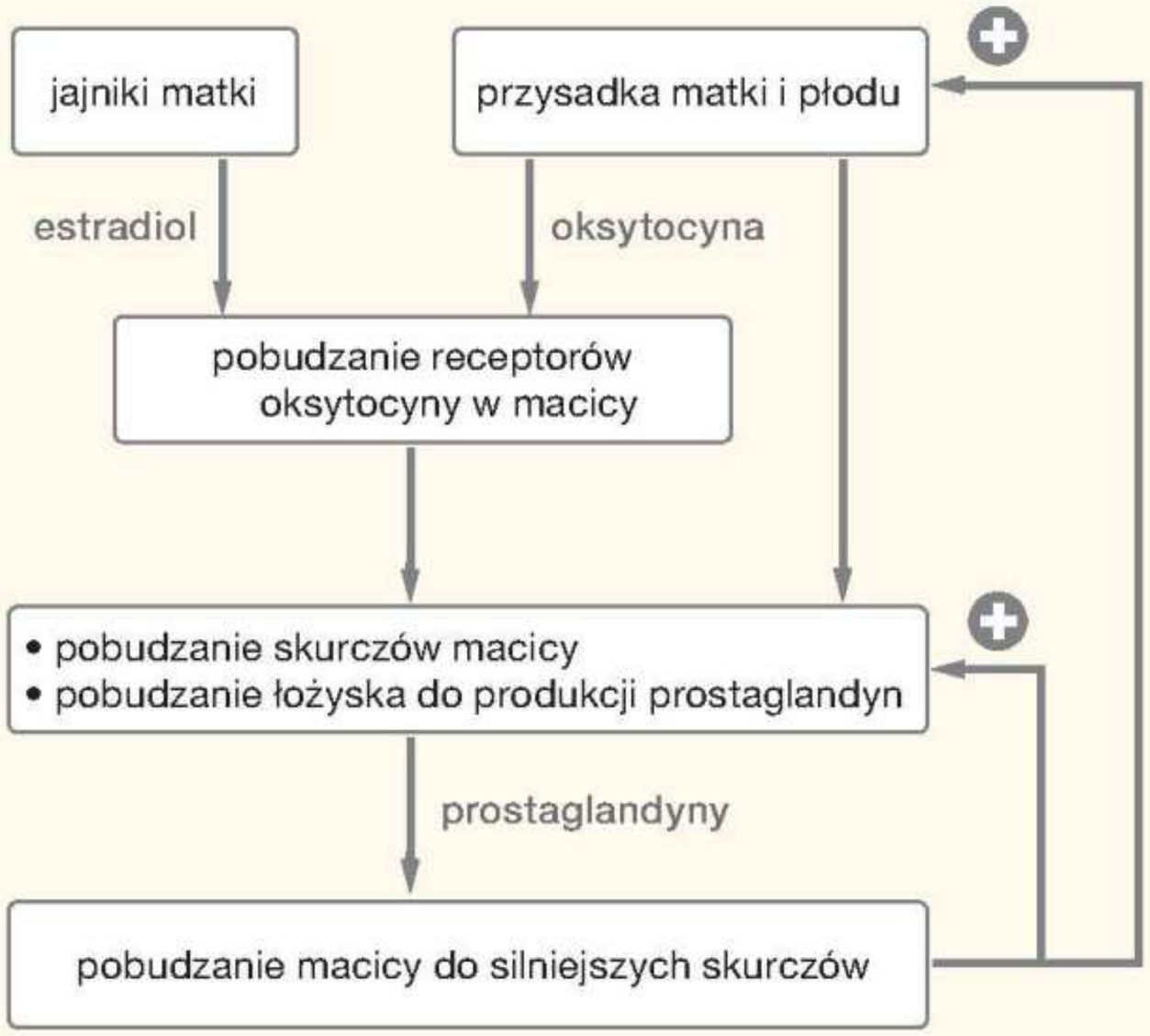
c) Określ, jaki składnik płynu nasiennego stanowi główny substrat energetyczny dla plemników, oraz podaj nazwę gruczołu dodatkowego, który go wydziela.

d) Podkreśl nazwy wszystkich komórek biorących udział w procesie spermatogenezy, które mają haploidalną liczbę chromosomów.

spermatocyty I rzędu, spermatocyty II rzędu, spermatogonia, spermatydy, plemniki

3 Poród to proces, który kończy rozwój prenatalny. Wyróżnia się trzy fazy porodu. Zasadniczą rolę podczas porodu odgrywa mechanizm dodatniego sprzężenia zwrotnego.

Na schemacie przedstawiono hormonalną indukcję i kontrolę przebiegu porodu.



Na podstawie: N.A. Campbell i in., *Biologia*, Poznań 2012, s. 1015.

a) Wyjaśnij, czym różni się mechanizm sprzężenia zwrotnego dodatniego od mechanizmu sprzężenia zwrotnego ujemnego.

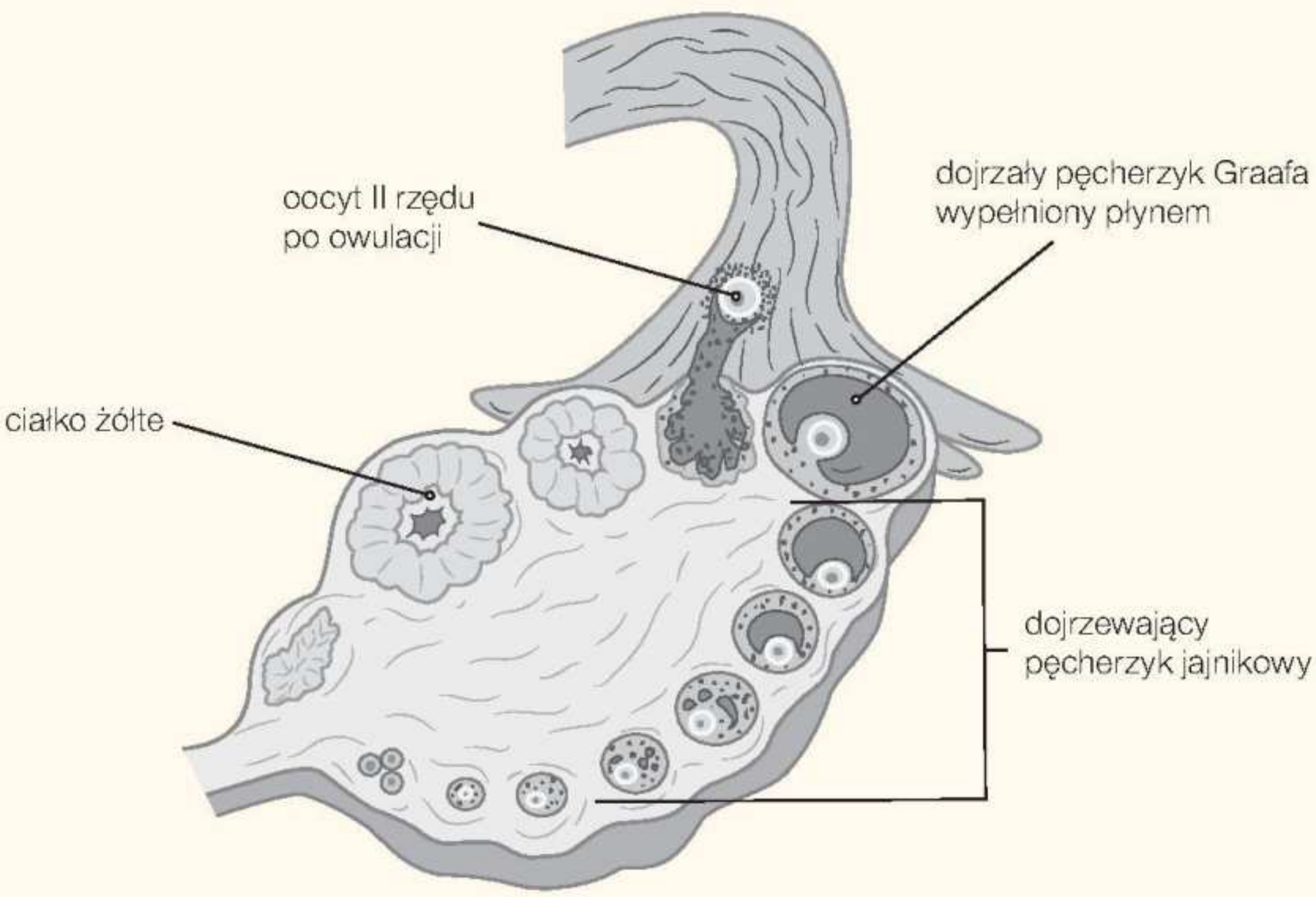
b) Opisz krótko fazę trzecią porodu.

c) Podaj przystosowanie w budowie czaszki płodu, które umożliwia przejście jego głowy przez kanał rodny podczas porodu.

d) Określ rolę oksytocyny wydzielanej w organizmie matki po zakończeniu porodu.

e) Podaj funkcję oksytocyny u mężczyzn.

4 Schemat przedstawia budowę wewnętrzną jajnika i jego zmiany podczas cyklu miesiączkowego.



a) Określ, którego rzędu żeńską cechą płciową są jajniki.

b) Podaj nazwę gromady kręgowców, u której występuje tylko jeden jajnik, oraz uzasadnij, że stanowi to przystosowanie przedstawicieli tej gromady do trybu życia.

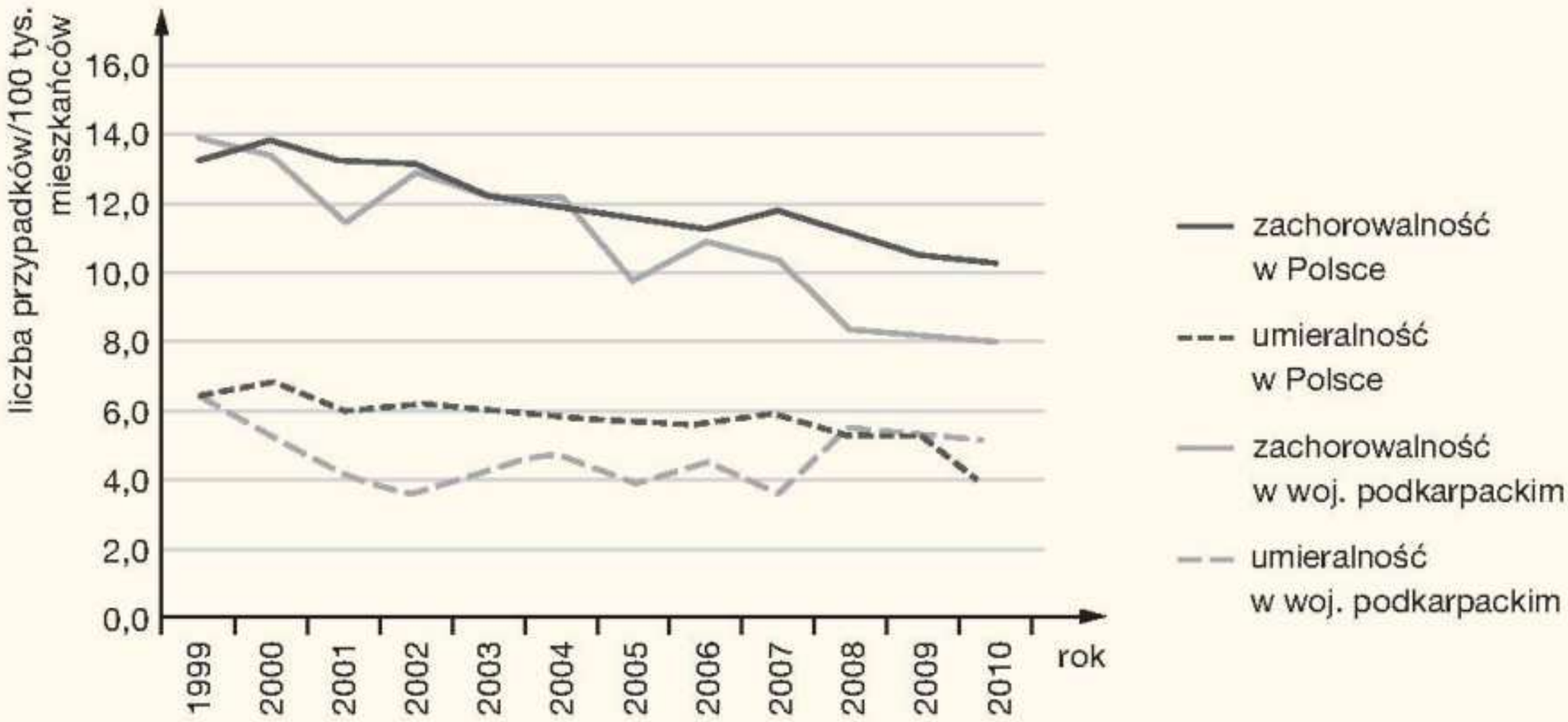
c) Określ, na jakim etapie mejozy zostaje zatrzymany oocyt II rzędu w momencie owulacji.

d) Uzupełnij poniższe zdania tak, aby zawierały prawdziwe informacje na temat pęcherzyków jajnikowych. Wybierz właściwe określenia spośród podanych.

1. Pęcherzyki jajnikowe powstają *przed urodzeniem, w okresie zarodkowym / w każdym cyklu miesiączkowym*.
2. W każdym cyklu miesiączkowym dojrzewa zazwyczaj *jeden pęcherzyk Graafa / kilka pęcherzyków Graafa*.
3. Przed owulacją komórki pęcherzyków jajnikowych wydzielają *estradiol / progesteron*.

e) Określ rolę ciałka żółtego po zapłodnieniu oocytu II rzędu.

5 Wykres przedstawia zachorowalność i umieralność na nowotwory złośliwe szyjki macicy wśród kobiet w Polsce i w województwie podkarpackim w latach 1999–2010.



