NOWOŚĆ
NOWA
Biologia
na czasie
ZMIANY
W PODSTAWACH
2024
podręcznik w pełni
dostosowany
3
PODRĘCZNIK • LICEUM • TECHNIKUM
ZAKRES ROZSZERZONY
nowa era

NOWA

Biologia na czasie

3

PODRĘCZNIK • LICEUM • TECHNIKUM

ZAKRES ROZSZERZONY

FRANCISZEK DUBERT
MAREK GUZIK
ANNA HELMIN
JOLANTA HOLECZEK
STANISŁAW KRAWCZYK
WŁADYSŁAW ZAMACHOWSKI

nowa era Twoje mocne strony

NOWA 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 Anny Krystyny Sternickiej, mgr. Adama Pukocza, dr Marii Jolanty Piaseckiej.

Etap edukacyjny: III
Typ szkoły: liceum ogólnokształcące i technikum
Rok dopuszczenia: 2026

Numer ewidencyjny w wykazie MEN: 1225/3/2026

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

Podręcznik został opracowany z uwzględnieniem zmian w zasadach polskiej ortografii, uchwalonych przez Radę Języka Polskiego w 2024 r. i obowiązujących od 1.01.2026 r.

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. 2026
ISBN 978-83-267-5349-7

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

Podczas prac redakcyjnych nad niektórymi fragmentami tej publikacji wspierano się narzędziami sztucznej inteligencji z zachowaniem najwyższych standardów wydawniczych.

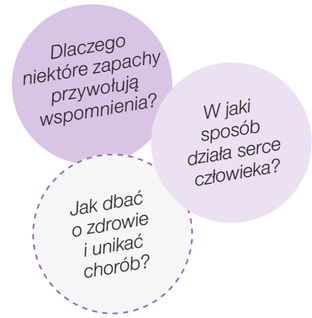
Wykorzystywanie treści niniejszego Utworu, w jakiejkolwiek formie lub w jakimkolwiek procesie, do celów eksploracji tekstu i danych, uczenia maszynowego, rozwoju i/lub szkolenia i/lub wzbogacania sztucznej inteligencji jakiegokolwiek rodzaju jest surowo zabronione.

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:

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 zależności między budową różnych struktur organizmu a pełnionymi przez nie funkcjami.

Do czego służą poszczególne elementy podręcznika?

Przypomnij sobie

Przypomnij sobie to treści omówione w szkole podstawowej lub w klasach 1 i 2. Są one niezbędne do zrozumienia omawianego zagadnienia.

Ważne w tym temacie

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

Polecenia kontrolne

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

Te choroby musisz 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.

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 M.

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. Hierarchiczna budowa organizmu człowieka . . . 6
1.2. Homeostaza . . . 11
Podsumowanie . . . 17
Sposób na zadania . . . 19
Zadania powtórzeniowe . . . 22

2. Układ powłokowy
2.1. Układ powłokowy u zwierząt . . . 24
2.2. Budowa i funkcje skóry . . . 30
2.3. Higiena i choroby skóry . . . 38
Podsumowanie . . . 44
Sposób na zadania . . . 46
Zadania powtórzeniowe . . . 48

3. Układ ruchu
3.1. Ruch u zwierząt . . . 52
3.2. Budowa i funkcje szkieletu . . . 58
3.3. Rodzaje połączeń kości . . . 62
3.4. Elementy szkieletu . . . 66
3.5. Budowa i funkcjonowanie układu mięśniowego 73
3.6. Higiena i choroby układu ruchu . . . 85
Podsumowanie . . . 92
Sposób na zadania . . . 95
Zadania powtórzeniowe . . . 96

4. Układ pokarmowy
4.1. Odżywianie się zwierząt . . . 100
4.2. Organiczne składniki pokarmowe . . . 106
4.3. Rola witamin. Nieorganiczne składniki pokarmowe . . . 113
4.4. Budowa i funkcje układu pokarmowego . . . 121
4.5. Procesy trawienia i wchłaniania . . . 129
4.6. Wątroba – centrum metaboliczne organizmu . . . 138
4.7. Zasady racjonalnego odżywiania się . . . 141
4.8. Choroby układu pokarmowego . . . 145
Podsumowanie . . . 151
Sposób na zadania . . . 157
Zadania powtórzeniowe . . . 159

5. Układ oddechowy
5.1. Układ oddechowy u zwierząt . . . 162
5.2. Budowa i funkcje układu oddechowego . . . 172
5.3. Wentylacja płuc i wymiana gazowa . . . 177
5.4. Zaburzenia funkcjonowania układu oddechowego . . . 190
Podsumowanie . . . 198
Sposób na zadania . . . 202
Zadania powtórzeniowe . . . 203

6. Układ krążenia
6.1. Układ krążenia u zwierząt . . . 206
6.2. Skład i funkcje krwi . . . 212
6.3. Budowa i funkcje układu krwionośnego . . . 218
6.4. Funkcjonowanie układu krwionośnego . . . 225
6.5. Układ limfatyczny . . . 235
6.6. Choroby układu krążenia . . . 240
Podsumowanie . . . 249
Sposób na zadania . . . 253
Zadania powtórzeniowe . . . 254

7. Odporność organizmu
7.1. Budowa i funkcje układu odpornościowego . . 258
7.2. Rodzaje i mechanizmy odporności . . . 265
7.3. Zaburzenia funkcjonowania układu odpornościowego . . . 274
Podsumowanie . . . 280
Sposób na zadania . . . 283
Zadania powtórzeniowe . . . 284

8. Układ moczowy
8.1. Osmoregulacja i wydalanie u zwierząt . . . 288
8.2. Budowa i funkcjonowanie układu moczowego . . . 294
8.3. Choroby układu moczowego . . . 303
Podsumowanie . . . 308
Sposób na zadania . . . 310
Zadania powtórzeniowe . . . 311

9. Układ nerwowy
9.1. Budowa i działanie układu nerwowego . . . 314
9.2. Ośrodkowy układ nerwowy . . . 324
9.3. Obwodowy układ nerwowy . . . 330
9.4. Autonomiczny układ nerwowy . . . 338
9.5. Higiena i choroby układu nerwowego . . . 341
Podsumowanie . . . 347
Sposób na zadania . . . 350
Zadania powtórzeniowe . . . 352

10. Narządy zmysłów
10.1. Narządy zmysłów u zwierząt . . . 356
10.2. Budowa i działanie narządu wzroku . . . 360
10.3. Ucho – narząd słuchu i równowagi . . . 370
10.4. Narządy smaku oraz węchu . . . 378
Podsumowanie . . . 381
Sposób na zadania . . . 384
Zadania powtórzeniowe . . . 385

11. Układ hormonalny
11.1. Budowa i rola układu hormonalnego . . . 388
11.2. Regulacja wydzielania hormonów . . . 398
11.3. Nadczynność i niedoczynność tarczycy. Stres . . . 403
Podsumowanie . . . 409
Sposób na zadania . . . 412
Zadania powtórzeniowe . . . 413

12. Rozmnażanie i rozwój
12.1. Rozmnażanie i rozwój u zwierząt . . . 416
12.2. Budowa i funkcje męskich narządów rozrodczych . . . 422
12.3. Budowa i funkcje żeńskich narządów rozrodczych . . . 427
12.4. Rozwój człowieka. Metody antykoncepcji . . 436
12.5. Higiena i choroby układu rozrodczego . . . 447
Podsumowanie . . . 455
Sposób na zadania . . . 458
Zadania powtórzeniowe . . . 460

Sposób na zadania – odpowiedzi . . . 463
Doświadczenia i obserwacje – odpowiedzi . . . 465
Przydatne terminy . . . 466
Indeks . . . 470
Literatura uzupełniająca . . . 477

1. Organizm człowieka jako funkcjonalna całość

1.1. Hierarchiczna budowa organizmu człowieka

Ważne w tym temacie!

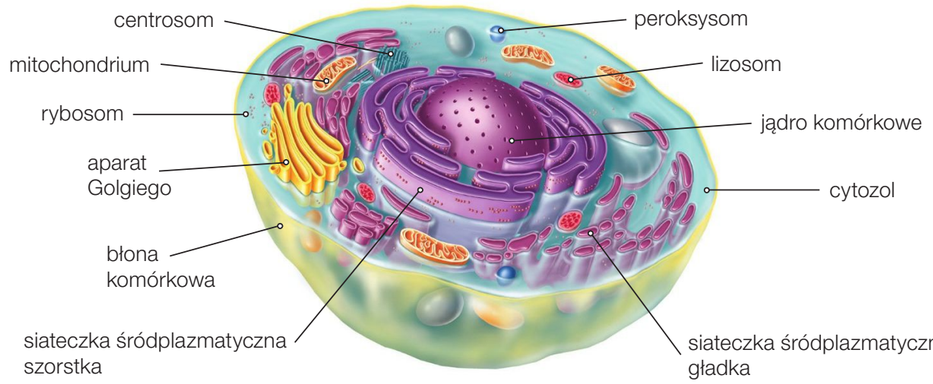
- poziomy organizacji budowy ciała człowieka
- funkcje poszczególnych układów narządów
- powiązania funkcjonalne między układami narządów

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: tkanki nabłonkowa, łączna, mięśniowa i nerwowa. Tkanki tworzą **narządy** – struktury wyspecjalizowane w wykonywaniu określonych czynności. Narządy mogą być zbudowane z jednego bądź kilku typów tkanek, np. mózgowie składa się 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.

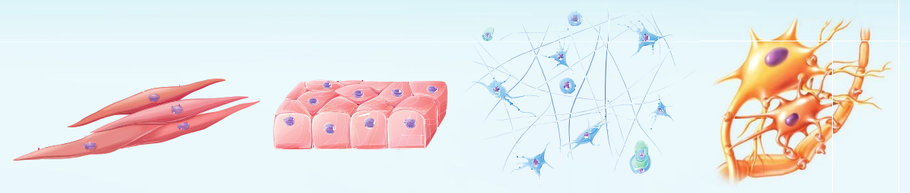


Poziomy organizacji budowy ciała człowieka

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 mniej więcej 200 typów komórek, które tworzą cztery główne rodzaje tkanek: tkanki 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.

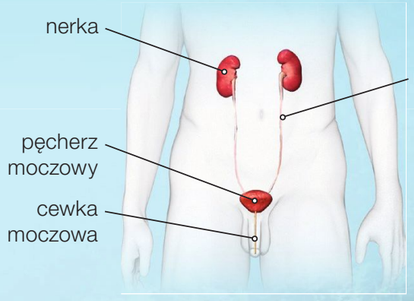
Tkanka
Zespół komórek o podobnej budowie i wspólnym pochodzeniu, który pełni określone funkcje.



Narząd
Zespół tkanek wyspecjalizowanych w pełnieniu określonych funkcji.

Nerka.

Układ narządów
Zespół narządów współdziałających podczas wykonywania danej czynności.



Układ moczowy.

Organizm
Współdziałające układy narządów, które tworzą funkcjonalną całość.

Układy narządów człowieka

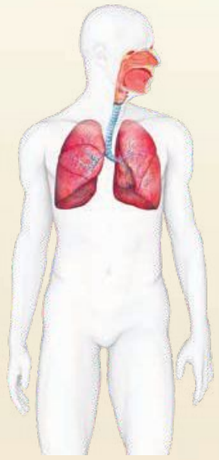
W organizmie człowieka wyróżnia się zwykle 11 układów narządów. Niekiedy układy łączy się w większe grupy. Na przykład układ krwionośny i układ limfatyczny tworzą układ krążenia, a układ szkieletowy i układ mięśniowy tworzą układ ruchu.

Układ mięśniowy

Umożliwia poruszanie się (mięśnie szkieletowe, czyli czynna część układu ruchu) oraz pracę narządów wewnętrznych (pozostałe mięśnie).

Układ szkieletowy

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

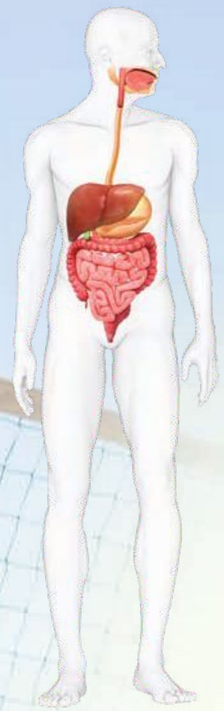


Układ oddechowy

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

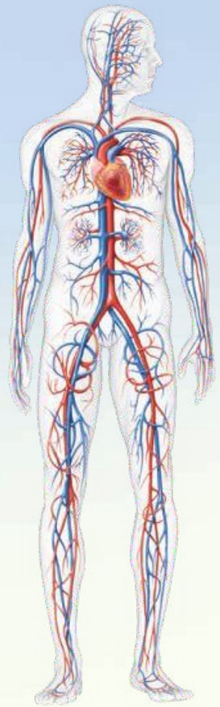
Układ powłokowy (skóra)

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

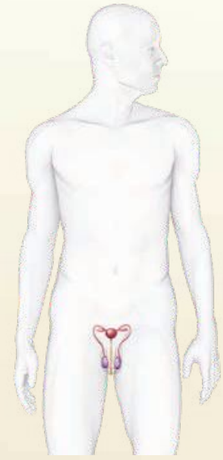
Umożliwia reagowanie na bodźce odbierane ze środowiska. Koordynuje pracę narządów wewnętrznych.

Układ hormonalny

Bierze udział w regulowaniu procesów życiowych za pomocą hormonów.

Układ moczowy

Zapewnia wydalanie niektórych produktów metabolizmu, np. mocznika.

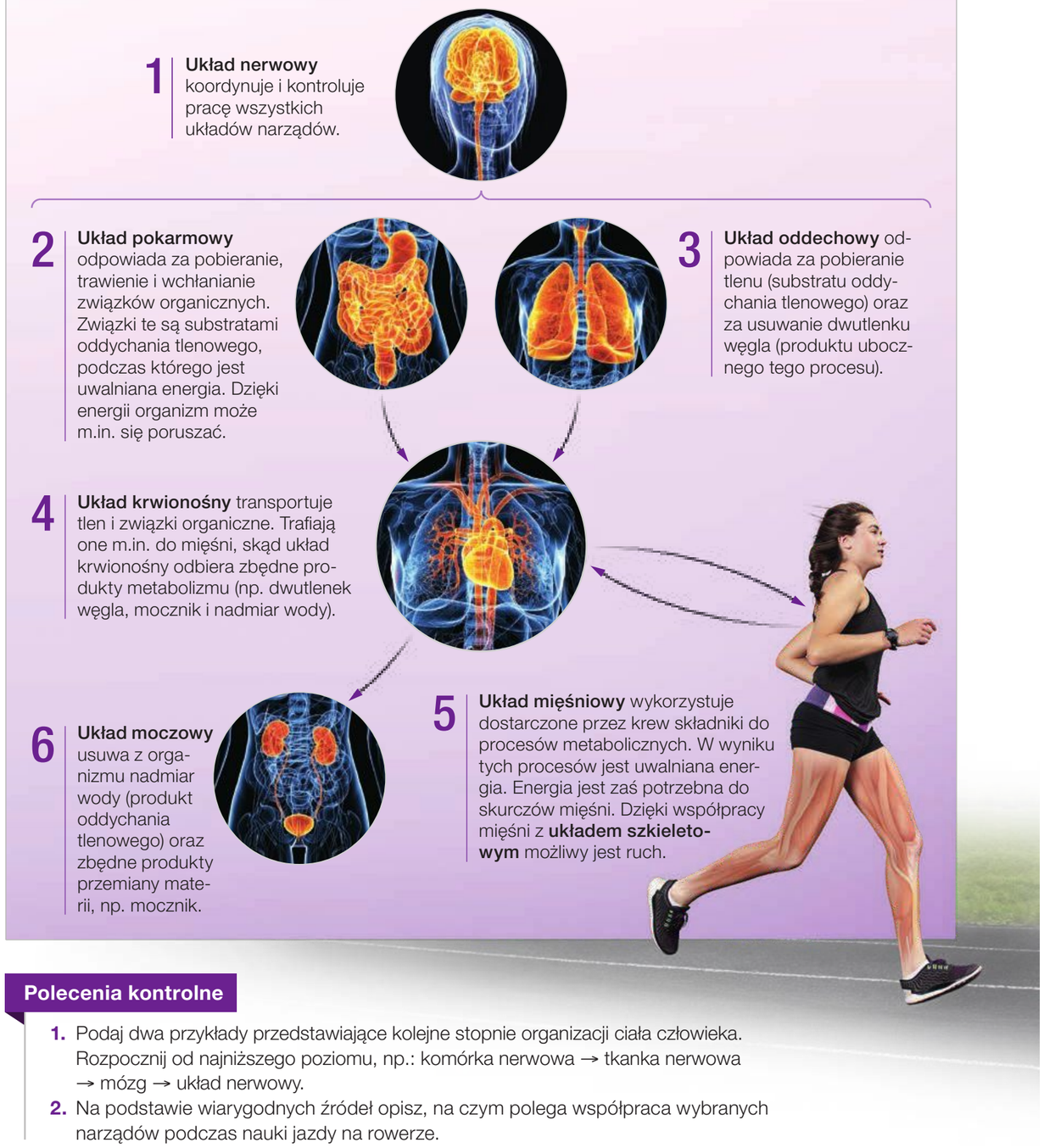


Układ rozrodczy

Umożliwia rozmnażanie się, wytwarza komórki płciowe oraz wydziela hormony płciowe.

Współpraca układów narządów

Układy narządów współpracują ze sobą – dzięki temu cały organizm funkcjonuje prawidłowo. Na przykład poruszanie się wymaga m.in. współpracy układów: mięśniowego, szkieletowego, pokarmowego, oddechowego i krwionośnego. Pracę tych układów narządów regulują układy nerwowy oraz hormonalny.



Polecenia kontrolne

1. Podaj dwa przykłady przedstawiające kolejne stopnie organizacji ciała człowieka. Rozpocznij od najniższego poziomu, np.: komórka nerwowa → tkanka nerwowa → mózg → układ nerwowy.
2. Na podstawie wiarygodnych źródeł opisz, na czym polega współpraca wybranych narządów podczas nauki jazdy na rowerze.

1.2. Homeostaza

Ważne w tym temacie!

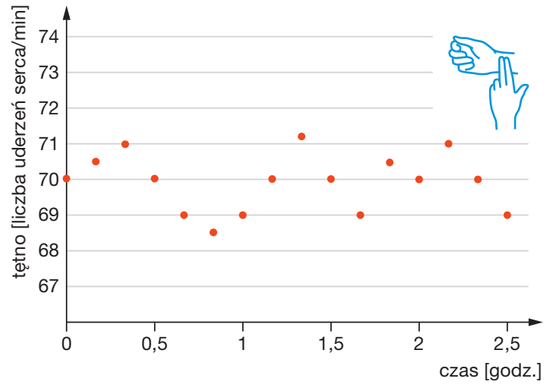
- mechanizmy warunkujące homeostazę
- termoregulacja i regulacja ciśnienia krwi

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

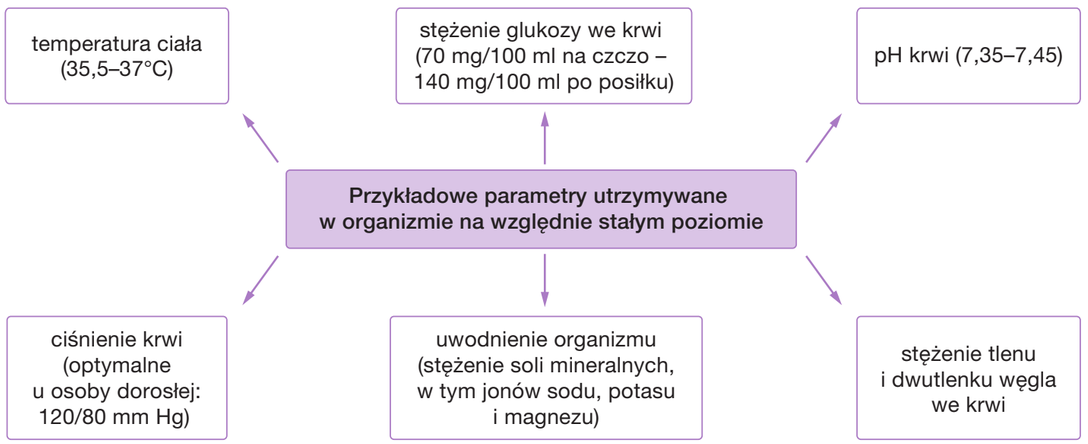
Czym jest homeostaza?