Na podstawie: B. Karczmarek-Borowska, M. Grądalska-Lampart, *Zachorowalność i umieralność na raka szyjki macicy z uwzględnieniem skriningu w województwie podkarpackim w latach 1999–2010*, „Ginekologia Polska" 2013, 84 (11), s. 930–937.

a) Sformułuj wniosek dotyczący różnicy w umieralności na nowotwory złośliwe szyjki macicy wśród kobiet w Polsce i w województwie podkarpackim w latach 1999–2006.

b) Sformułuj wniosek dotyczący różnicy w zachorowalności na nowotwory złośliwe szyjki macicy wśród kobiet w Polsce między rokiem 1999 a rokiem 2010.

c) Podaj główny czynnik ryzyka rozwoju nowotworu szyjki macicy.

d) Zaznacz nazwę badania, które nie służy do diagnostyki nowotworów szyjki macicy.

A. Cytologia.

B. Mammografia.

C. USG jamy brzusznej.

D. Badanie ginekologiczne.

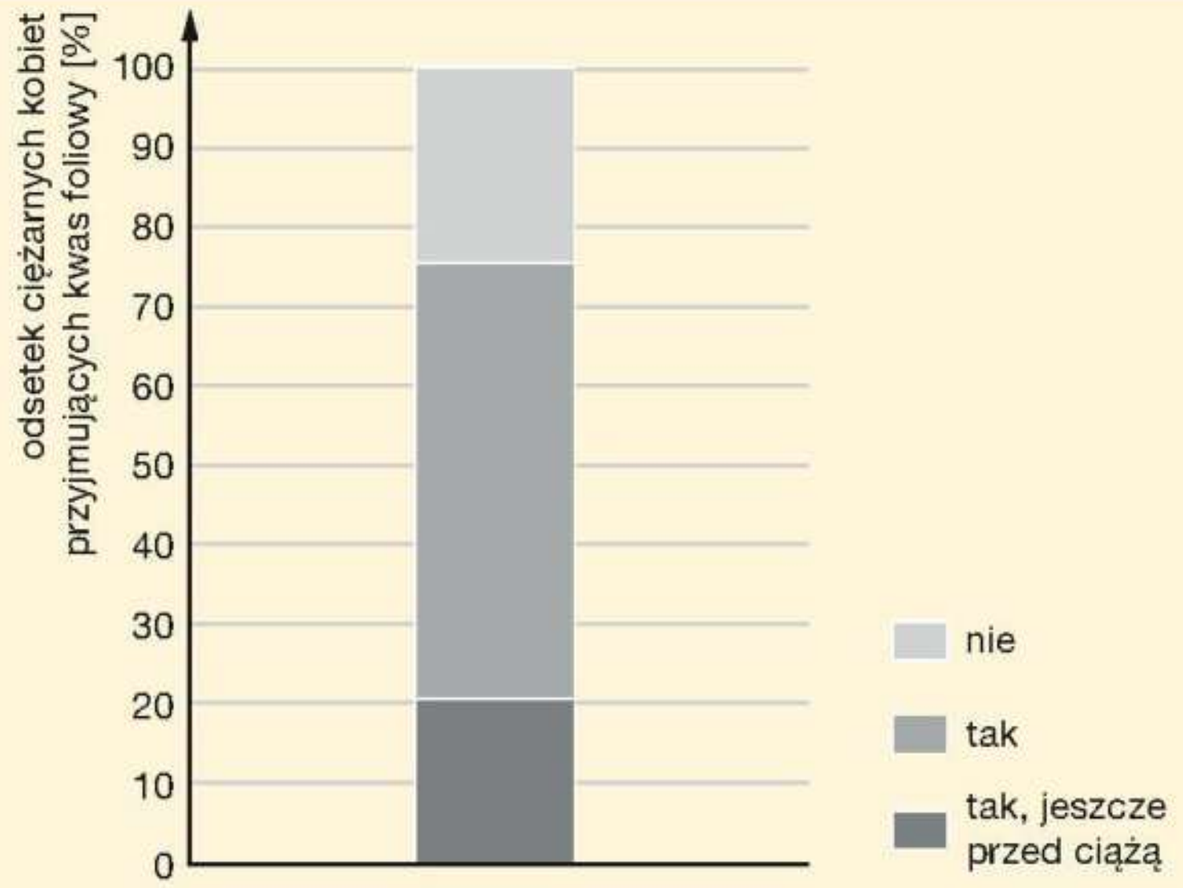
6 Rozwój prenatalny organizmu człowieka obejmuje dwa okresy – okres zarodkowy i okres płodowy.

a) Uporządkuj etapy rozwoju zarodkowego w kolejności ich zachodzenia. Wpisz w odpowiednich miejscach cyfry 1–7.

Etap rozwoju zarodkowego	Numer
Powstanie moruli.	?
Gastrulacja.	?
Powstanie zygoty.	?
Rozpoczęcie bruzdkowania i powstanie dwóch blastomerów.	?
Organogeneza.	?
Implantacja zarodka w macicy.	?
Stadium blastocysty.	?

b) Określ, w którym tygodniu od zapłodnienia rozpoczyna się okres płodowy.

Sposób na zadania – odpowiedzi

Strona	Propozycja poprawnej odpowiedzi
	Organizm człowieka jako funkcjonalna całość
27	a) Rodzina człowiekowatych jest taksonem monofiletycznym, ponieważ wywodzi się od wspólnego przodka i obejmuje wszystkich jego potomków.
	b) 1. N, 2. T, 3. N
	c) B. Zredukowane owłosienie ułatwia pozbywanie się nadmiaru ciepła przez skórę.
	d) Jest to stwierdzenie prawdziwe, ponieważ pazury lemura i paznokcie człowieka mają wspólne pochodzenie – są wytworami naskórka.
	Układ powłokowy
57	a) Schemat A, ponieważ gdy organizm jest zagrożony utratą ciepła, przepływ krwi przez skórne naczynia krwionośne zmniejsza się, a temperatura powierzchni ciała spada. W efekcie organizm oddaje mniej ciepła do otoczenia.
	b) skóra właściwa
	Układ ruchu
105	a) Dzięki obecności szwów, które u dzieci są zbudowane z elastycznych więzozrostów, możliwe jest zwiększanie objętości mózgowia oraz chroniącej je czaszki, co pozwala na prawidłowy rozwój człowieka.
	b) U noworodka kości mózgoczaszki są oddzielone pasmami tkanki łącznej, które na styku kości tworzą pola zwane ciemiączkami. Ich obecność umożliwia przejście głowy dziecka przez kanał rodny w czasie porodu i sprawia, że ucisk czaszki podczas porodu nie powoduje uszkodzeń głowy.
	c) 1. F, 2. P, 3. P
	d) 1. płaska, mózgoczaszki; 2. różnokształtną, twarzoczaszki; 3. różnokształtne, twarzoczaszce; 4. płaskie, mózgoczaszki
	Układ pokarmowy
165	
	b) Kwas foliowy jest niezbędny dla prawidłowego rozwoju układu nerwowego płodu.
	c) zaburzenia funkcjonowania tarczycy

Układ oddechowy	
210	a) głośnia
	b) Podczas wydawania dźwięków fałdy głosowe są w stanie napięcia, dzięki czemu mogą drgać pod wpływem przechodzącego przez nie powietrza.
	c) Zatoki znajdują się w kościach czaszki i są przestrzeniami wypełnionymi powietrzem. Działają jak rezonatory, a ich kształt i wielkość wpływają na barwę głosu.
Układ krążenia. Odporność	
287	a) Antybiotyki są skuteczne w leczeniu infekcji bakteryjnych, a nie są skuteczne w leczeniu infekcji wirusowych. Badanie CRP pomaga określić źródło infekcji – jeśli stężenie CRP jest znacznie podwyższone, to świadczy to o infekcji bakteryjnej, a jeśli jest tylko nieznacznie wyższe, to świadczy to o infekcji wirusowej. Dzięki temu można dobrać właściwe metody leczenia i ograniczyć nieuzasadnione stosowanie antybiotyków w przypadku infekcji wirusowych.
	b) Stwierdzenie jest prawdziwe, ponieważ białka ostrej fazy biorą udział w przebiegu reakcji zapalnej, podczas której m.in. ułatwiają fagocytozę różnego rodzaju drobnoustrojów chorobotwórczych. To przykład odporności nieswoistej, która jest niewybiórcza i skierowana ogólnie przeciwko wielu rodzajom patogenów.
	c) wątroba
Układ moczowy	
314	a) nabłonek przejściowy (wielowarstwowy sześcienny)
	b) Wydzielanie klaudyny 4 to przejaw odporności nieswoistej, ponieważ białko to jest wydzielane w odpowiedzi na przerwanie ciągłości nabłonka przez różne gatunki bakterii. Klaudyna 4 nie jest więc skierowana przeciwko jednemu specyficznemu patogenowi.
	c) Płeć żeńska jest bardziej narażona na zakażenia dróg moczowych niż płeć męska, ponieważ kobiety mają krótszą cewkę moczową niż mężczyźni, co ułatwia przedostawanie się bakterii ze środowiska zewnętrznego. Dodatkowym czynnikiem sprzyjającym zakażeniom u kobiet jest anatomiczna bliskość odbytu i ujścia cewki moczowej, przez co bakterie z układu pokarmowego mogą łatwo przedostać się do dróg moczowych.
Układ nerwowy	
363	a) Podczas depolaryzacji kanały sodowe w błonie neuronu otwierają się i jony sodu przemieszczają się do wnętrza neuronu, co powoduje zmianę ładunku ujemnego na ładunek dodatni.
	b) Stwierdzenie jest prawdziwe, ponieważ we włóknach mielinowych impuls nerwowy przemieszcza się skokowo między węzłami Ranviera, dzięki czemu jest przewodzony szybciej niż we włóknach bezmielinowych, gdzie impuls nerwowy przemieszcza się wzdłuż całego włókna.
	c) chlor
Narządy zmysłów	
398	a) 1. B, D; 2. B, (D); 3. C, (D); 4. A
	b) eksteroreceptory
	c) Baroreceptory umiejscowione w dużych tętnicach rejestrują zmiany poziomu ciśnienia krwi i wysyłają informacje o nich do ośrodka naczynioruchowego znajdującego się w rdzeniu przedłużonym. Ośrodek ten reguluje ciśnienie krwi poprzez zmianę średnicy naczyń krwionośnych i tempa pracy serca na drodze sprzężenia zwrotnego ujemnego.

Układ hormonalny	
430	a) Wydzielanie hormonów tarczycy jest regulowane na zasadzie ujemnego sprzężenia zwrotnego, ponieważ podwyższone stężenie hormonów tarczycy we krwi hamuje wydzielanie liberyn przez podwzgórze oraz hormonu tropowego przez przysadkę. Brak pobudzenia ze strony przysadki sprawia, że tarczyca przestaje wydzielać hormony – ich stężenie we krwi zaczyna spadać.
	b) skóra właściwa
Rozmnażanie i rozwój	
478	a) Menopauza to trwałe ustanie cyklu miesiączkowego u kobiet.
	b) 1. P, 2. F, 3. P
	c) hormon luteinizujący (LH)
	d) A 2

Doświadczenia i obserwacje – odpowiedzi

Strona	Tytuł doświadczenia lub obserwacji	Propozycja poprawnej odpowiedzi
Układ powłokowy		
41	Badanie gęstości rozmieszczenia receptorów w skórze wybranych części ciała	Przewidywany wynik: Receptory dotyku są rozmieszczone najliczniej na opuszce palca, a najmniej licznie – na karku.
Układ pokarmowy		
146	Badanie wpływu pH roztworu na trawienie skrobi przez amylazę ślinową	Wynik doświadczenia: W próbie badawczej w probówce 1. po dodaniu płynu Lugola roztwór nie zmienił barwy na granatową. W próbie badawczej w probówkach 2. i 3. oraz we wszystkich próbach kontrolnych po dodaniu płynu Lugola roztwór zabarwił się na granatowo. Wniosek: pH roztworu wpływa na trawienie skrobi przez amylazę ślinową.
Układ oddechowy		
205	Pomiar objętości płuc	Przewidywany wynik: Około 4 dm^3.

Przydatne terminy

acetylocholina – jeden z neuroprzekaźników w układzie nerwowym; m.in. wyzwala skurcz mięśni szkieletowych.

adrenalina (epinefryna) – hormon i neuroprzekaźnik wytwarzany w rdzeniu nadnerczy oraz w niektórych neuronach ośrodkowego układu nerwowego. Pobudza współczulny układ nerwowy.

akson – długa, pojedyncza wypustka neuronu, przewodząca impulsy nerwowe od ciała komórki do innych komórek.

aktyna – białko, z którego zbudowane są miofilamenty cienkie. Razem z miozyną tworzącą miofilamenty grube bierze udział w skurczu mięśni.

aldosteron – hormon wytwarzany i wydzielany przez komórki kory nadnerczy. Reguluje gospodarkę jonów sodu i potasu – wpływa na ich zatrzymywanie lub wydalanie.

alergia – stan nadwrażliwości organizmu na różne substancje pochodzące ze środowiska zewnętrznego, na które zdrowy organizm nie reaguje. Objawia się m.in. zapaleniem i obrzękiem błony śluzowej nosa, zwężeniem światła oskrzeli, zaburzeniami trawienia, wysypką.

amylazy – enzymy rozkładające polisacharydy (skrobię, glikogen). Występują m.in. w ślinie i soku trzustkowym.

anemia (niedokrwistość) – stan organizmu wywołany niedoborem hemoglobiny lub krwinek czerwonych. Efektem anemii jest niedotlenienie komórek i tkanek.

antygeny – specyficzne cząsteczki chemiczne, które cechują się: immunogennością, czyli zdolnością wywołania reakcji odpornościowej skierowanej przeciwko sobie, oraz antygenowością, czyli zdolnością swoistego wiązania się z przeciwciałami lub określonymi receptorami na powierzchni limfocytów T i B.

autonomiczny układ nerwowy – część układu nerwowego kontrolująca funkcjonowanie narządów wewnętrznych, a tym samym przyczyniająca się do utrzymania homeostazy. Dzieli się na dwie części: układ współczulny i układ przywspółczulny.

bazofile (leukocyty zasadochłonne) – rodzaj krwinek białych, których cytozol zawiera ziarnistości pochłaniające barwniki zasadowe. Odgrywają istotną rolę w reakcjach alergicznych, wytwarzają m.in. heparynę oraz histaminę.

blastocel – wypełniona płynem jama blastuli.