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 i 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.



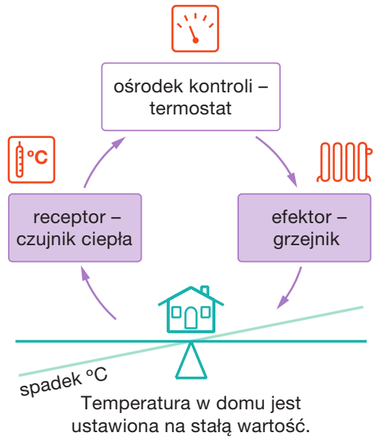
Mechanizmy homeostatyczne

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 prowadzi do zatrzymania pracy efektorów.

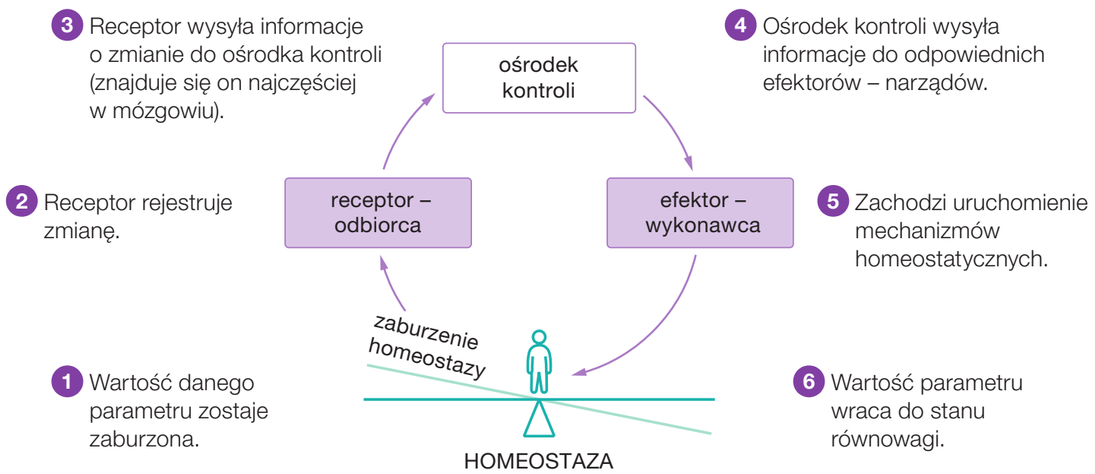
Jak działa system kontroli homeostazy?

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 jest ustawiona na stałą wartość.

Regulacja względnie stałych parametrów fizjologicznych



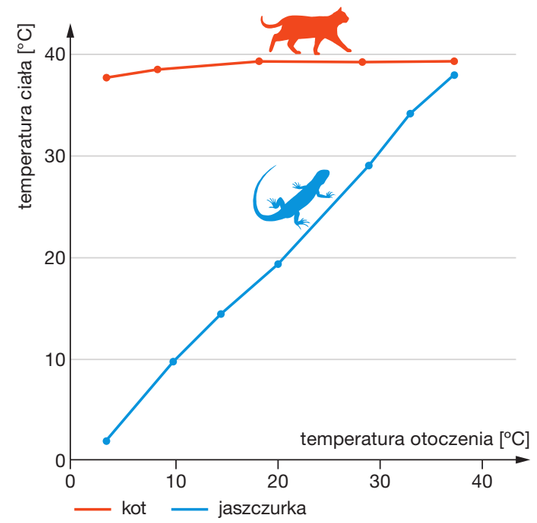
Przypomnij sobie

Zwierzęta zmiennocieplne i stałocieplne

W zależności od tego, jak temperatura otoczenia wpływa na temperaturę ciała i funkcjonowanie zwierząt, wyróżnia się zwierzęta zmiennocieplne i stałocieplne.

Zwierzęta

zmiennocieplne	stałocieplne
• Temperatura ich ciała jest zmienna i zależy od temperatury środowiska zewnętrznego. • Należą do nich bezkręgowce, ryby, płazy i gady.	• Temperatura ich ciała jest względnie stała, niezależna od temperatury środowiska zewnętrznego. • Należą do nich ptaki i ssaki.



Zależność między temperaturą ciała kota (zwierzę stałocieplne) oraz temperaturą ciała jaszczurki (zwierzę zmiennocieplne) a temperaturą otoczenia.

Termoregulacja

Człowiek należy do zwierząt **stałocieplnych** – utrzymuje więc względnie stałą temperaturę ciała, a niezbędne ciepło uzyskuje z procesów metabolicznych. Informacje na temat ciepła są odbierane przez **termoreceptory**, czyli receptory reagujące na zmianę temperatury. Obniżenie temperatury ciała sprawia, że organizm uruchamia **termogenezę**, czyli procesy prowadzące do wytworzenia ciepła. Równocześnie zostaje ograniczona utrata ciepła przez skórę. Z kolei podwyższenie temperatury ciała skutkuje uruchomieniem mechanizmów prowadzących do jej obniżenia – zwiększają się wówczas przepływ krwi przez skórne naczynia krwionośne i wydzielanie potu, a tempo wentylacji płuc przyspiesza.

Regulacja ciśnienia krwi

Prawidłowe ciśnienie krwi pozwala na dostarczanie do komórek niezbędnych do życia składników (m.in. tlenu i glukozy), a także ciepła. Zbyt niskie ciśnienie krwi prowadzi do niedotlenienia i niedożywienia komórek. Zbyt wysokie ciśnienie krwi jest równie niebezpieczne, ponieważ w jego wyniku może dochodzić m.in. do pękania naczyń krwionośnych mózgowia (udaru). Najprostszy mechanizm regulacji ciśnienia krwi polega na modyfikacji tempa pracy serca.

Rodzaje termogenezy

termogeneza drżeniowa	termogeneza 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.

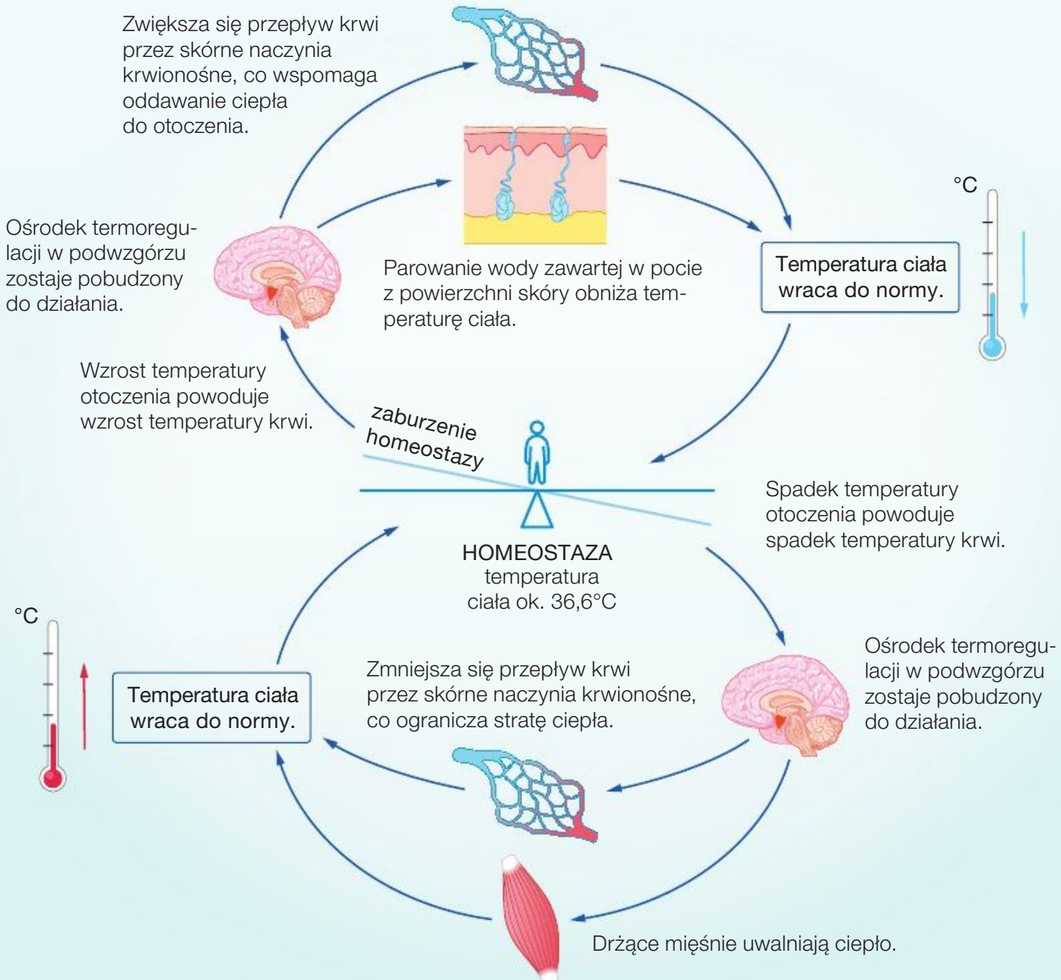
Regulacja podstawowych parametrów organizmu człowieka

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

Termoregulacja

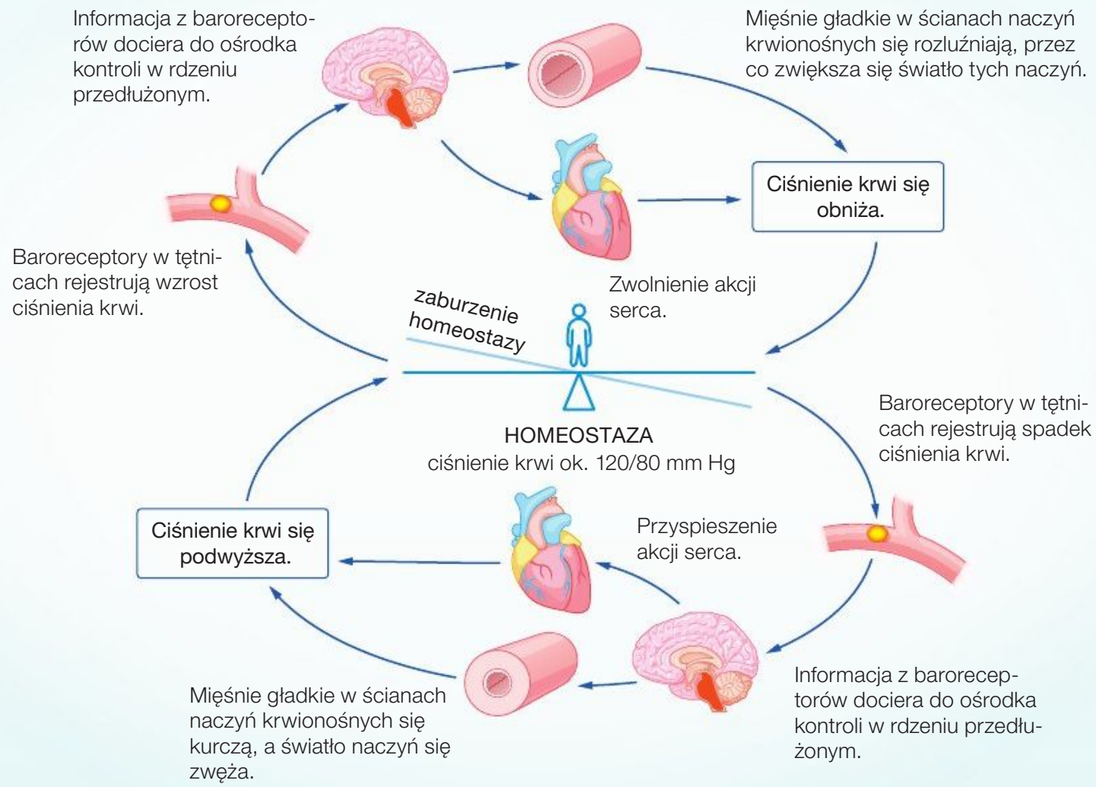
Proces ten polega na utrzymaniu względnie stałej temperatury ciała (ok. 36,6°C) – niezależnie od aktualnej temperatury otoczenia. Obniżenie lub podwyższenie temperatury ciała (najczęściej na skutek zmian w środowisku) wywołuje reakcje odpowiednich narządów. Zmiany te są rejestrowane przez **receptory ciepła i zimna** rozmieszczone w skórze, naczyniach krwionośnych, mózgowiu i przewodzie pokarmowym. Następnie są przesyłane do **ośrodka termoregulacji** zlokalizowanego w podwzgórzu (czyli części mózgowia), który 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.



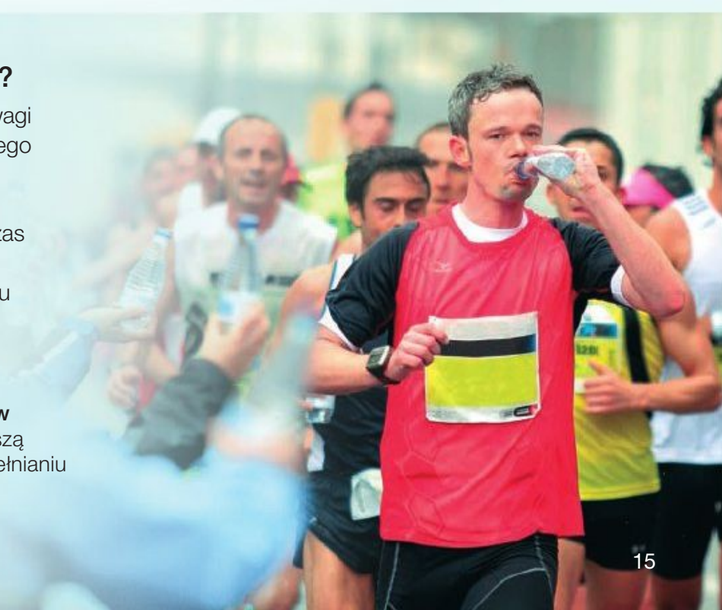
Regulacja poziomu ciśnienia krwi

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 (części mózgowia). Gdy ciśnienie krwi jest zbyt wysokie, światło naczyń krwionośnych rozszerza się i serce zwalnia pracę. W sytuacji odwrotnej światło naczyń krwionośnych się zwęża, a serce przyspiesza pracę.



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.

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, to 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 częste spożywanie słonych chipsów wpływa na homeostazę organizmu.
5. Ustal, jakie mechanizmy lub zjawiska zachodzą u człowieka w sytuacjach spadku i wzrostu temperatury otoczenia. Przerysuj tabelę do zeszytu, a następnie wpisz litery A–F w odpowiednie miejsca.
   Uwaga: Niektóre mechanizmy lub zjawiska mogą być przyporządkowane obu sytuacjom.
   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 ciała spada	Zaburzenie homeostazy – temperatura ciała wzrasta
?	?

Podsumowanie

1 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, który pełni określone funkcje	zespół tkanek wyspecjalizowanych w pełnieniu określonych funkcji	zespół narządów współdziałających podczas wykonywania danej czynności	współdziałające układy narządów, które tworzą funkcjonalną całość

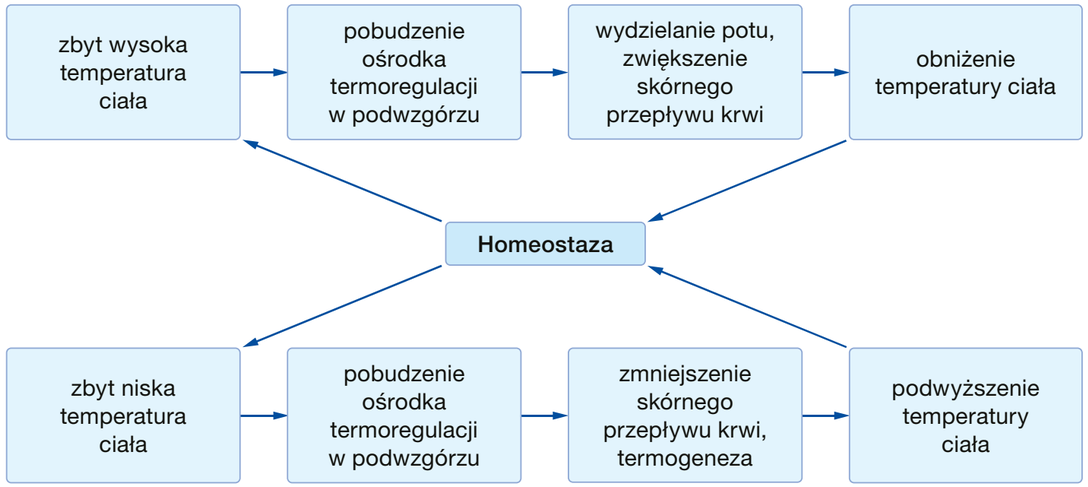
2 Układy narządów człowieka i ich funkcje

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	• Utrzymuje ciężar ciała i nadaje ciału kształt. • Stanowi przyczep dla mięśni. • Ochrania narządy wewnętrzne. • Magazynuje sole mineralne.
Układ mięśniowy	• 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 (m.in. glukozę i gazy oddechowe). • 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. • Wytwarza komórki płciowe. • Wydziela hormony płciowe.

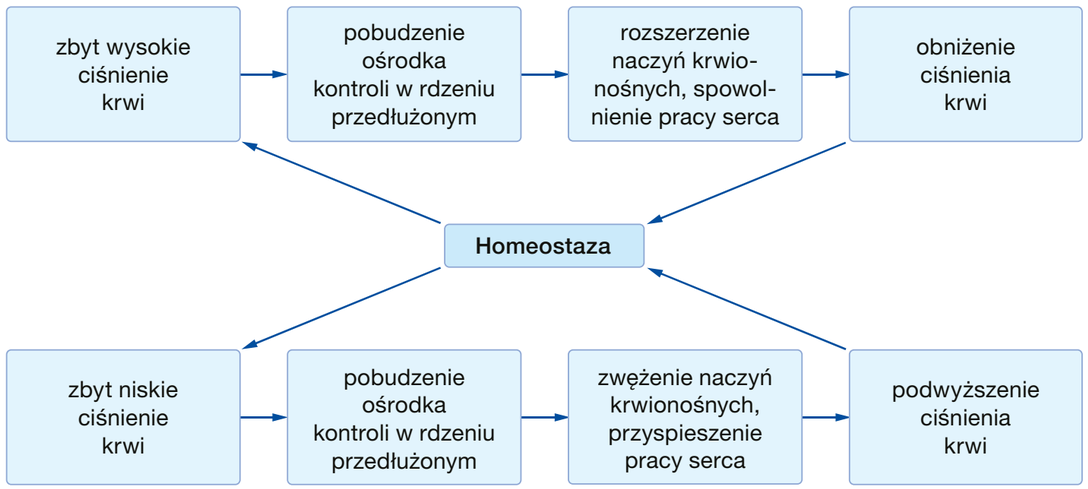
3 **Homeostaza** – zdolność organizmu do utrzymywania względnie stałych warunków środowiska wewnętrznego. Za homeostazę odpowiadają mechanizmy homeostatyczne.