blastocysta – stadium blastuli w rozwoju zarodkowym ssaków. Ma postać pęcherzyka, którego ściana (trofoblast) jest utworzona z jednej warstwy komórek, a we wnętrzu, przy jednym z biegunów, znajduje się skupisko komórek – węzeł zarodkowy. Przestrzeń między trofoblastem a węzłem zarodkowym wypełnia płyn.

blastula – stadium rozwoju zarodka. Ma postać pęcherzyka, którego ściana jest zbudowana z jednej warstwy komórek.

choroba autoimmunizacyjna – choroba spowodowana autoagresją, czyli reakcją odpornościową skierowaną przeciwko własnym komórkom lub tkankom organizmu, np. cukrzyca typu I, stwardnienie rozsiane i anemia hemolityczna.

ciałko żółte – powstaje po owulacji z pękniętego pęcherzyka Graafa. Funkcjonuje jako gruczoł dokrewny. Wydziela progesteron – hormon warunkujący w początkowym okresie utrzymanie ciąży.

depolaryzacja – zmniejszenie ujemnego potencjału elektrycznego błony komórkowej spowodowane napływem do komórki jonów Na^+ lub Ca^{2+}. Prowadzi do pobudzenia komórki nerwowej lub mięśniowej.

dług tlenowy – ilość tlenu potrzebna do utlenienia kwasu mlekowego powstałego w wyniku czasowego przestawienia metabolizmu z tlenowego na beztlenowy i przywrócenia warunków fizjologicznych. Powstaje m.in. w intensywnie pracujących mięśniach.

efektor – narząd wykonujący lub zmieniający swą czynność pod wpływem bodźca nerwowego, np. mięsień, gruczoł.

embriogeneza (rozwój zarodkowy) – proces powstawania oraz rozwoju zarodka roślin i zwierząt, przebiegający w ściśle określony, zdeterminowany genetycznie sposób.

eozynofile (leukocyty kwasochłonne) – rodzaj krwinek białych, których cytozol zawiera ziarnistości pochłaniające barwniki kwasowe. Odgrywają istotną rolę w reakcjach alergicznych oraz zwalczaniu pasożytów.

erytrocyty (krwinki czerwone) – komórki krwi kręgowców zawierające hemoglobinę (białko odpowiedzialne za transport tlenu i częściowo dwutlenku węgla).

estrogeny – żeńskie hormony płciowe wytwarzane przez jajniki, a także w niewielkich ilościach przez korę nadnerczy i jądra. Wpływają na rozwój i utrzymanie drugo- i trzeciorzędowych cech płciowych.

fibryna (włóknik) – nierozpuszczalne białko powstające z fibrynogenu podczas procesu krzepnięcia krwi. Stanowi rusztowanie skrzepu.

fibrynogen – rozpuszczalne białko osocza biorące udział w procesie krzepnięcia krwi. Pod wpływem trombiny ulega przemianie w nierozpuszczalną fibrynę.

fosfokreatyna – wysokoenergetyczny związek magazynowany w mięśniach. Służy do syntezy ATP z ADP podczas pracy mięśni.

gastrula – stadium rozwoju zarodka zwierząt. Jest zbudowana z dwóch (ektodermy i endodermy) lub trzech (ektodermy, mezodermy i endodermy) warstw komórek.

gruczoły dokrewne (gruczoły wydzielania wewnętrznego – gruczoły bezprzewodowe, których wydzielina (hormony) trafia bezpośrednio do krwi lub innych płynów ustrojowych. U człowieka gruczołami dokrewnymi są: przysadka, szyszynka, tarczyca, przytarczyce, grasica, nadnercza, trzustka, jajniki oraz jądra.

gruczoły wydzielania zewnętrznego – gruczoły, których wydzieliny są wyprowadzane na zewnątrz przez specjalne przewody uchodzące, np. na powierzchnię skóry lub do światła przewodu pokarmowego. Należą do nich m.in. gruczoły potowe, łojowe, mlekowe i trawienne.

hemoglobina – białko złożone zawierające grupę hemową, w której skład wchodzi żelazo. Jej funkcją jest transport tlenu i częściowo dwutlenku węgla w organizmie.

histamina – substancja uwalniana m.in. przez bazofile i komórki tuczne. Bierze udział w rekcjach zapalnych i alergicznych, powoduje m.in. rozszerzenie naczyń krwionośnych i zwiększenie ich przepuszczalności, co objawia się zaczerwienieniem skóry i obrzękiem.

homeostaza – zdolność organizmu do utrzymywania stałych warunków środowiska wewnętrznego ustroju (np. stałej temperatury, stałego ciśnienia osmotycznego). Jest możliwa dzięki mechanizmom dostosowawczym związanym głównie z funkcjonowaniem układów nerwowego i hormonalnego.

hormon luteinizujący (LH) – hormon wydzielany przez przedni płat przysadki. U samic powoduje owulację i rozwój ciałka żółtego oraz stymuluje wytwarzanie progesteronu, a u samców pobudza wydzielanie testosteronu.

hormony – związki organiczne wytwarzane i wydzielane bezpośrednio do płynów ustrojowych przez gruczoły dokrewne, komórki wydzielnicze nietworzące gruczołów (hormony tkankowe), neurony (neurohormony) i inne komórki (hormony miejscowe). Regulują i koordynują procesy biochemiczne w komórkach i tkankach, a pośrednio – wszelkie procesy fizjologiczne organizmu, dostosowując je do zmieniających się warunków otoczenia.

hormony tropowe – grupa hormonów wydzielanych przez komórki przedniego płata przysadki, których zadaniem jest regulowanie wydzielania innych hormonów, np. hormon tyreotropowy pobudza wydzielanie hormonów przez tarczycę.

implantacja – zagnieżdżenie się zarodka ssaków (z wyjątkiem stekowców) w błonie śluzowej macicy. U człowieka następuje ok. siedmiu dni po zapłodnieniu.

interferony – białka wytwarzane i uwalniane przez leukocyty m.in. w odpowiedzi na atak wirusów.

kalcytonina – hormon wytwarzany przez tarczycę, zmniejszający stężenie wapnia we krwi poprzez hamowanie jego uwalniania z kości.

komórki tuczne (mastocyty) – duże komórki tkanki łącznej występujące w obrębie różnych narządów. Zawierają histaminę, biorą udział w reakcjach alergicznych i zapalnych.

kora mózgu – zewnętrzna warstwa kresomozgowia zbudowana z istoty szarej, którą tworzą ciała komórek nerwowych. U ludzi jest bardzo silnie pofałdowana, zawiera nadrzędne ośrodki nerwowe kierujące działalnością organizmu: odbiera i analizuje informacje z narządów zmysłów, odpowiada za poruszanie się i wykonywanie ruchów precyzyjnych oraz czynności charakterystyczne tylko dla ludzi, takie jak: mowa, czytanie, pisanie czy myślenie abstrakcyjne.

krążenie wrotne – układ dwóch sieci naczyń włosowatych połączonych żyłą. U człowieka jednym z przykładów jest krążenie wrotne wątroby.

kwas moczowy – trudno rozpuszczalny w wodzie związek chemiczny powstający w organizmach jako jeden z końcowych produktów przemiany białek i kwasów nukleinowych. Główny produkt wydalania u owadów, ptaków i większości gadów.

leukocyty (krwinki białe) – bezbarwne komórki krwi i limfy. Dzielą się na kilka rodzajów. Większość z nich jest zdolna do ruchu pełzakowatego i fagocytozy. Chronią organizm przed patogenami.

limfocyty – rodzaj krwinek białych niezawierających ziarnistości w cytozolu. Biorą udział w reakcjach immunologicznych.

limfocyty B – jeden z rodzajów limfocytów. Biorą udział w odpowiedzi immunologicznej typu humoralnego, gdy stymulowane przez kontakt z antygenem przekształcają się w komórki plazmatyczne wytwarzające przeciwciała.

limfocyty T – jeden z rodzajów limfocytów. Biorą udział w odpowiedzi immunologicznej typu komórkowego. Zróżnicowane pod względem funkcji na: limfocyty Tc (cytotoksyczne) – rozpoznające i niszczące komórki z nieprawidłowym antygenem – oraz limfocyty Th (pomocnicze) – wzmacniające odpowiedź immunologiczną poprzez wpływ na limfocyty B i limfocyty Tc.

listek zarodkowy – jedna z trzech warstw komórek zarodka w stadium gastruli.

łożysko – wspólny narząd organizmu matki i płodu występujący u ssaków łożyskowych. Powstaje przez wrośnięcie kosmków kosmówki w błonę śluzową macicy. Utrzymuje płód w macicy, umożliwia wymianę substancji między organizmem płodu a organizmem matki.

łuk odruchowy – droga, którą pokonuje impuls nerwowy od receptora do efektora. Składa się z receptora odbierającego bodźce, drogi nerwowej dośrodkowej (czuciowej), ośrodka nerwowego, drogi nerwowej odśrodkowej (ruchowej) i efektora.

makrofagi – komórki tkanki łącznej wywodzące się z monocytów, zdolne do fagocytozy i trawienia pochłoniętych bakterii lub fragmentów uszkodzonych komórek i tkanek. Biorą udział w reakcjach obronnych organizmu.

melaniny – grupa pigmentów o barwie czarnej, brązowej lub żółtej. Występują u grzybów i zwierząt, a u ludzi znajdują się m.in. w komórkach warstwy rozrodczej naskórka (chronią głębsze warstwy skóry przed szkodliwym działaniem promieniowania UV), we włosach (nadają im kolor) oraz w tęczówce oka, gdzie polepszają właściwości optyczne.

menstruacja – proces fizjologiczny polegające na okresowym (najczęściej co 28 dni) usuwaniu krwi i złuszczonej błony śluzowej macicy z dróg rodnych dojrzałych płciowo kobiet.

mineralokortykosteroidy – hormony wytwarzane przez korę nadnerczy regulujące gospodarkę wodno-elektrolitową. Głównym mineralokortykosteroidem jest aldosteron.

mioglobina – białko złożone zawierające grupę hemową, w której skład wchodzi żelazo; czerwony barwnik podobny do hemoglobiny występujący w mięśniach. Ma zdolność odwracalnego łączenia się z tlenem. Jej powinowactwo do tlenu jest większe niż hemoglobiny, dlatego przejmuje od niej tlen i stanowi jego magazyn w mięśniach, gdzie jest on wykorzystywany do uzyskiwania energii koniecznej do skurczu.

mocznik – rozpuszczalny w wodzie związek chemiczny powstający w organizmach jako jeden z końcowych produktów przemiany białek. Główny produkt wydalania u dorosłych płazów i ssaków.

monocyty – rodzaj krwinek białych niezawierających ziarnistości w cytozolu. Wykazują one zdolność do fagocytozy i ruchu pełzakowatego. Po przedostaniu się z krwiobiegu do tkanek przekształcają się w makrofagi. Biorą udział w reakcjach obronnych organizmu.

morula – stadium rozwoju zarodkowego zwierząt składające się z kilkunastu lub kilkudziesięciu komórek tworzących kulistą bryłkę.

napięcie mięśniowe (tonus) – fizjologiczny stan ciągłego, lekkiego napięcia mięśni warunkujący m.in. postawę ciała.

nerwy – pęczki włókien nerwowych okrytych łącznotkankową otoczką, przewodzące impulsy nerwowe między ośrodkowym układem nerwowym a pozostałymi narządami.

neuroprzekaźniki (neurotransmitery) – związki chemiczne wydzielane przez zakończenia nerwowe w synapsach chemicznych, przekazujące sygnały do kolejnych neuronów, a także do komórek mięśniowych i gruczołowych. Należą do nich m.in. acetylocholina, noradrenalina, dopamina i serotonina.

neutrofile – rodzaj krwinek białych, których cytozol zawiera słabo barwiące się ziarnistości. Mają zdolność opuszczania naczyń krwionośnych i przemieszczania się do tkanek. Fagocytują wirusy, bakterie i uszkodzone komórki własnego organizmu.

obwodowy układ nerwowy – część układu nerwowego znajdująca się poza centralnym układem nerwowym (mózgowiem i rdzeniem kręgowym). Obejmuje nerwy czaszkowe, nerwy rdzeniowych, zwoje nerwowe i receptory zmysłowe.

oddychanie – wszystkie procesy składające się na wymianę tlenu i dwutlenku węgla między komórkami a otoczeniem. Obejmuje wymianę gazową zewnętrzną, transport gazów przez krew, wymianę gazową wewnętrzną i oddychanie komórkowe. Dostarcza organizmowi energii niezbędnej do funkcjonowania.

odporność – niewrażliwość organizmu na działanie patogenów lub ich toksyn.

odruch – automatyczna reakcja organizmu na bodziec wewnętrzny lub zewnętrzny, zachodząca za pośrednictwem układu nerwowego.

oksytocyna – hormon wytwarzany w podwzgórzu, a uwalniany przez tylny płat przysadki. Powoduje skurcze nasieniowodów oraz macicy, stymuluje uwalnianie mleka z gruczołów mlekowych.

ontogeneza (rozwój osobniczy) – wszystkie zmiany zachodzące w organizmie od momentu jego powstania aż do śmierci.

oocyt – niedojrzała komórka jajowa zwierząt, w tym człowieka.

oogeneza – proces wytwarzania gamet żeńskich (komórek jajowych).

osłonka mielinowa – osłonka aksonu, która pełni funkcję ochronną i zwiększa szybkość przewodzenia impulsów nerwowych.

osmoregulacja – aktywna regulacja ciśnienia osmotycznego płynów ustrojowych, dzięki której ciśnienie to jest względnie stałe.

ośrodkowy układ nerwowy – część układu nerwowego kręgowców obejmująca mózgowie i rdzeń kręgowy.

owulacja – uwolnienie dojrzałej lub dojrzewającej komórki jajowej z jajnika. U kobiet zachodzi ok. 14. dnia cyklu miesiączkowego.

parathormon – hormon wydzielany przez przytarczyce, zwiększający stężenie wapnia we krwi przez jego uwalnianie z kości.

patogen – czynnik chorobotwórczy. Do patogenów zalicza się czynniki: biologiczne, chemiczne, fizyczne, genetyczne i społeczne.