4 Przykłady działania mechanizmów homeostatycznych

Termoregulacja



Regulacja poziomu ciśnienia krwi



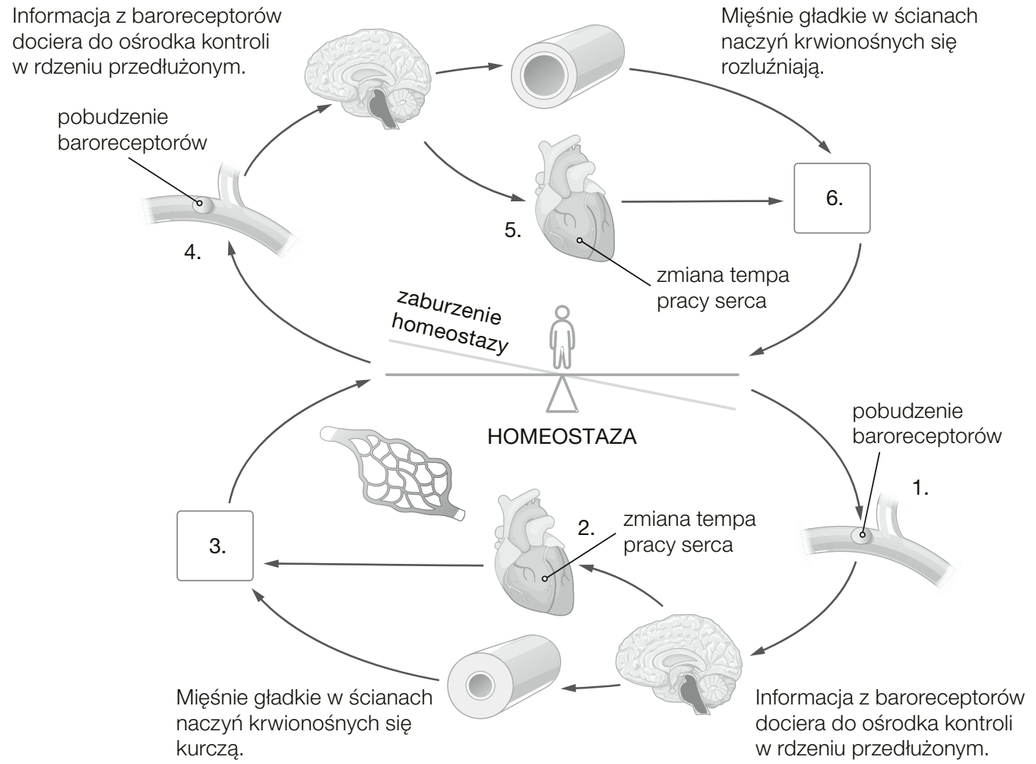
Osmoregulacja

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

Sposób na zadania

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 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 (1–6). Wybierz właściwe określenia spośród podanych.

Przeanalizuj schemat. Zwróć uwagę, że w wyniku pobudzenia baroreceptorów oznaczonego cyfrą 1 dochodzi do kurczenia się mięśni gładkich w naczyniach krwionośnych. Zastanów się, w jakich okolicznościach (w wyniku spadku czy wzrostu ciśnienia krwi) organizm reaguje w opisany sposób.

1. Baroreceptory w tętnicach rejestrują (*spadek* / *wzrost*) ciśnienia krwi.
2. Tempo pracy serca (*spada* / *wzrasta*).

Zastanów się, która reakcja (spadek czy wzrost tempa pracy serca) ma taki sam wpływ na ciśnienie krwi jak skurcz mięśni gładkich w ścianach naczyń krwionośnych.

Przypomnij sobie, jak na ciśnienie krwi wpływa skurcz mięśni w ścianach naczyń krwionośnych. Następnie zastanów się, jak nazywa się proces, który oznaczono cyfrą 2.

Zwróć uwagę, że zjawisko oznaczone cyfrą 4 prowadzi do rozluźnienia mięśni gładkich w naczyniach krwionośnych.

3. Ciśnienie krwi się (*podwyższa* / *obniża*).

4. Baroreceptory w tętnicach rejestrują (*spadek* / *wzrost*) ciśnienia krwi.

5. Tempo pracy serca (*spada* / *wzrasta*).

Zastanów się, która reakcja (spadek czy wzrost tempa pracy serca) ma taki sam wpływ na ciśnienie krwi jak rozluźnienie mięśni gładkich w ścianach naczyń krwionośnych.

6. Ciśnienie krwi się (*podwyższa* / *obniża*).

Przypomnij sobie, czy rozszerzanie się światła naczyń krwionośnych powoduje wzrost czy spadek ciśnienia krwi.

Rozwiązanie:

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

b) Podaj wartość optymalnego ciśnienia krwi u osoby dorosłej.

Optymalne ciśnienie krwi podaje się w odniesieniu do osoby dorosłej podczas spoczynku.

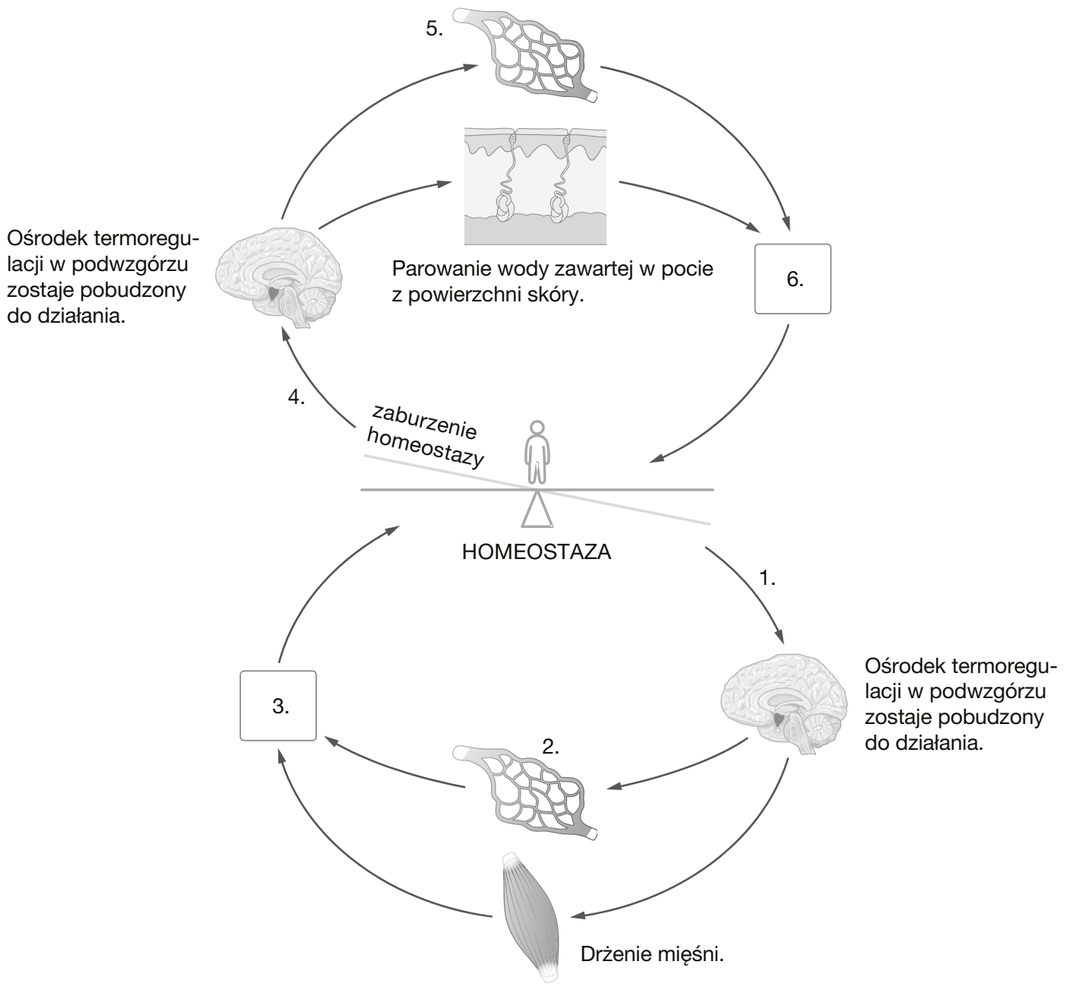
Rozwiązanie:

120/80 mm Hg

Zadanie analogiczne

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Schemat przedstawia regulację temperatury ciała na zasadzie ujemnego sprzężenia zwrotnego.



a) Uzupełnij poniższe opisy tak, aby zawierały prawdziwe informacje dotyczące przedstawionych na schemacie etapów regulacji temperatury ciała (1–6). Wybierz właściwe określenia spośród podanych.

1. Termoreceptory rejestrują (*spadek* / *wzrost*) temperatury otoczenia.
2. Przepływ krwi przez skórne naczynia krwionośne się (*zmniejsza* / *zwiększa*).
3. Temperatura ciała (*się obniża* / *wraca do normy*).
4. Termoreceptory rejestrują (*spadek* / *wzrost*) temperatury otoczenia.
5. Przepływ krwi przez skórne naczynia krwionośne się (*zmniejsza* / *zwiększa*).
6. Temperatura ciała (*się podwyższa* / *wraca do normy*).

b) Podaj zakres optymalnej temperatury ciała człowieka mierzonej na skórze.

Zadania powtórzeniowe

WYKONAJ W ZESZYCIE

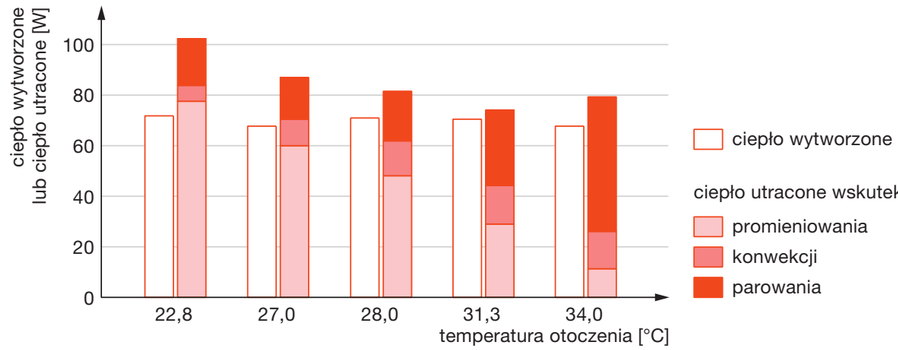
1 Organizm człowieka jest zbudowany z 11 współpracujących ze sobą układów narządów, które tworzą funkcjonalną całość.

Przyporządkuj każdemu układowi narządów (1–4) właściwy opis jego funkcji (A–E).

1. Układ powłokowy.
2. Układ szkieletowy.
3. Układ wydalniczy.
4. Układ limfatyczny.

A. Transportuje tłuszcze.
B. Umożliwia usuwanie niestrawionych resztek pokarmu.
C. Magazynuje sole mineralne.
D. Odpowiada za osmoregulację.
E. Chroni przed infekcjami i urazami mechanicznymi.