pętla nefronu (pętla Henlego) – odcinek kanalika nerkowego nefronu w kształcie litery U, znajdujący się między kanalikiem krętym I rzędu a kanalikiem krętym II rzędu. Odpowiada za zagęszczanie moczu.

potencjał czynnościowy – lokalna krótkotrwała zmiana potencjału elektrycznego komórki nerwowej lub mięśniowej w czasie jej aktywności. Potencjał czynnościowy jest równoważnikiem impulsu nerwowego.

potencjał spoczynkowy – potencjał elektryczny niepobudzonej komórki, wynikający z różnicy ładunków elektrycznych po obu stronach błony komórkowej.

progesteron – hormon wytwarzany przez ciałko żółte i łożysko. Umożliwia zagnieżdżenie się zarodka w błonie śluzowej macicy i utrzymanie ciąży.

przeciwciała (immunoglobuliny) – białka wydzielane przez komórki plazmatyczne w odpowiedzi na kontakt z antygenami, mające zdolność unieszkodliwiania antygenów.

renina – hormon i enzym wytwarzany w nerkach. Oddziałuje na jedno z białek osocza, przekształcając je w angiotensynę, która podnosi ciśnienie krwi i tym samym zwiększa intensywność filtracji w nerkach.

resorpcja (wchłanianie zwrotne) – wybiórcze usuwanie substancji z moczu pierwotnego. Zachodzi w kanalikach nerkowych i prowadzi do powstania moczu ostatecznego.

rodopsyna – światłoczuły barwnik występujący w pręcikach siatkówki oka kręgowców. W reakcji na światło ulega przemianom, które doprowadzają do powstania impulsu nerwowego.

sarkomer – podstawowa jednostka funkcjonalna mięśnia poprzecznie prążkowanego. Odcinek zawarty między dwiema sąsiednimi liniami Z.

serotonina – neuroprzekaźnik w ośrodkowym układzie nerwowym.

somatyczny układ nerwowy – część układu nerwowego odpowiadająca za kontakty organizmu ze środowiskiem zewnętrznym i szybkie reagowanie na zmiany zachodzące w tym środowisku. Unerwia mięśnie szkieletowe.

spermatocyt – komórka powstająca podczas spermatogenezy. Daje początek spermatydom, które różnicują się w plemniki.

spermatogeneza – proces wytwarzania gamet męskich (plemników).

testosteron – męski hormon płciowy wytwarzany przez jądra. Wpływa na rozwój i utrzymanie drugo- i trzeciorzędowych męskich cech płciowych.

tyroksyna – główny hormon wydzielany przez tarczycę. Wpływa na metabolizm, m.in. pobudza procesy utleniania, przyspiesza rozkład tłuszczów, zwiększa wchłanianie glukozy z przewodu pokarmowego i jej wykorzystanie przez komórki.

układ limbiczny – zespół struktur korowych i podkorowych mózgowia odpowiadający m.in. za zachowania, emocje, motywacje i kształtowanie osobowości, a także zapamiętywanie.

wazopresyna (hormon antydiuretyczny, ADH) – hormon wytwarzany w podwzgórzu, a uwalniany przez tylny płat przysadki. Powoduje zagęszczanie moczu w kanalikach nefronu.

zakrzep – skrzep krwi utworzony w świetle nieprzerwanego naczynia krwionośnego. Prowadzi do częściowego lub całkowitego zamknięcia światła naczynia, a w konsekwencji do martwicy tkanek pozbawionych dopływu krwi.

zastawki – błoniaste fałdy zapewniające jednokierunkowy przepływ krwi w sercu i naczyniach żylnych oraz limfy w naczyniach limfatycznych.

zwój nerwowy – skupisko ciał komórek nerwowych w obwodowym układzie nerwowym.

żółć – płynna wydzielina wątroby niezbędna do trawienia i wchłaniania tłuszczów.

Indeks

A

adrenalina 275, 332, 352, 361, 405, 409, 423, 486
aglutynacja 225, 280
AIDS 274–275, 286
akomodacja oka 370, 374, 380, 396
akrosom 446
akromegalia 420, 429
akson 88, 323, 325, 330, 340, 361, 376, 378, 396–397, 486
aktyna 89–90, 486
albuminy 221
aldosteron 305, 421, 486
alergia 164, 204, 274–276, 286, 486
alkoholizm 355
aminopeptydazy 137, 140, 142, 162
amoniak 133, 161, 294–295, 298–299
amylaza 486
– ślinowa 133, 135, 139, 141, 162–163
– trzustkowa 133, 137, 139, 141, 162–163
androgeny 444
anemia, p. niedokrwistość
anoreksja (jadłowstręt psychiczny) 151, 164
antygeny 225–226, 258–262, 267, 270–272, 275, 280, 284–285, 486
– zgodności tkankowej (MHC) 258–259, 269–271, 285
antykoncepcja 456, 464–465
astma oskrzelowa 204, 209
astrocyty 324, 339
autoagresja 278, 286, 486
awitaminoza 123

B

bariera łożyskowa 460–461
bazofile 221–222, 249, 260, 280, 284, 486
białaczka 252, 263, 277
bilans wodny 130
błędnik 371, 372, 385–386
błona (błony)
– bębenkowa 384–385, 388, 397
– płodowe 438, 460, 476
błonnik 117, 138, 159, 166
bruzdkowanie 436–437, 457
bulimia 151, 164

C

celiakia 156, 164
celuloza 119, 134
chemoreceptory 368, 373, 392–393, 395, 397
chłonka, p. limfa
cholesterol 45, 117, 121–122, 136, 249, 254, 333
choroba (choroby)
– Addisona 421
– Alzheimera 356, 362
– autoimmunizacyjne (z autoagresji) 274, 278–279, 286, 425, 486
– cywilizacyjne 248
– dekompresyjna (kesonowa) 195, 209
– Gravesa–Basedowa 420, 429
– kesonowa, p. dekompresyjna
– Parkinsona 332, 356, 362
chrząstkozrosty 72, 80, 103
chylomikrony 140, 143–145
chymotrypsyna 133, 137, 140, 142, 162–163
ciałko
– nerkowe 297, 301–302, 313
– żółte 447, 453–455, 476, 486
ciało (ciała)
– ketonowe 308
– modzelowate 334, 336
– szkliste 370, 374–375, 378, 395
ciśnienie
– atmosferyczne 24, 48, 185, 194
– cząstkowe, p. parcjalne
– krwi 15, 17, 21–22, 26, 96, 121, 129, 231, 237–238, 241, 250, 281
– parcjalne (cząstkowe) 170–171, 173, 188, 194, 208
cukrzyca 150, 254, 283, 310, 356, 421, 425–426
cykl (cykle)
– miesiączkowy 22, 355, 408, 428, 448, 452–455, 465, 474, 476, 481
– mocznikowy 299, 312
– pracy serca 234, 237, 241, 250
cytokiny 264, 268, 271, 284, 405–406
czerniak 49, 51, 53, 56

D

deaminacja 299
dendryty 40, 323, 325, 331, 340, 361, 393, 395, 397
depolaryzacja 327–329, 360, 486
depresja 23, 96, 125, 348, 357, 362
diagnostyka prenatalna 462
dializa 310–311, 313
dług tlenowy 92, 486
dopamina 332, 354, 356, 361, 415
doping 96, 306
drogi nerwowe 334, 341

E

EEG, p. elektroencefalografia
efektor 16, 322, 341, 343, 362, 486
EKG, p. elektrokardiografia
ektoderma 436–437, 457
elektroencefalografia (EEG) 358
elektrokardiografia (EKG) 250, 283
endoderma 436–437, 457
endometrium 448, 453–454
enzymy
– hydrolityczne 110, 115, 260, 265
– proteolityczne 137, 139–140
– trawienne 135–136, 139, 162, 355, 410
eozynofile 221, 249, 280, 284, 486
erytrocyty (krwinki czerwone) 96, 125, 190–191, 220–222, 225, 227, 249, 252, 280, 405, 486
erytropoetyna 96, 306, 312, 405
estrogeny 407–408, 417, 421, 428, 447, 452, 455, 461, 475–476, 486

F

fagocytoza 221–222, 260, 284,
fermentacja 92, 94, 104, 138, 170
fibryna (włóknik) 223–224, 280, 486
filtracja 302, 313
fosfokreatyna 91–92, 104, 487

G

gałka oczna 374–375, 377, 378, 395
gastrulacja 436–437, 457
gigantyzm 420, 429
glikogen 10, 104, 116, 133, 161, 409, 414, 428
glikokortykosteroidy 421
glukagon 133, 161, 405, 407, 409–410, 414, 421, 428
glukoneogeneza 92, 423
glukoza 15, 91–92, 104, 116, 133, 139, 141, 144–145, 147, 162–163, 302, 308, 408, 414, 417, 421, 425, 428–429
głośnia 182–183
gonadotropiny 307, 408, 415, 417, 461
gonady, p. gruczoły płciowe
granulocyty 221–222, 260, 264, 280, 284
grasica 245–246, 259, 282, 284, 407, 409, 421, 428–429
gruczoł (gruczoły)
– dokrewne, p. gruczoły wydzielania wewnętrznego
– krokowy (prostata) 443, 445, 475
– łojowe 38, 40, 42–44, 53, 55–56
– mlekowe (sutkowe) 38, 42–43, 56, 96, 408, 428, 461, 469
– opuszkowo-cewkowe 443, 445

– płciowe (gonady) 417, 435
– potowe 38, 40, 42–45, 55–56, 404, 427
– sutkowe p. mlekowe
– ślinowe 133, 135
– wydzielania wewnętrznego (dokrewne, wewnątrzwydzielnicze) 404, 410, 419, 427
grupa krwi 225–227

H
hematokryt 220, 236, 249
hemoglobina 129, 160, 188, 190–192, 194, 199, 208–209, 214, 222, 249, 252, 487
hiperpolaryzacja 399
hiperwitaminoza 123, 126
hipowitaminoza 123
histamina 260, 268, 276, 284, 405, 487
HIV 263, 274–275
hormon (hormony)
– antydiuretyczny, p. wazopresyna
– białkowe 405, 412, 418, 427
– folikulotropowy 454, 476
– gonadotropowe 461
– luteinizujący 476, 487
– melanotropowy, p. melanotropina
– steroidowe 122, 302, 405, 413, 427
– tkankowe 405, 429
– tropowe 408–409, 416, 423, 428, 487
– tyreotropowy, p. tyreotropina
– wzrostu 405, 408, 411, 415, 418, 420, 428–429

I
immunoglobuliny (Ig) 222, 262–263, 284, 489
immunologia 274
implantacja 454, 457, 458, 487
insulina 351, 366, 405, 409, 414, 418, 421, 428
interferony 264, 487
istota
– biała 334, 336, 338
– szara 334–336

J
jadłowstręt psychiczny, p. anoreksja
jajniki 122, 407, 417, 421, 428–429, 435, 447–455, 471, 474–477
jajowody 447–449, 456, 475
jaskra 382
jelito
– czcze 136
– kręte 136
– ślepe 137

K
kalcytonina 406–408, 415, 420
kamyczki błędnikowe (otolity) 386
kanalik (kanaliki)
– kręty 301–302, 304, 313
– nasienne 444–445
kanały półkoliste 371–372, 384–386
kapacytacja 446, 456
karbaminohemoglobina 190–191
karboksypeptydazy 133, 137, 140, 142, 162–163
karłowatość przysadkowa 420, 429
kifoza 77, 98, 100
kolagen 51, 68, 75, 125
komórka (komórki)
– jajowa 11, 435, 447–450, 456, 465, 489
– Leydiga 444
– NK 261, 266, 269, 284
– pamięci 261, 272, 286
– podporowe, p. Sertoliego
– Schwanna 324
– Sertoliego (podporowa) 444
– tuczne (mastocyty) 261, 264, 268, 276, 487
konflikt serologiczny 225, 227, 280
kora mózgu (mózgowa) 320, 334, 336, 348, 361, 487
kosmki jelitowe 131, 136–137, 144, 156, 163
kosmówka 438, 457, 460, 476
kosteczki słuchowe 70, 76, 102, 371, 384–385, 388, 397
kościozrosty 72, 76, 103
krążenie wieńcowe 242
krążenie wrotne 487
kresomózgowie 320–321, 334, 336
krwinki
– białe, p. leukocyty
– czerwone, p. erytrocyty
krwiobieg 216, 239, 310
kubki smakowe 134, 369, 392, 395
kwas (kwasy)
– mlekowy 92
– moczowy 294–295, 303, 487
– żółciowe 121, 136

L
leukocyty (krwinki białe) 220–222, 249, 252, 264, 280, 282, 308, 486
liberyny 415–416, 455
limfa (chłonka) 26, 140, 163, 214, 244, 246–247, 282
limfocyty 221, 244, 245, 249, 259, 261, 263–265, 268, 270–272, 275, 279, 280, 284–285, 487
– B 221, 245, 259, 261, 272, 285, 487
– T 221, 245, 261, 272, 275, 285, 487
lipaza 133, 135–137, 140, 143, 162
lordoza 77, 98, 100

Ł
łojotok 124, 160
łożysko 6, 192, 227, 280, 286, 307, 438, 454, 458, 460–462, 476, 488
łuk odruchowy 322, 341, 343, 362, 488

M
makrofagi 111, 221, 260, 264–265, 267–268, 284, 488
mastocyty, p. komórki tuczne
mechanoreceptory 368–369, 371, 384, 395
melaniny 38, 48, 488
melatonina 22, 407, 409, 411, 428
mezoderma 436–437, 457
miażdżyca 121, 200, 248, 251, 253–254, 256, 257, 283
miedniczka nerkowa 300, 313
międzymózgowie 320–321, 334
mięsień (mięśnie)
– gładkie 63, 83–84, 90, 375
– sercowy 84, 234–235, 237, 242, 255, 333
– szkieletowe 83, 85, 88–89, 93, 104, 240, 457
mineralokortykosteroidy 421
miofibryle 86–87, 104
miofilamenty 86–87, 104
mioglobina 86, 92–94, 192, 488
miozyna 86–90, 104
mocznik 13, 44, 56, 133, 161, 294–295, 298–299, 303, 312, 488
moczowód 11, 297–300, 304, 307, 312
monocyty 221, 249, 260, 268, 280, 488
morula 436, 457–458, 488
mózg 96, 102, 147, 187, 194, 196, 209, 223, 233, 254, 318–319, 324, 334–336, 339, 348, 354, 356, 361–362, 379, 397, 403
mózgowie 76, 320–321, 334–335, 339, 342, 360–361, 407, 416
móżdżek 320–321, 334–335, 361

N
naczyniówka 374–375, 378, 395
nadciśnienie tętnicze 253, 256, 283, 421, 429
nadnercza 122, 390, 404, 407, 421, 427–429

nagłośnia 135, 181–182, 206
narząd (narządy)
– limfatyczne 214, 244–246, 282, 284
– rzęskowy 374–375, 380
– równowagi 368–369, 371–372, 385–387, 389
– słuchu288, 291–292, 369, 371
– smaku 369, 373, 392–393, 397
– spiralny (Cortiego) 371, 385, 388, 395, 397
– węchu 369, 373, 392–393, 397
– wzroku 369–370, 374, 383
nasienie (sperma) 442–446, 449, 475
naskórek 35, 38–40, 42, 44, 55, 372
nefron 293, 297, 300–304, 313
nerw (nerwy)
– czaszkowe 323, 341–342, 360
– czuciowe 341, 360
– mieszane 341, 360
– rdzeniowe 323, 341–342, 360
– ruchowe 341, 360
– wzrokowy 342, 370–371, 395
neurofibryle 323
neurohormony 410, 415
neuron 93, 318, 323–331, 341, 343, 356, 359, 360, 362, 372, 406
neuroprzekaźnik 331–332, 352, 361, 402, 488
neutrofile 221–222, 249, 280, 488
niedokrwistość (anemia) 125, 156, 252, 486
niewydolność nerek 253, 310
NNKT (niezbędne nienasycone kwasy tłuszczowe) 121, 159
noradrenalina 409, 422, 423
nowotwory złośliwe 51, 203, 469, 471

O
odbytnica 134, 144, 361
oddychanie 190
odporność 94, 118, 124, 160, 209, 220, 222, 245, 258–260, 265–268, 273–276, 284–286, 429, 488
odruch (odruchy) 306, 322, 341, 361, 488
– bezwarunkowy 322, 343, 346, 361
– obronny 266, 322, 335
– warunkowy 322, 344–346, 361
– zachowawczy 322
okienko owalne 385–386, 388
okrężnica 137–138
oksyhemoglobina 188, 191, 208
oksytocyna 408, 415, 428, 462, 488
omocznia 438, 460, 476
ontogeneza 456, 489
oogeneza 450–451, 489
opłucna 184–185
opony mózgowia 339
opony rdzeniowe 339
organogeneza 437, 457
osłonka (osłonki)
– przejrzysta 451, 453, 457
– Schwanna 324
– mielinowe 324–325, 330
osocze 191, 208, 220–222, 225, 280, 282, 302–303
osteon 71
osteoporoza 99, 126, 454
ośrodek
– oddechowy 187, 335
– głodu i sytości 147
otyłość 150–151, 164, 405, 425
owodnia 438, 460, 462, 476
owulacja 408, 447, 449, 450, 452–453, 455, 458, 474, 476, 489

P
pajęczynówka 339
pamięć immunologiczna 272
parathormon 305, 407, 409, 415, 420, 489
pepsyna 136, 140, 142, 162–163
perykarion 323
pęcherz moczowy 11, 299, 309, 312, 443
pęcherzyk (pęcherzyki)
– Graafa 447, 453, 455
– płucne 181, 184, 189, 204
– żółciowy 133
– żółtkowy 438, 460, 476
pętla Henlego 301, 489
pień mózgu 334–335, 351, 361
plamka 375, 382
plazmocyty 261, 265
płaskostopie 98, 100
płyn mózgowo-rdzeniowy 338–339
płytki krwi 220–222, 249, 268, 280
pnie współczulne 350, 352
pochwa 447–449, 473, 475
podpuszczka, p. rennina
podwzgórze 17, 20, 22, 26, 130, 147, 407–408, 410, 415–417, 423, 455
pojemność płuc 186, 201, 208
polaryzacja 326, 328, 360
pompa sodowo-potasowa 145, 326
potencjał czynnościowy 327–328, 330, 489
potencjał spoczynkowy 326, 489
prezentacja antygenu 320, 259
progesteron 408, 421, 428, 447, 452–455, 461, 476, 489
prolaktyna 408, 415, 428
prostaglandyny 120, 124, 405, 480
prostata, p. gruczoł krokowy
protrombina 224
prowitamina 123
przeciwciała 221–222, 225–227, 258, 262–263, 265, 271–273, 276, 280, 284–285, 289
przepona 91, 185–186, 207
przewód
– pokarmowy 76, 112–113, 131–132, 134, 136–137, 139, 156, 161–162, 266, 296, 390, 405
– słuchowy 384, 388, 397
przysadka 305, 407–410, 415–417, 423, 428–429, 452, 455
przytarczyce 305, 407, 409, 415, 420, 429
puls, p. tętno

R
rak 51, 152, 157, 200, 203, 355, 468, 469, 477
– płuc 203
– prostaty 468, 470, 477
– szyjki macicy 468, 471, 477
rdzeń kręgowy 77–78, 306, 320, 323, 338–339, 342, 351–352, 360–361
rdzeń przedłużony 21, 26, 147, 241, 320, 334–335
receptor (receptory)
– bólu 39–40, 44, 56, 369
– dotyku 39–40, 44, 325, 360, 369
– smaku 373, 392
– termiczne (termoreceptory) 17, 368, 395
– węchu 373
refrakcja oka 378, 381
renina 306, 312, 489
rennina (podpuszczka) 136
repolaryzacja 326–327, 329, 360
resorpcja (wchłanianie zwrotne) 302–303, 313, 489
rogówka 277, 370, 374–375, 378, 395
rozedma płuc 204
rozwój
– postnatalny 456, 462–463, 477
– prenatalny 456–458, 462, 477
różyczka 460
rytmy biologiczne 22
rzeżączka 472
rzęsistkowica 473, 477

S
sarkomer 86–88, 104, 489
sekrecja (wydzielanie) 302–303, 313
sen 19, 22–23, 353, 424
serce 80, 144, 176, 196, 215–219, 228–230, 234, 239, 243, 281

serotonina 124, 222, 332, 489
siatkówka 370, 374–376, 378, 380–381, 395–396
skolioza 98, 100
skóra właściwa 36, 38–40, 55, 372, 457
soczewka 370, 374–375, 378, 380–381, 395–396
– trzustkowy 133, 137, 161, 351
– żołądkowy 135, 147, 266, 351
somatotropina, p. hormon wzrostu
spermatogeneza 443–445, 451, 489
spojówka 377, 395
sprzężenie zwrotne 414, 416–417, 429, 455
statyny 415, 455
staw 72–74, 78–82, 85, 91, 98, 103, 278
stres 164, 422–424
stresory 422–423
strzemiączko 76, 384, 388, 397
stwardnienie rozsiane 391
surowica
– krwi 222, 225
– odpornościowa 273
synapsy 88, 331, 333, 341, 361
szczepienia 154, 272–273
szkielet 12, 25, 63, 68–70, 72, 76, 80–81, 98, 102–104, 459
szyszynka 407, 411, 428

Ś
śledziona 245–246, 259, 282
ślimak 64, 176, 384–386
śródmózgowie 320–321, 334

T
tarczyca 407–408, 411, 415–416, 420, 428, 429
tchawica 177–179, 181–183, 206
termoregulacja 17–18, 20, 26, 45, 324, 410
termoreceptory, p. receptory termiczne
testosteron 96, 405, 408, 417, 421, 444, 489
tęczówka 374–375, 395
tętnica 21, 40, 137, 340, 173, 216, 228–229, 230–231, 233–234, 238–239, 241–242, 244, 254, 257, 282
tętno (puls) 15, 241
tężec 94
toksoplazmoza 290, 460
torebka Bowmana (torebka kłębuszka) 301–302
transfuzja (przetaczanie krwi) 97, 223, 225
transplantacja (przeszczepianie) 276–277, 426
trąbka słuchowa (trąbka Eustachiusza) 384–385, 397
trofoblast 457–458
trombina 224
trypsyna 133, 137, 140, 142, 162
trzustka 131–133, 156, 161–162, 355, 407, 409–410, 414, 421, 425–426, 429
twardówka 374–375, 378
tyłomózgowie wtórne 320, 334
tymozyna 407, 409, 421
tyreotropina (hormon tyreotropowy) 408, 415–416

U
układ (układy)
– przewodzący serca 232
– dopełniacza 260, 261, 264–265
– nagrody i kary 342, 352
– autonomiczny 20, 321, 338, 348–350, 408, 413, 440
– obwodowy 316, 321, 338, 340–341
– ośrodkowy 144, 316, 318–323, 332, 338–341
– somatyczny 321, 348
– przywspółczulny 348–350
– wrotny 142, 230, 237, 240, 408, 413
– współczulny 348–350, 420–421
utlenowanie 169, 186, 190, 214–217, 226, 236–237
uzależnienie 352–353, 355

W
wazopresyna 303, 406
wchłanianie zwrotne, p. resorpcja
węglowodany (sacharydy) 114, 120, 122–123, 419
węzły chłonne 243–244, 257
więzadła 70–71, 459
więzozrosty 70, 74
włosowate naczynia krwionośne 126, 170, 179, 182, 185–186, 214, 220, 226–227, 229–232, 234, 236, 240, 242–243, 245, 295, 299–301, 336–337, 372–373, 413
włosy 6, 8, 17, 33, 35–38, 40–41, 48, 50, 122–123, 180, 382
włóknik, p. fibryna
wskaźnik Pearla 462–463
wszawica 50
wydzielanie, p. sekrecja
wymiana gazowa 12, 31–32, 34, 168–170, 172, 174–175, 178–179, 180, 183–187, 189, 192–193, 214–217, 237, 436
WZW 152

Z
zabiegi immunosupresyjne 275
zaćma 122, 380,
zaplemnienie 440–441
zapłodnienie 433–434, 436, 444, 446, 448–449, 454, 456
zarodek 433–436, 444–447, 449, 455–459
zatrucie pokarmowe 153
zawał serca 94–95, 198, 249, 251, 253–255, 353
zespół
– Conna 419
– Cushinga 419
– opóźnionego bólu mięśniowego 90
– policystycznych jajników 472
– złego wchłaniania 154
złamanie 66, 96–97, 99
zwichnięcie 96, 99
zwój nerwowy 317, 338–339, 349–350

Ź
źrenica 332, 348–349, 369, 372–373, 376–377, 421

Ż
żołądek 10, 110–113, 115, 129–130, 133–134, 138, 140–141, 145, 150–151, 153, 155, 240, 251, 263–264, 338, 340, 349, 353, 403, 418, 420, 422
żółć 131, 134–135, 138, 141, 240, 349
żyła 38, 77, 135, 142, 187, 214–215, 226–232, 234–238, 240–242, 244, 249, 251, 255, 298–299, 305, 338, 408, 413, 458

Literatura uzupełniająca

Agur A.M.R., Lee M.J., *Grant. Atlas anatomii*, Górnicki Wydawnictwo Medyczne, Wrocław 2002.
Alberts B. i in., *Podstawy biologii komórki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2015.
Bartel H., *Embriologia*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2016.
Błaszak C., *Zoologia*, t. 1, cz. 1: *Bezkręgowce*, PWN, Warszawa 2014.
Błaszak C., *Zoologia*, t. 1, cz. 2: *Bezkręgowce*, PWN, Warszawa 2014.
Błaszak C., *Zoologia*, t. 2, cz. 1: *Stawonogi*, PWN, Warszawa 2013.
Błaszak C., *Zoologia*, t. 2, cz. 2: *Stawonogi*, PWN, Warszawa 2012.
Błaszak C., *Zoologia*, t. 3, cz. 1: *Szkarłupnie – płazy*, PWN, Warszawa 2015.
Błaszak C., *Zoologia*, t. 3, cz. 3: *Ssaki*, PWN, Warszawa 2020.
Brook C.H., Marchall N., *Podstawy endokrynologii*, Wydawnictwo Medyczne Urban & Partner, Wrocław 2000.
Bryszewska M., Leyko W. (red.), *Biofizyka dla biologów*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1997.
Campbell N.A. i in., *Biologia*, Dom Wydawniczy REBIS, Poznań 2018.
Ciborowska H., Rudnicka A., *Dietetyka. Żywienie zdrowego i chorego człowieka*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2019.
Cichocki T., Litwin J.A., Mirecka J., *Kompendium histologii*, Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków 2002.
Drewa G., Ferenc T. (red.), *Genetyka medyczna*, Elsevier Urban & Partner, Wrocław 2013.
Dzik J., *Zoologia. Różnorodność i pokrewieństwa zwierząt*, Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 2015.
Feneis H., *Ilustrowana anatomia człowieka*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2007.
Gołąb J., Jakóbisiak M., Lasek W., Stokłosa T. (red.), *Immunologia*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2019.
Hoser P., *Anatomia i fizjologia człowieka*, WSiP, Warszawa 1995.
Jablow M.M., *Anoreksja, bulimia, otyłość*, Gdańskie Wydawnictwo Psychologiczne, Gdańsk 2000.
Janicki K. (red.), *Domowy poradnik medyczny*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2008.
Jaroszyk F. (red.), *Biofizyka*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2014.
Jura C., Krzanowska H., *Leksykon biologiczny*, Wiedza Powszechna, Warszawa 1992.
Krechowiecki A., Czerwiński F., *Zarys anatomii człowieka*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2004.
Krzymowski T., Przała J., *Fizjologia zwierząt*, PWRiL, Warszawa 2005.
McMillan B., *Wielki atlas anatomii człowieka*, BUCHMANN, Warszawa 2009.
Michajlik A., Bartnikowska E., *Chroń serce przed chorobą wieńcową i zawałem*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2001.
Michajlik A., Ramotowski W., *Anatomia i fizjologia człowieka*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2006.
Mindell E., *Biblia witamin*, Muza S.A., Warszawa 1996.
Pąchalska M., *Neuropsychologia kliniczna. Urazy mózgu*, t. 1–2, PWN, Warszawa 2020.
Putza R., Pabsta R. (red.), *Atlas anatomii człowieka Sobotta*, Urban & Partner, Wrocław 2001.
Roberts R., Shettles L.B., *Od poczęcia do narodzin*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 1998.
Salyers A.A., Whitt D.D., *Mikrobiologia. Różnorodność, chorobotwórczość i środowisko*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010.
Sawicki W., *Histologia*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, 2016.
Schmidt-Nielsen K., *Fizjologia zwierząt. Adaptacja do środowiska*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2008.
Sikorski Z., Drozdowski B., Samotus B., Pałasiński M., *Chemia żywności*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1998.
Solomon E.P., Berg L.R., Martin D.W., Vilee C.A., *Biologia*, MULTICO Oficyna Wydawnicza, Warszawa 2011.
Traczyk W.Z., Trzebski A. (red.), *Fizjologia człowieka z elementami fizjologii stosowanej i klinicznej*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2009.