2 Na wykresie przedstawiono wytwarzanie i utratę ciepła, które zostały zmierzone u dorosłego mężczyzny w różnej temperaturze otoczenia. Utrata ciepła mogła nastąpić w wyniku parowania, konwekcji (czyli przekazywania ciepła wskutek ruchu materii w cieczy lub gazie) lub promieniowania.



Na podstawie: A.A. Romanovsky, *The thermoregulation system and how it works*, „Handbook of Clinical Neurology" 2018, 156, s. 10.

a) Sformułuj wniosek dotyczący różnicy w ilości ciepła traconego przez dorosłego mężczyznę wskutek wypromieniowania ciepła w zależności od temperatury otoczenia.

b) Sformułuj wniosek dotyczący wpływu badanego zakresu temperatury otoczenia na ilość ciepła wytwarzanego przez dorosłego mężczyznę.

c) Wyjaśnij, dlaczego parowanie wody zawartej w pocie pozwala na pozbycie się ciepła z organizmu człowieka.

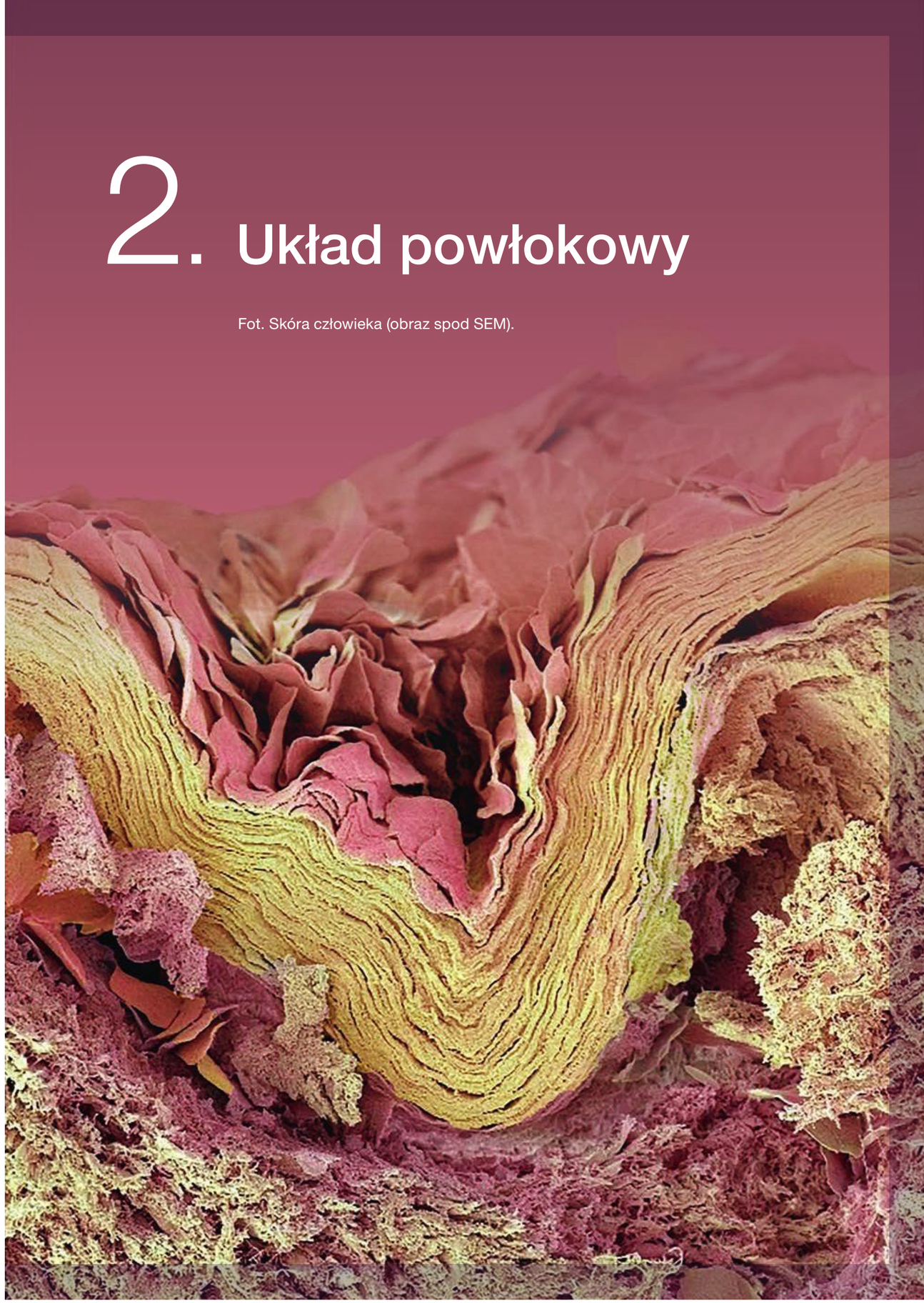
3 „Powtarzająca się ekspozycja na środowisko zimne w miejscu pracy może stanowić [...] ryzyko rozwoju nadciśnienia tętniczego. [...] badania przeprowadzone w Polsce w grupie 102 osób pracujących w temperaturze od –26 do 20°C wykazały, że ciśnienie tętnicze krwi, zarówno skurczowe, jak i rozkurczowe, było znacząco [...] wyższe tak w ciągu dnia, jak i w nocy u pracowników wykonujących pracę w środowisku zimnym [...], w porównaniu z osobami pracującymi w wyższych temperaturach [...]."

Źródło: E. Łastowiecka-Moras, *Praca w środowisku zimnym jako czynnik ryzyka chorób układu krążenia*, „Bezpieczeństwo Pracy" 2014, 2, s. 6.

Wyjaśnij, dlaczego powtarzająca się ekspozycja na środowisko zimne w miejscu pracy powoduje podwyższenie ciśnienia tętniczego krwi.

2. Układ powłokowy

Fot. Skóra człowieka (obraz spod SEM).



2.1. Układ powłokowy u zwierząt

Ważne w tym temacie!

- 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 organizm 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.

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 pokarmowych 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. Powłoka ciała pełni także funkcje obronne (np. epiderma parzydełkowców zawiera komórki parzydełkowe) oraz ochronne (chroni pasożyty przewodu pokarmowego przed strawieniem). Z kolei u ptaków i ssaków umożliwia zachowanie stałej temperatury ciała.

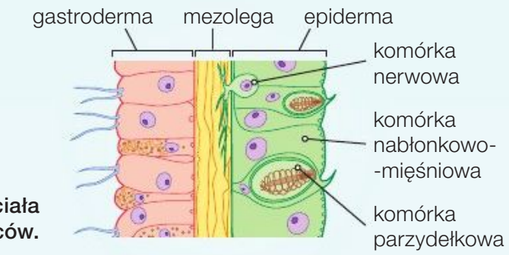
Ciało stawonogów jest pokryte sztywnym, chitynowym oskórkiem (oskórek to wytwór leżącego pod nim nabłonka). Aby rosnąć, organizmy te przechodzą linienie, czyli okresowe zrzucanie oskórka (wylinki).

Powłoki ciała zwierząt bezkręgowych

Ciało większości zwierząt bezkręgowych jest pokryte jednowarstwowym nabłonkiem.

Epiderma

Występuje u **parzydełkowców**. Jest zbudowana głównie z komórek nabłonkowo-mięśniowych. Znajdują się w niej również komórki nerwowe i parzydełkowe.

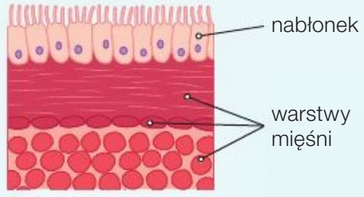


Budowa ściany ciała parzydełkowców.

Powłoka ciała płazińców, nicieni, pierścienic i mięczaków

Płazińce, nicienie i pierścienice mają **wór powłokowo-mięśniowy**. Składa się on z jednowarstwowego nabłonka i mięśni, które mogą tworzyć kilka warstw. U wolno żyjących płazińców nabłonek ma liczne rzęski, które ułatwiają poruszanie się. U nicieni i pierścienic wytworem nabłonka jest białkowy oskórek o funkcji ochronnej.

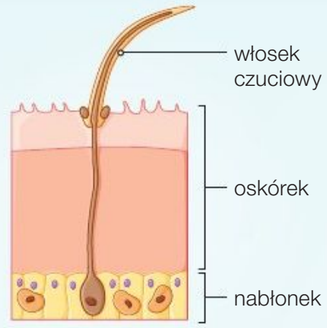
Mięczaki mają **wór powłokowy**, który składa się z jednowarstwowego nabłonka, tkanki łącznej i mięśni. U wielu gatunków nabłonek wytwarza wapienną muszlę.



Budowa ściany ciała wolno żyjącego płazińca.

Nabłonek pokryty oskórkiem

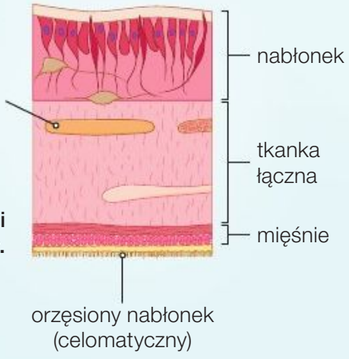
Występuje u **stawonogów**. U tych zwierząt nabłonek wytwarza gruby, sztywny **oskórek** zbudowany przede wszystkim z chityny. Oskórek jest niemal nieprzepuszczalny dla wody i gazów, odznacza się również dużą odpornością na urazy mechaniczne oraz na działanie substancji chemicznych. Ponadto pełni funkcję szkieletu zewnętrznego, ponieważ od wewnątrz są do niego przyczepione mięśnie.



Budowa pokrycia ciała stawonogów.

Powłoka ciała u szkarłupni

Ciało **szkarłupni** jest pokryte nabłonkiem. Pod nim znajduje się warstwa tkanki łącznej, w której rozwinął się mezodermalny szkielet wewnetrzny, zbudowany z wapiennych płytek. Kolejnymi warstwami są słabo rozwinięte mięśnie oraz orzęsiony nabłonek (celomatyczny).