Autorzy ilustracji:

Ewelina Baran: s. 35, 77 (il. zatoki), 99 (il. krzywica), 102, 103, 104, 122 (il. nadnercza), 147, 173 (il. górna), 173 (il. skrzela ryby i wyjazdy ze skrzeli), 186 (il. schemat płuc), 189 (il. górna, il. układ krwionośny z sercem), 190 (il. krwinka), 206, 207, 218 (il. ikony), 219 (il. ikony), 226 (il. dolna – krwinki), 230 (il. górna), 232, 239 (il. serce), 241, 253 (il. górna), 254 (il. górna), 281, 282, 297 (il. lewa), 298, 299 (il. górna), 301 (il. dolna), 305 (il. organy), 312, 313, 320 (il. ikony), 321 (il. ikony), 335 (il. mózg), 336 (il. mózg), 337 (il. górna), 376 (il. w lupie, czopek, pręcik), 379 (il. górna), 387 (il. środek), 395, 408 (il. mózg), 416 (il. mózg), 451, 459 (komórka, plemnik), 469 (il. rak), 470 (il. górna rak, il. dolna prawa), 471 (il. rak), 474, 481; **Katarzyna Borek-Polkowska:** s. 246 (il. naczynie limfatyczne), 247, 254 (il. w lupie), 257 (il. dolna), 302, 392 (il. kubek); **Elżbieta Buczkowska:** s. 11 (il. tkanka nerwowa), 16 (schematy), 23 (układ), 42 (paznokcie), 70 (il. mostek), 71 (il. gąbczasta), 72 (il. włókniste), 74 (il. staw elipsoidalny, płaski, siodełkowy), 80 (il. klatka piersiowa), 88 (il. neuron), 134 (il. jama ustna, zęby), 141 (il. schematy), 151, 155, 161, 176 (il. świerszcz), 177, 178 (il. dwudyszne), 218 (il. układy krwionośne), 219 (il. układy krwionośne), 220, 221 (il. górna), 227, 231, 232, 235 (il. serce), 237, 240 (il. górna), 244, 245 (il. kość, węzeł chłonny), 246 (il. węzeł chłonny), 247, 254 (il. górna), 296 (il. świerszcz), 311, 313 (il. prawa), 325 (il. neuron), 330 (il. neuron z lupą), 364, 395, 438, 447, 448, 449 (il. górna), 451, 452, 455 (il. lewa), 458, 460, 480 (il. plemnik); **Rafał Buczkowski:** s. 11 (il. układ narządów), 12 (il. układ szkieletowy, układ oddechowy), 13 (il. fantomy, il. organy układów limfatycznego, nerwowego, hormonalnego, moczowego), 20, 21, 30, 69 (il. tył szkielet), 70 (il. kręg kręgosłupa, kość nadgarstka), 72 (il. chrząstkozrosty, szwy), 73, 74 (il. staw zawiasowy, obrotowy, kulisty), 76, 77 (il. czaszka), 78, 79, 98 (il. wada postawy), 99 (il. kości udowe z miednicą), 128, 132, 133 (il. górna), 138 (il. jelita), 141 (il. postać, narządy), 142 (il. postać, narządy), 143 (il. postać, narządy), 144 (il. fantom), 153 (il. fantom, jelita), 181 (il. fantom, płuca, pęcherzyki płucne), 184 (il. organy wewnętrzne), 186 (il. organy z postacią), 201 (il. fantom, płuca), 202 (il. fantom), 204 (il. zdrowy pęcherzyk), 229 (il. fantom), 239 (il. obieg krwi), 240 (il. w lupie), 241, 246 (il. fantom, układ limfatyczny), 253 (il. górna), 257 (il. fantom),285, 298, 299 (il. dolna), 310 (il. fantom), 338, 342 (il. górna), 343 (il. kręgosłup), 351 (il. żołądek), 355, 362, 366, 372 (il. lewa górna), 380 (il. oko), 381, 392 (il. język), 393 (il. fantom), 404, 407 (il. fantom i organy), 416 (il. fantom), 417 (il. naczynie krwionośne), 423 (il. naczynie krwionośne), 451; **Marta Długokęcka:** s. 51, 53, 100, 112, 157 (il. rak żołądka), 204 (il. górna), 297 (il. prawa); **Zuzanna Dudzic:** s. 41; **Justyna Dybala:** s. 121; **Natalia Helman:** s. 44 (il. kobieta, ręka, postać, parasol), 48 (ikony), 84 (il. schematy), 91, 92, 94, 108 (il. górna), 149 (il. ikony łóżko, telewizor, waga), 147 (il. ikony), 149 (il. ikony na dole), 157 (il. ikony), 176 (il. pająk, świerszcz), 188, 192 (wykres), 199, 215 (il. pasikonik), 218 (il. lancetnik), 221 (il. dolne – leukocyty), 227, 241 (il. ikona), 264, 265, 273, 275, 277 (il. górna lewa), 305 (il. ikona, układ), 310 (il. ikony), 325 (il. ikony), 335 (il. ikony), 341, 350, 351 (il. ikony), 352, 356, 368, 369, 389 (il. postacie), 390, 396 (il. dolna), 414 (il. ikony), 415 (il. ikony), 417, 423, 424; **Wioleta Herczyńska:** s. 10, 42 (włos), 53, 55, 56, 60, 71 (il. dużej kości, tkanka szklista),

82, 84 (il. naczynie, il. schematy), 88 (il. neuron), 91, 99 (il. kości udowa), 122 (il. jajniki, jądra), 134 (il. górna), 135 (il. lupka), 137 (il. druga, trzecia), 155, 156, 191, 193 (il. słomka), 204 (il. chory pęcherzyk), 208, 218 (il. układ krwionośny płaza), 225, 227, 229 (il. w lupie), 231, 240 (il. górna), 240 (il. nogi), 242 (il. wątroba), 245 (il. kość, grasica), 246 (il. żyła podobojczykowa), 254 (il. górna), 262 (il. swoistość), 268, 302, 311, 320 (il. mózgi), 321 (il. mózgi), 325 (il. neuron), 330 (il. neuron), 336 (il. dolna), 337 (il. dolna), 339, 343, 351 (il. oko, kręgosłup, pień mózgowy, wyjazdy, pęcherz moczowy, oskrzela, ślinianka), 363, 375, 376 (il. oko), 377 (il. górna), 380 (il. oko), 380 (il. dolna), 384, 388, 392 (il. brodawka), 393 (il. prawa), 407 (il. tarczyca), 408 (dolny rząd il.), 409 (il. grasica), 409 (il. szyszynka, przytarczyca, rdzeń nadnerczy), 420, 421 (il. grasica, nadnercza, jądro, jajnik), 442, 443, 446, 447, 448, 449, 458, 459 (il. trzeci miesiąc), 460 (il. górna), 469, 470 (il. górna, il. dolna lewa), 471 (il. narządy), 481; **Paulina Jarmusik:** s. 211, 293, 297 (il. prawa), 403; **Przemysław Kłosin:** s. 10, 63 (il. szkielet zewnętrzny), 71 (il. gąbczasta), 72 (il. kościozrosty), 74 (il. staw płaski), 81, 82, 87 (il. górna), 88 (il. mięsień), 112 (il. wypławek, dżdżownica), 173 (il. głowa ryby), 178 (il. płazy, gady), 179 (il. ptaki), 237, 239 (il. serce), 281, 340, 384, 386, 421 (il. trzustka), 439 (il. rozwój apollo), 458, 459 (il. szósty miesiąc, bliźnięta); **Agata Knajdek:** s. 16 (ikona człowiek), 22 (ikona człowiek), 149 (il. ikony postaci), 277 (il. górna lewa), 335 (il. ikony), 356, 357, 359 (il. strzykawka); **Michał Kosieradzki:** s. 70 (il. kość długa), 71 (il kość, górna i tkanka szklista, zbita), 76, 98 (il. płaskostopie kości), 99 (il. kość udowa), 247; **Adam Król:** s. 326, 327, 445, 450; **Sławomir Maniak:** s. 40, 43; **Laura Maziewska:** s. 18, 29, 57, 60, 108 (wykres), 113, 120, 224, 238, 289 (wykresy), 296, 315, 319, 328 (wykres, il. dolna), 329, 330 (wykres), 330 (il. włókna), 342 (il. dolna), 347, 359, 372 (il. dolna), 378, 379 (il. dolna), ¬¬¬380 (il. dolna), 400, 402, 406, 431, 478, 482, 483; **Małgorzata Motyka:** s. 387 (il. w lupkach), 389 (il. w kołach), 400 (il. w lupie); **Krzysztof Mrawiński:** s. 15 (schemat), 16 (schematy), 82, 168, 189 (il. schemat), 190 (il. wzór chemiczny), 235 (il. schemat), 239 (il. obieg krwi), 259, 272, 276, 277 (il. dolna), 289 (il. prawa górna), 295, 323, 363, 399; **Marek Nawrocki:** s. 75, 99 (il. osteoporoza), 178 (il. płazy, gady), 226 (il. górne – schemat), 231, 262 (il. budowa); **Marcin Oleksak:** s. 11 (il. nerka), 12 (il. Układ mięśniowy), 13 (il. jama ustna, układ krwionośny), 38, 40, 43, 69 (il. przód szkielet), 70 (il. przód szkielet), 84 (il. serce), 85, 122 (il. wątroba, nerka), 131, 132, 133 (il. ślinianki, trzustka, wątroba), 135 (il. żołądek, wycinek), 137 (il. pierwsza, druga), 141 (il. jama ustna), 142 (il. jama ustna), 143 (il. jama ustna), 153 (il. jama ustna, przyrządy do badań), 156, 157 (il. żołądek), 158, 179 (il. ssaki), 181 (il. jama ustna), 196, 197, 201 (il. jama ustna, przyrządy do badań), 202 (il. górne drogi oddechowe), 229 (il. układ krwionośny), 230 (il. środkowa, dolna), 233, 235 (il. serce), 239 (il. obieg krwi), 242 (il. serce, wątroba), 243, 253 (il. żylaki), 254 (il. mózgi), 255, 257 (il. górna), 300, 309 (il. górna), 309 (il. dolna), 310 (il. dwie dolne), 311, 335 (il. mózg), 336 (il. mózg), 348 (il. głowy), 351 (il. serce, wątroba, trzustka, płuca), 355 (il. serce), 375, 376 (il. oko), 377 (il. dolne), 379 (il. górna), 380 (il. oko), 381, 384, 388 (il. mózg), 393 (il. jama nosowa), 408 (il. mózg), 409 (il. trzustka), 410 (il. dolna), 416 (il. górna mózg, wyjazd), 436, 437, 439 (il. rozwój konika), 442, 449 (il. dolna), 458, 459 (il. dziewiąty miesiąc); **Joanna Ptak:** s. 15 (wykres), 22, 23 (il. ziemia), 44 (il. termometr, słońce), 48 (układ), 57, 92 (il. mięsień), 110, 113, 116, 122 (układ), 140, 141 (il. schematy), 142 (il. schematy), 143 (il. schematy), 145, 146, 147, 163, 171, 173 (il. wymiana gazowa), 176 (il. ślimak), 178 (il. ikony), 179 (il. ikony), 180, 184 (il. postać), 192 (il. dolna), 193, 203, 207, 208, 226 (il. dolna – schematy), 238, 259, 265, 269, 270, 271, 275, 277 (il. górna prawa, dolna), 298, 299 (il. górna), 310 (il. prawa dolna), 341, 342 (il. dolna), 348 (projekt), 349 (projekt), 357, 365, 378, 396 (il. górna), 397, 404, 414 (il. wątroba), 415 (il. tarczyca), 416 (il. tarczyca, ikony), 437, 452, 455 (il. lewa), 475; **Marcin Ptak:** s. 87 (il. środkowa), 184 (il. w lupce), 191, 225, 264, 348 (il. pień), 349 (rys. drzewa, głazy, łapy); **Daniel Rudnicki:** s. 13 (il. organy, układy rozrodcze, układ krwionośny), 355 (il. narządy męskie); **Joanna Safranow:** s. 181 (il. kostka); **Wojciech Sendal:** s. 74 (il. schematy), 301 (il. górna), 304; **Marta Sieczkowska:** s. 168, 192 (il. dolna); **Ewa Sowulewska:** s. 11 (il. komórki), 11(il. tkanka mięśniowa, nabłonka, łączna), 15 (wykres), 20, 21, 30, 34, 44 (il. dolna), 45, 87 (il. dolna), 88 (il. schemat punkty 1–6), 89, 90, 140, 141 (il. schematy), 142 (il. schematy), 143 (il. schematy), 144 (il. schemat), 145, 147, 151, 161, 177 (il. ptak), 182, 183, 203, 210, 215 (il. żmija, hemolimfa, krew), 217, 221 (il. dolne – leukocyty), 223, 226 (il. górne – krwinki), 241, 245 (il. limfocyty), 253 (il. górna), 264, 265, 267, 268, 268, 269, 270, 271, 275, 277 (il. górna prawa), 298, 326, 327, 328 (il. dolna), 329, 330 (il. w ramce), 331, 333, 337 (il. górna), 342 (il. dolna), 343, 345, 354, 359, 361, 370, 371, 372 (il. dolna), 387 (il. środek), 388, 400 (il. po prawej), 402, 403, 406, 410 (il. górna), 412, 413, 415 (il. kość), 427, 432, 445, 450; **Monika Wiśniewska:** s. 187, 205.

Zdjęcia pochodzą ze zbiorów:

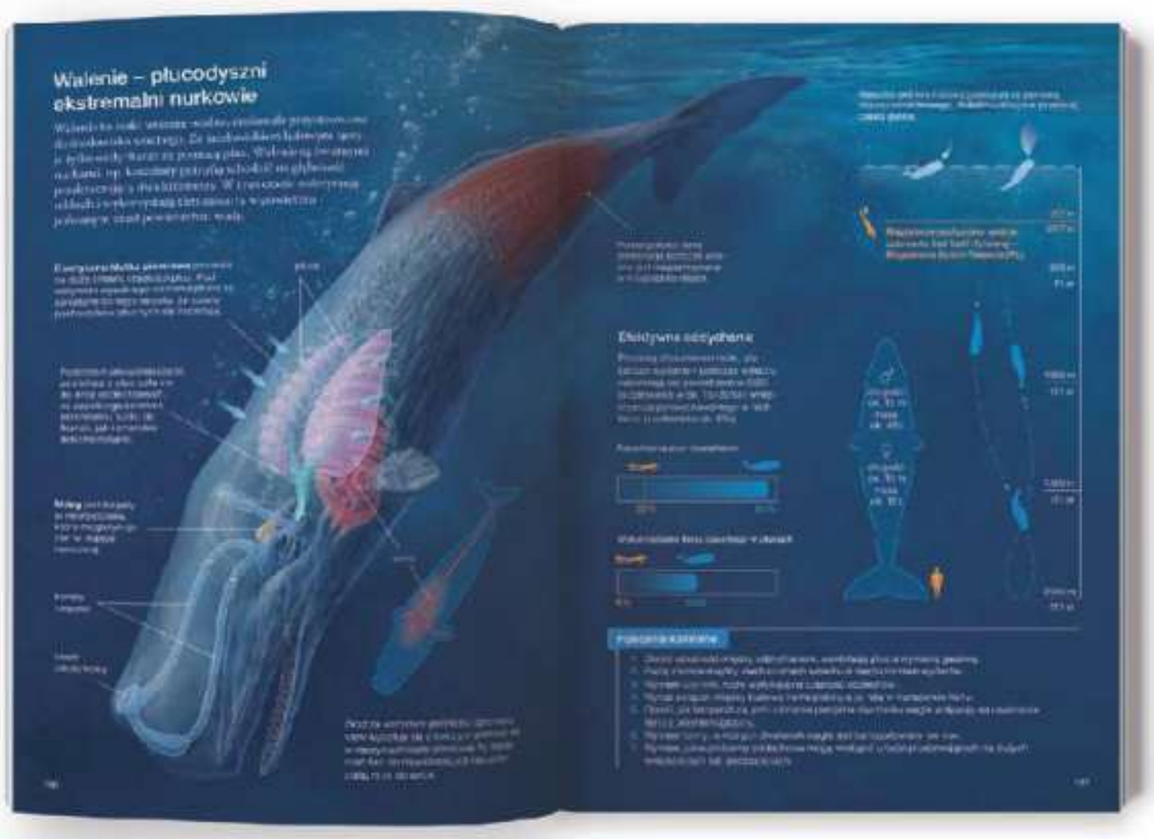
BE&W: Nature Picture Library(NPL)/Fiona Rogers s. 7 (szympans), NPL/Nick Garbutt s. 8 (lemur), NPL/Mark MacEwen s. 8 (wyrak), NPL/Cyril Ruoso s. 8 (mandryl), NPL/Piper Mackay s. 8 (wyjec), NPL/Anup Shah s. 9 (orangutan), NPL/Cyril Ruoso s. 9 (goryl), NPL/Anup Shah s. 9 (szympans), NPL/Ben Cranke s. 18 (makaki), NPL/Steve Knell s. 19 (orzesznica), NPL/Ingo Arndt s. 19 (biedronki), NPL/Valeriy Maleev s. 19 (skocznik), NPL/Wild Wonders of Europe/Pitkin s. 32 (parzydełkowce i gąbki), Alamy Stock Photo/Jane Gould s. 32 (płaziniec), NPL/Kim Taylor s. 33 (bioluminescencja), NPL/Suzi Eszterhas s. 33 (chrząszcz), NPL/Franco Banfi s. 33 (jeżowce), NPL/Sue Daly s. 35, NPL/2020VISION/Alex Mustard s. 36 (pstrąg), NPL/Alex Hyde s. 36 (drzewołaz), NPL/2020VISION Danny Green s. 36 (wąż), NPL/Andy Rouse s. 37 (tygrys), Science Source/Anatomical Travelogue s. 40 (receptor ucisku i dotyku), Science Source/Alvin Telser s. 43 (gruczoł łojowy), Alamy Stock Photo/Tatiana Chekryzhova s. 49 (dermatoskopia), Alamy Stock Photo/tilialucida s. 49 (tkanki), Alamy Stock Photo/NAS Medical s. 51 (promieniowanie UV), Alamy Stock Photo/blickwinkel s. 52 (wesz głowowa), Science Source/Biophoto Associates s. 52 (grzybica), BSIP RM/Chassenet s. 53 (czerniak), Alamy Stock Photo/Andriy Popov s. 54 (wstrzykiwanie botoksu), Alamy Stock Photo/Wavebreakmedia Ltd UC32 s. 54 (wstrzykiwanie wypełniaczy w usta), Alamy Stock Photo/blickwinkel s. 64 (płaziniec), NPL/Georgette Douwma s. 64 (ślimak), NPL/Jurgen Freund s. 65 (krab), NPL/Valeriy Maleev s. 66 (jerboa), NPL/Ingo Arndt s. 66 (pająk podobny do mrówki), NPL/Andy Rouse s. 67 (ważka), NPL/Kim Taylor s. 67 (wiewiórka), NPL/Markus Varesvuo s. 67 (sokół), Science Source/Don W. Fawcett s. 86 (włókno mięśniowe obraz TEM), Alamy Stock Photo/Gary Mitchell/GMP Media s. 93 (sprinterki), Alamy Stock Photo/Bill Varie s. 101 (RTG), Alamy Stock Photo/Puwadol Jaturawutthichai s. 101 (złamanie ręki), Alamy Stock Photo/BSIP SA s. 101 (RTG zębów), Alamy Stock Photo/Arterra Picture Library s. 111 (Furczak gołąbek), NPL/Georgette Douwma s. 111 (małż), NPL/Franco Banfi s. 114 (ryś), Alamy Stock Photo/agefotostock s. 114 (hiena), NPL/Philippe Clement s. 115 (dżdżownica), Science Source/Alvin Telser s. 132 (ściana jelita grubego), Alamy Stock Photo/Dmytro Razinkov s. 136, Alamy Stock Photo/RossHelen editorial s. 153 (USG), NPL/Lucas Bustamante s. 172, NPL/Georgette Douwma s. 174 (Sabellastarte sp., ślimak morski), Alamy Stock Photo/blickwinkel s. 174 (kijanki krewetek), NPL/Jan Hamrsky s. 174 (nimfa ważki), NPL/Alex Mustard s. 175 (paszcza makreli), NPL/Georgette Douwma s. 175 (żachwy), Alamy Stock Photo/Viktorila Novokhatska s. 195 (komora hiperbaryczna), Alamy Stock Photo/Yongkiet s. 273, NPL/Mary McDonald s. 293 (szczuroskoczek), NPL/MYN/Niall Benvie s. 294 (ryba słodkowodna), Alamy Stock Photo/andy lidstone s. 294 (ryba słonowodna), BSIP RM/CAVALLINI JAMES s. 307 (RTG), NPL/Eric Baccega s. 324 (Buszmeni), Alamy Stock Photo/pewi s. 344 (kobieta), NPL/Mark MacEwen s. 349 (czyszczenie zębów), NPL/Cyril Ruoso s. 349 (mycie pokarmu), NPL/Ben Cranke s. 349 (używanie narzędzi), Photo Researchers, Inc./Jessica Wilson s. 356, Alamy Stock Photo/Viacheslav Iakobchuk s. 358 (EEG), Granger Collection s. 369 (Albert Einstein), NPL/Alex Mustard s. 369 (wieloszczety), BSIP RM/CAVALLINI JAMES s. 375, Alamy Stock Photo/Science History Images s. 376, Alamy Stock Photo/Daria Artemenko s. 419 (USG), NPL/Visuals Unlimited s. 434 (efyra), Alamy Stock Photo/DP Wildlife Invertebrates s. 434 (polip), Science Source/David M. Phillips s. 456, Alamy Stock Photo/Science History Images s. 472 (krętek blady), Photo Researchers, Inc./Kwangshin Kim s. 472 (dwoinka rzeżączki); **DEPOSITPHOTOS:** Maxisports s. 21, Jordache s. 23 (jesienna depresja), WAYHOME.studio s. 50 (fototyp 1), Scott Griessel/Creatista s. 50 (fototyp 3), Artjazz s. 51 (dziurawiec), Massimo Lama s. 53 (czerniak z nierównymi brzegami), AndrewLozovyi s. 53 (badanie u dermatologa), Belchonock s. 120 (warzywa liściaste i owoce), Andris Tkacenko s. 120 (kasze, ryż i zboża), Aamulya s. 129 (magnez), Valentyn_Volkov s. 129 (potas), Melica s. 129 (sól kuchenna), Alexrath s. 129 (jod), Milkos s. 307 (test ciążowy), Ilya Andriyanov s. 463 (okres noworodkowy), Family