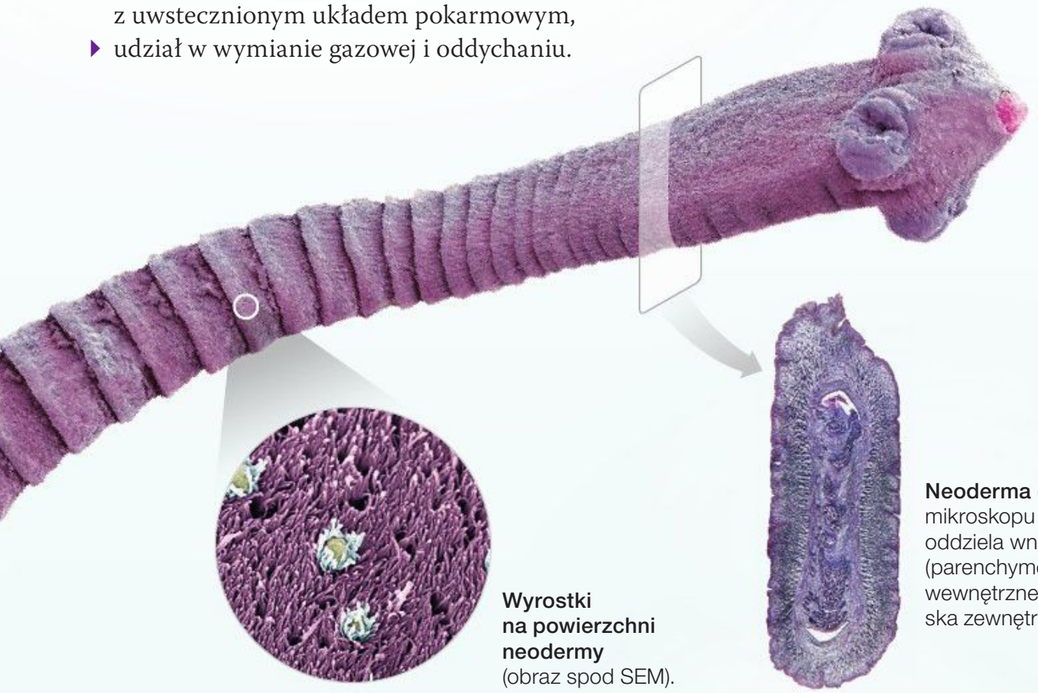


Budowa powłoki ciała rozgwiazdy.

Neoderma

Neoderma 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.

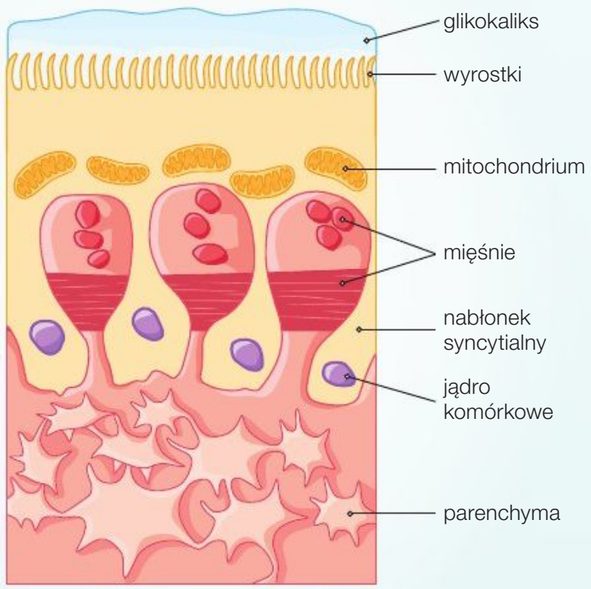


Wyrostki na powierzchni neodermy (obraz spod SEM).

Neoderma (obraz spod mikroskopu optycznego) oddziela wnętrze ciała (parenchymę i narządy wewnętrzne) od środowiska zewnętrznego.

Budowa neodermy

W neodermie komórki nabłonka zlewają się ze sobą, tworząc syncytium (to struktura powstała w wyniku połączenia się wielu komórek) 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 wyrostki, 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 kręgowców

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 np. łuski ryb.

Pióra ptaków są okresowo zmieniane podczas pierzenia. To dlatego przed pierzeniem ptaki żywią się pokarmem bogatym m.in. w białko – w ten sposób dostarczają organizmowi składników odżywczych niezbędnych do budowy nowych piór.

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	–
Ptaki	Skóra cienka, pozbawiona gruczołów (wyjątkiem jest gruczoł kuprowy).	twory rogowe: pióra, łuski, pazury, dziób; gruczoł kuprowy	–
Ssaki	Skóra gruba, ma złożoną budowę. Zewnętrzne warstwy naskórka są zrogowaciałe i stale się łuszczą.	twory rogowe: włosy, pazury, paznokcie, kopyta, łuski, fiszbiny, płytki, róg nosorożca, rogowa warstwa rogów (m.in. u wołowatych); gruczoły: łojowe, potowe, zapachowe, mlekowe	kostny rdzeń rogów

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 chronią organizm m.in. przed uszkodzeniami i urazami.

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

Płazy

Skóra płazów jest naga, cienka i pokryta śluzem produkowanym przez gruczoły śluzowe pochodzenia naskórkowego. Śluz umożliwia wymianę gazową i odgrywa rolę rozpuszczalnika tlenu. Zmniejsza również tarcie podczas pływania, a na lądzie chłodzi powierzchnię ciała. W skórze płazów znajdują się także gruczoły jadowe, których wydzielina pełni funkcję obronną. 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.

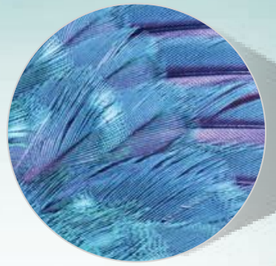
Gady

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 przed 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 termoizolacji. 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, fiszbiny oraz gruczoły (łojowe, potowe, zapachowe, a u samic także mlekowe). Wytworami skóry właściwej są kostne rdzenie rogów (np. u wołowatych).

Włosy ssaków (obraz spod SEM) są wytworami naskórka.

Polecenia kontrolne

1. Omów dwie funkcje powłoki ciała zwierząt.
2. Podaj jedną wspólną cechę budowy powłok ciała wszystkich gromad kręgowców.
3. Podaj po jednym przykładzie wytworów skóry właściwej i naskórka u kręgowców.

2.2. Budowa i funkcje skóry

Ważne w tym temacie!

- związek między budową a funkcjami skóry
- rola skóry w termoregulacji 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 (m.in. bakterie i wirusy) czy toksyny. Narząd ten pełni także funkcje wydalnicze, wydzielnicze, termoregulacyjne i receptorowe, dzięki czemu przyczynia się do utrzymania homeostazy organizmu.

Budowa skóry

Skóra człowieka jest zbudowana z naskórka i ze znajdującej się pod nim skóry właściwej.

Naskórek to zewnętrzna warstwa skóry. Jest on zbudowany z nabłonka wielowarstwowego płaskiego rogowaciejącego. Komórki naskórka tworzą dwie warstwy:

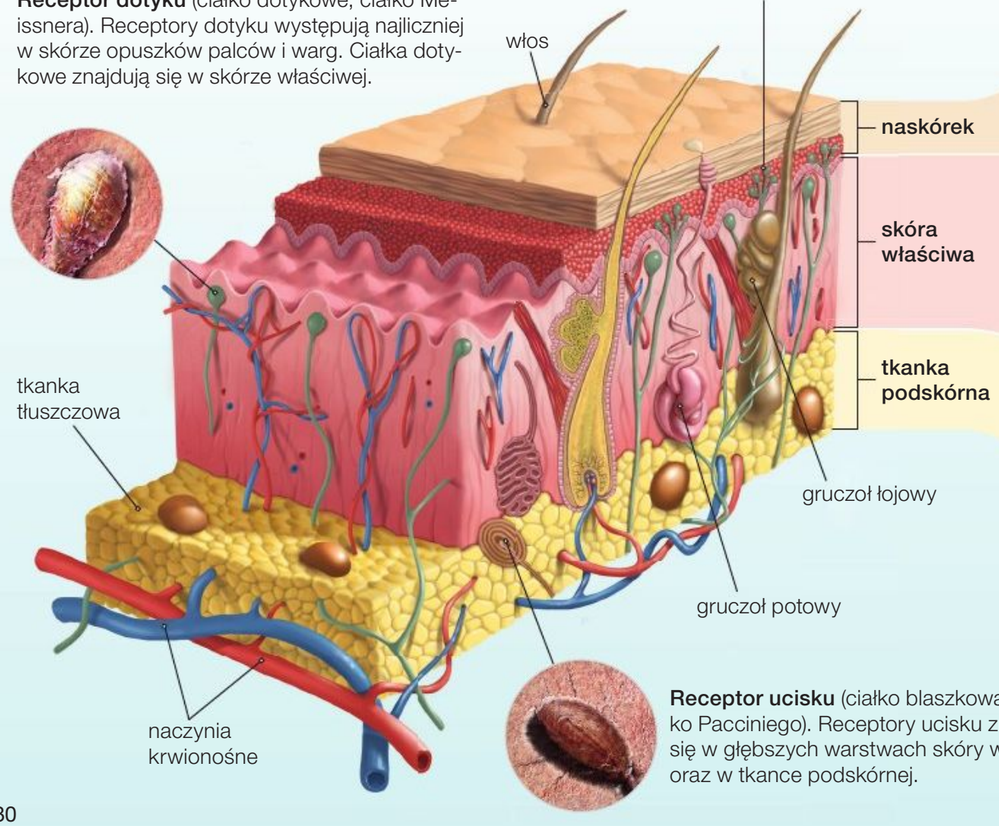
- **warstwę zrogowaciałą** – powierzchniowa warstwa skóry, która jest zbudowana z martwych, płaskich, złuszczających się komórek. W warstwie zrogowaciałej oraz tuż pod nią znajdują się hydrofobowe **glikolipidy**, które zabezpieczają organizm przed utratą wody lub przed jej napływem. Ponadto komórki warstwy zrogowaciałej naskórka zawierają dużą ilość **keratyn** – białek, które są nieprzepuszczalne dla wody oraz zapewniają skórze wytrzymałość mechaniczną;
- **warstwę rozrodczą** – komórki tej warstwy dzielą się mitotycznie, a powstałe komórki potomne stopniowo przesuwają się ku powierzchni naskórka i rogowacieją. Warstwa rozrodcza naskórka zawiera komórki barwnikowe – melanocyty – które produkują melaniny. Melaniny to grupa barwników, które powstają z aminokwasu – tyrozyny. Odpowiadają one za zabarwienie skóry i ochronę przed szkodliwym wpływem promieniowania UV.