Veldman s. 463 (okres niemowlęcy); **EAST NEWS:** Science Photo Library (SPL) s. 34 (neoderma tasiemca), 46 (sztuczna skóra), 52 (świerzbowiec), Shutterstock/REX/Matt Baron s. 54 (bielactwo), SPL s. 69 (tkanka kostna gąbczasta), UIG Medical Science s. 107, SPL s. 132 (ściana przełyku), 138 (bakterie), Visuals Unlimited/Science VU, s. 154 (owsik ludzki), SPL s. 246, Phanie/Dr SICA-GARO s. 251 (USG dopplerowskie nóg), SPL s. 252 (leukemia), Science Source/Don W. Fawcett s. 261 (komórki tuczne), SPL s. 279 (tarczyca), 409 (szyszynka, rdzeń nadnerczy, trzustka), 410 (część zewnątrzwydzielnicza), GARO/PHANIE s. 425 (pompa insulinowa), Visuals Unlimited/Dr. David Phillips s. 473 (rzęsistek pochwowy); **GETTY IMAGES:** Science Photo Library RM/Pasieka – okładka, Design Pics RF/Peter Langer s. 7 (orangutan), Photographer's Choice RF/Juergen & Christine Sohns s. 9 (gibon), E+/AzmanJaka s. 9 (portret kobiety), Westend61 s. 11, Corbis RF Stills/Fuse s. 12 (kobieta), E+/simonkr s. 24 (góry w tle), E+/miljko s. 24 (biegaczka), imageBROKER RF/Thomas Hinsche s. 37 (koliber), iStockphoto/xijian s. 39 (linie papilarne), iStockphoto/LUHUANFENG s. 39 (odcisk palca), Brand X Pictures/Science Photo Library – ROGER HARRIS s. 43 (gruczoły mlekowe), E+/Alberto Pomares s. 50 (nadmiar promieniowania UV), E+/Juanmonino s. 50 (fototyp 4), Science Photo Library s. 52 (świerzb), Image source/Callista Images s. 53 (czerniak asymetryczny), Science Photo Library s. 53 (czerniak o niejednolitym kolorze), The Image Bank RF/Gerard Soury s. 64 (meduza), The Image Bank RF/Kevin Schafer s. 65 (pingwiny), Moment RF/Aleksei Permiakov s. 65 (żółw), Cultura RF/Rodrigo Friscione s. 65 (rekin), Moment RF/Kristian Bell s. 66 (wąż), Stone RF/Paul Starosta s. 66 (dżdżownica), E+/kyoshino s. 66 (piasek na tło), Moment Open/Ger Bosma s. 66 (żuk tygrysi), Juliane Franke/EyeEm s. 67 (łąka na tło), Science Photo Library RM s. 84 (tkanka mięśniowa gładka), E+/Ivan Bliznetsov s. 95, E+/Floortje s. 96–97, Cultura RF/Igor Emmerich s. 97, E+/iphotoworld s. 111 (wąż), Moment Open/Wouter Marck s. 114 (sarna), 500px Plus/Neil Burton s. 115 (dzik), Photodisc/Nico Tondini s. 115 (pijawka), iStockphoto/Vitalina Rybakova s. 120 (rośliny strączkowe), iStockphoto/anilakkus s. 120 (orzechy i migdały), iStockphoto/JulijaDmitrijeva s. 121 (tłuszcze omega-3), E+/Imgorthand s. 123 (dzieci), Digital Vision/Jonathan Knowles s. 126 (olej na tło), iStockphoto/Anna_Shepulova s. 129 (wapń), Fancy/Veer/Corbis s. 150 (ryba), E+/domin_domin s. 150 (talerz), E+/hdere s. 155 (lód), E+/vm s. 158 (laparoskopia), Stone RF/Paul Starosta s. 174 (ambystoma), E+/Maciej Laska s. 175 (krab), iStock Unreleased/fotoVoyager s. 194 (Szerpowie), Westend61/Alun Richardson s. 194 (himalaiści), EyeEm/Thierry Najean s. 195 (płetwonurek), Rattanakun Thongbun/EyeEm s. 200 (palenie papierosa), Corbis RM Stills/Viaframe s. 200 (płuca zdrowe i płuca chore), iStockphoto/WILLSIE s. 203 (RTG płuc), Science Photo Library s. 220 (płytki krwi), iStockphoto/leonello s. 240, Digital Vision s. 250 (badanie Holtera), Photodisc/jodi Jacobson s. 279 (łuszczyca), Brand X/Science Photo Library/KTSDESIGN s. 328, 329, iStockphoto/Mihidum Jayasinghe s. 348 (małpy), iStockphoto/Ddurrich s. 349 (roślinność w lesie tropikalnym), E+/Francisco Romero s. 349 (las tropikalny), E+/magnetcreative s. 355 (lekomania), Cultura RF/Phil Boorman Photography Ltd s. 358 (TK), Cultura RF/Rakusen s. 358 (MRI), BJI/Blue Jean Images s. 389, AlexLMX s. 426 (druk 3D), 500px Plus/Juan.R.Diaz Colodrero s. 435 (pancernik), Photononstop RF/Christophe LEHENAFF s. 435 (mszyce), The Image Bank RF/W.Wisniewski s. 440 (płatkonóg), imageBROKER RF/Frank Sommariva s. 441 (sarna), iStockphoto/PeopleImages s. 463 (okres dojrzewania), Digital Vision/Plume Creative s. 463 (okres dorosłości), iStockphoto/stocknroll s. 463 (okres przekwitania), Digital Vision/Jose Luis Pelaez Inc s. 463 (okres starości); **INDIGO IMAGES:** Science Photo Library s. 5, 8 (Homo sapiens, ilustracja), 31 (przekrój przez skórę), 33 (wrotek), 34 (neoderma, mikrokosmki), 36 (łuski ryby, gruczoły śluzowe płaza, łuski gada), 37 (pióra ptaka, sierść ssaka), 40 (receptor bólu), 43 (gruczoły potowe), 47, Fotosearch LBRF/kalinich24 s. 49 (videodermatoskopia), SPL s. 53 (ewoluowanie zmian czerniaka), 61, 62, 63, 64 (rozwielitka), AGE Fotostock/Reinhard Dirscherl s. 65 (skalar), SPL s. 66 (czułki pająka), 69 (tkanka kostna zbita), 74, 75 (tkanka chrzęstna), 82, 84 (tkanka mięśniowa poprzecznie prążkowana serca), 86 (włókno mięśniowe), 109, 132 (ściana żołądka, ściana jelita cienkiego), 150 (osoba otyła), 152, 153 (kolonoskopia), 154 (włosień kręty), 156 (jelito osoby zdrowej i jelito osoby chorej), 158 (wnętrze żołądka), 169, 174 (skrzela ważki), 175 (małże, skrzela ryby), 181 (nabłonek migawkowy, pęcherzyki płucne), 183, 185, 189, AGE Fotostock/Javier Larrea s. 201 (spirometria), SPL s. 203 (powiększone migdałki, nowotwór płuc), 213, 220 (leukocyty, erytrocyty), 223, 224, 232, 235, 236, 250 (EKG), Alamy Stock Photo/Phanie s. 251 (angiokardiografia), SPL s. 251 (EKG), 252 (krew zdrowa, anemia krwi), 255, 256 (sepsa), 257, 260 (szpik kostny, makrofagi, neutrofil, eozynofil, bazofil), 261 (komórka dendrytyczna, limfocyt T, limfocyt B, komórka NK), 266 (rzęski dróg oddechowych), 267, 278 (zapalenie stawów), 279 (tarczyca), 291, 293 (picie wody), 300, 304, 309, 317, 324 (astrocyty), 347, Minden Pictures/Konrad Wothe s. 349 (wytwarzanie narzędzi), SPL s. 359, 367, 373, 374, 383 (produkty bogate w witaminę A), 385, 387, 391 (implant), Design Pics/Mark Hunt s. 391 (język migowy), SPL s. 392, 393, 394, 401, 409 (przytarczyce, grasica), 410 (część wewnątrzwydzielnicza), 418, 422 (stresory), 433, 434 (gąbki), 437, Minden Pictures/Winfried Wisniewski s. 440 (bataliony), SPL s. 444, 448, 453, 454, 462, 466, 468, 469, 472 (chlamydia), 473 (wirus HPV, bielnik biały); **SHUTTERSTOCK:** PixieMe s. 12 (skóra), Sebastian Kaulitzki s. 14, Tarkvi Tuk s. 18 (trzmiel), Beniit s. 19 (ślimaki), Fasihah Yusof s. 23 (samolot), OHishiapply s. 23 (dziewczyna), Irina Bg s. 42 (twarz dziewczyny), YuriyZhuravov s. 42 (dłonie), Maridav s. 45 (przegrzanie ciała), Stock-Studio s. 45 (wyziębienie ciała), laremenko Sergii s. 46, Goodluz s. 50 (fototyp 2), Gladskikh Tatiana s. 52 (dziewczyna z psem), OSTILL is Franck Camhi s. 75 (biegnąca kobieta), Goodluz s. 77, Maxisport s. 93 (maratończycy), Roman Samborskyi s. 100, Tim UR s. 116 (winogrona), Nehophoto s. 116 (produkty pełnoziarniste), Albert Fedchenko s. 116 (czekolada), Ulada s. 117 (otręby), Oleksandra Naumenko s. 117 (warzywa i owoce), Antonina Vlasova s. 119, Elena Zajchikova s. 120 (nasiona słonecznika), Ivaschenko Roman s. 120 (nasiona dyni), beats1 s. 121 (słonecznik i olej), verca s. 123 (karoten), aboikis s. 124 (orzechy), comzeal images s. 124 (jaja), Aprilphoto s. 124 (zielony groszek), Africa Studio s. 124 (wątróbka), Skobrik s. 124 (chleb razowy), Elena Itsenko s. 125 (cytrusy), Wolna s. 125 (ziemniaki), Zhukovskaya Elena s. 125 (warzywa zielone), Natali Zakharova s. 125 (jeżyny, maliny), Evan Lorne s. 126 (witamina A), Tamsindove s. 126 (witamina D3), Oleksandra Naumenko s. 126 (witamina E), Sirtravelalot s. 126 (witamina K), Photopixel s. 127, Billion Photos s. 128, bitt24 s. 129 (żelazo), SUPIDA KHEMAWAN s. 129 (fluor), Magic mine s. 138, 156 (model człowieka z jelitami), Shutterstock s. 149 (piramida żywności), Jacek Chabraszewski s. 149 (biegnące kobiety), Iurii Stepanov s. 150 (dłonie), Ermak Oksana s. 150 (kasza), Isarapic s. 150 (warzywa), Crevis s. 154 (tasiemiec), Rattiya Thongdumhyu s. 154 (glista ludzka), Magic mine s. 154 (model człowieka z wątrobą), Kateryna Kon s. 155 (model wirusa), Magic mine s. 155, 157, 266 (model człowieka z żołądkiem), Nobeastsofierce s. 155 (bakteria), Rost9 s. 156, 157, 204, 253–255 (zdjęcie na pasek), Peter Sobolev s. 158 (pigułka z kamerą), Antonio Guillem s. 158 (mężczyzna), pongsakorn chaina s. 158 (laptop), FlashMovie s. 173, 174, 175 (toń wody), Petarg s. 190, 211 (hemoglobina), Phonlamai Photo s. 190 (erytrocyt), Yevhen Vitte s. 195 (butelka z wodą gazowaną), JaGra s. 198, Khuruzero s. 201 (RTG płuc), LightField Studios s. 203 (badanie gardła), Viachaslau Vaitsenok s. 220 (wirówka), Jaber AlAzmeh s. 233, Jacek Chabraszewski s. 248 (kobieta na rowerze), bitt24 s. 248 (dieta), Aquarius Studio s. 249, Andrey_Popov s. 256 (dłoń i domino), Lunamarina s. 263, PixieMe s. 266 (skóra), Billion Photos s. 266 (kichająca kobieta), Kateryna Kon s. 266 (bakterie), Motortion Films s. 266 (łzawienie oka), Robert Kneschke s. 268, New Africa s. 272, Alexey Smolyanyy s. 275, shurkin_son s. 278 (bielactwo), Bluehand s. 295 (błazenek), Stefan Petru Andronache s. 295 (królik), clarst5 s. 295 (rudzik), New Africa s. 308, Whitehoune s. 325, Dean Drobot s. 332 (GABA), Fizkes s. 332 (dopamina), Pecold s. 332 (adrenalina), Liderina s. 332 (serotonina), Supattra Luasook s. 344 (odruch ssania), peter verreussel s. 345, Banana Republic images s. 349 (las tropikalny), Syda Productions s. 353, Bram Smits s. 354, FOTOGRIN s. 355 (e-papierosy), Rost9 s. 356, 357 (zdjęcie na pasku), lunamarina s. 372 (mątwa), Goodluz s. 377, LeManna s. 382 (chłopiec z książką), LuckyBall s. 382 (daltonizm), Rohappy s. 383 (kobieta), Prostock-studio s. 390, Africa Studio s. 411 (śpiąca kobieta), Nerthuz s. 411 (tarczyca), Yuganov Konstantin s. 411 (mierzenie wzrostu), Roman Zaiets s. 419 (próbki krwi), LStockStudio s. 422, Photographee.eu s. 424, EJ Ka s. 425 (glukometr), Dmitry Lobanov s. 426 (zastrzyk z insuliny), Luyao s. 440 (lwy), Bierchen s. 441 (jaskółki), areeya_ann s. 455, lunamarina s. 461, Ana Blazic Pavlovic s. 463 (okres poniemowlęcy), Donskaya Olga s. 463 (okres dzieciństwa), Pixel-Shot s. 464, Image Point Fr s. 467, Rost9 s. 470–473 (zdjęcie na pasku), Syda Productions s. 471, Alexander Raths s. 474 oraz Bogdan Wańkowicz/Patryk Budzich s. 380 (widzenie dalekie i bliskie).

nowa era *Twoje mocne strony*

Biologia na czasie

Podręcznik *Biologia na czasie 3* do zakresu rozszerzonego zawiera treści dotyczące funkcjonowania zwierząt, w tym ludzi.



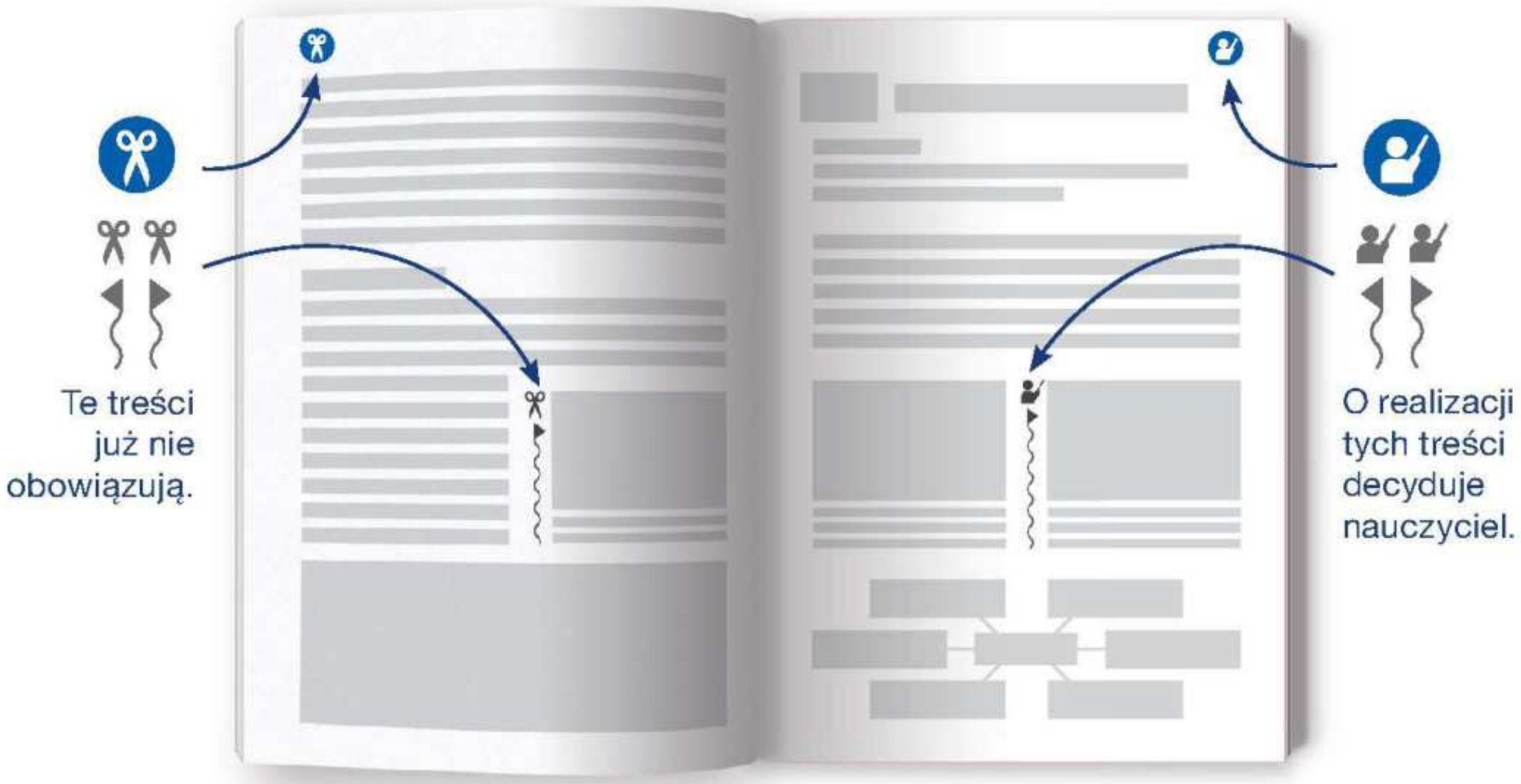
Rozumienie związków przyczynowo-skutkowych

Czytelne infografiki ułatwiają kształcenie umiejętności wykazywania związków między budową poszczególnych struktur organizmu a ich funkcjami.

Analiza doświadczeń

Wszystkie doświadczenia z zakresu funkcjonowania zwierząt zawierają *Wyjaśnienia*, które pomagają wykształcić umiejętność wnioskowania.

W podręczniku znajdziesz oznaczenia treści, które od września 2024 r. nie są już wymagane.



Niebieska ikona na górze strony wskazuje, że na tej stronie znajdują się treści, które nie są wymagane – oznaczono je szarą ikoną i falką.

Nowa Era Sp. z o.o.

www.nowaera.pl nowaera@nowaera.pl

Centrum Kontaktu: 58 721 48 00

ISBN 978-83-267-5086-1