Skóra i tkanka podskórna

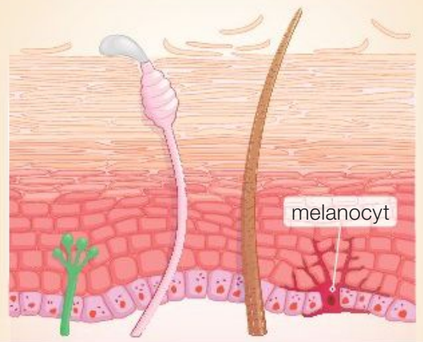
Skóra człowieka składa się z dwóch głównych warstw ułożonych jedna na drugiej: **z naskórka** i **ze skóry właściwej**. Pod nimi znajduje się **tkanka podskórna**.

Receptor dotyku (ciałko dotykowe, ciałko Meissnera). Receptory dotyku występują najliczniej w skórze opuszków palców i warg. Ciałka dotykowe znajdują się w skórze właściwej.

Wolne zakończenia nerwowe – receptory bólu. Są to nagie zakończenia dendrytów, które występują w naskórku i w skórze właściwej.

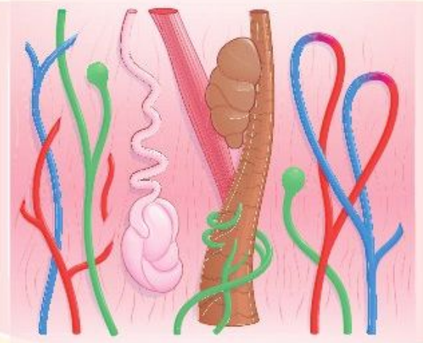


Receptor ucisku (ciałko blaszkowate, ciałko Pacciniego). Receptory ucisku znajdują się w głębszych warstwach skóry właściwej oraz w tkance podskórnej.



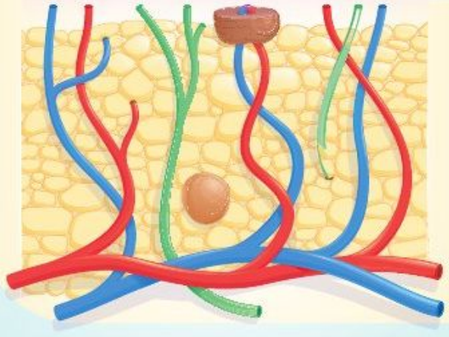
Naskórek

- **Budowa:**
  - nabłonek wielowarstwowy płaski rogowaciejący, który tworzy dwie warstwy: warstwę zrogowaciałą (zbudowaną z martwych komórek) i warstwę rozrodczą (zbudowaną z żywych komórek),
  - zawiera m.in. glikolipidy, keratyny i melanocyty (komórki produkujące melaniny).
- **Funkcje:**
  - chroni przed utratą lub napływem wody,
  - stanowi barierę dla drobnoustrojów chorobotwórczych,
  - chroni przed szkodliwym wpływem promieniowania UV.



Skóra właściwa

- **Budowa:**
  - tkanka łączna właściwa zbita,
  - zawiera m.in. włókna kolagenowe i elastynowe, naczynia krwionośne, receptory, gruczoły.
- **Funkcje:**
  - zapewnia skórze wytrzymałość i sprężystość,
  - odżywia naskórek,
  - uczestniczy w termoregulacji,
  - odbiera bodźce ze środowiska zewnętrznego,
  - wydziela pot i łój.



Tkanka podskórna

- **Budowa:**
  - tkanka łączna właściwa luźna i tkanka tłuszczowa żółta,
  - zawiera m.in. dolne odcinki korzeni włosów oraz niektóre receptory.
- **Funkcje:**
  - termoizolacja (ogranicza utratę ciepła),
  - chroni ciało przed uszkodzeniami mechanicznymi,
  - stanowi rezerwę energetyczną organizmu.

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.

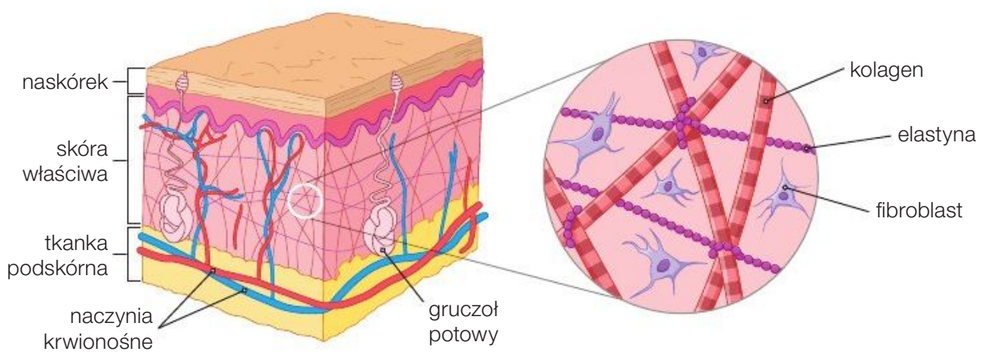
Układ linii papilarnych jest unikatową cechą każdego człowieka. Dzięki temu służą one do identyfikacji osób, m.in. przestępców lub ofiar wypadków.

Skóra właściwa to warstwa skóry zbudowana głównie z tkanki łącznej właściwej zbitej. Jej zasadniczym elementem są **włókna kolagenowe** i **włókna elastynowe**, dzięki którym skóra jest wytrzymała i sprężysta. W powierzchniowej części skóry właściwej znajdują się liczne uwypuklenia, które zwiększają powierzchnię styku z naskórkiem. Ułatwia to odżywianie naskórka, który nie ma własnego unaczynienia (tlen i substancje odżywcze docierają do niego za pośrednictwem naczyń skóry właściwej). Naczynia krwionośne skóry właściwej biorą też udział w termoregulacji. W skórze właściwej znajdują się również liczne receptory, gruczoły łojowe, gruczoły potowe oraz włosy.

Rozstępy tworzą się w wyniku zbyt silnego rozciągania skóry (np. podczas gwałtownego wzrostu, tycia lub ciąży), gdy włókna kolagenowe i elastynowe ulegają rozerwaniu.

Tkanka podskórna

Pod skórą jest położona **tkanka podskórna**, zbudowana z tkanki łącznej właściwej luźnej oraz z tkanki tłuszczowej żółtej. W tkance podskórnej znajdują się dolne odcinki korzeni włosów, części wydzielnicze gruczołów potowych i niektóre receptory. Podściółka tłuszczowa stanowi zapas substancji odżywczych oraz chroni przed szkodliwym wpływem niskiej temperatury i urazami mechanicznymi.



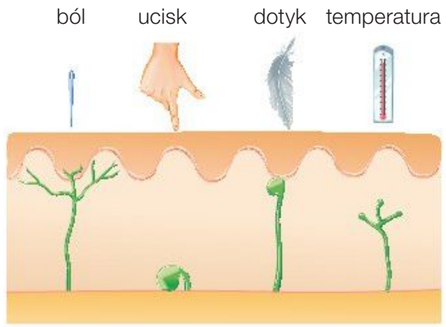
Włókna kolagenowe i elastynowe nadają skórze wytrzymałość oraz sprężystość, a tym samym zapewniają odporność na ucisk i rozciąganie.

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. To dlatego skóra jest czasem nazywana **narządem czucia powierzchniowego**.

Większość receptorów ma zdolność **adaptacji**. Oznacza to, że jeśli bodziec działa na organizm przez długi czas, to receptor przestaje odbierać o nim informacje.

Przykłady receptorów w skórze



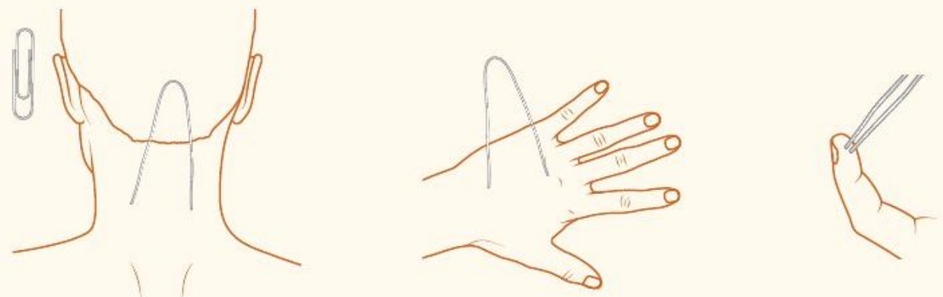
Obserwacja

Badanie gęstości rozmieszczenia receptorów w skórze wybranych części ciała

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

   Przygotuj: drut o długości ok. 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 w taki sam sposób dotknij skóry badanej osoby.
   3. Czynność powtarzaj do czasu, aż dotknięcie obiema końcówkami drutu będzie odczuwane jako dotknięcie jedną końcówką. Zapisz wynik.
   4. Powtórz obserwację na skórze górnej strony ręki oraz na opuszce palca.
   5. Oba wyniki zapisz w zeszycie.

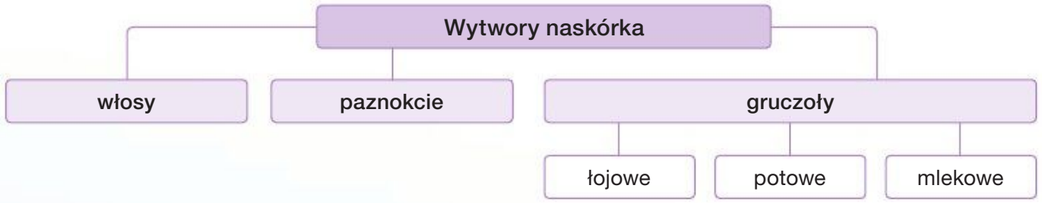
Sposób przeprowadzenia obserwacji



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

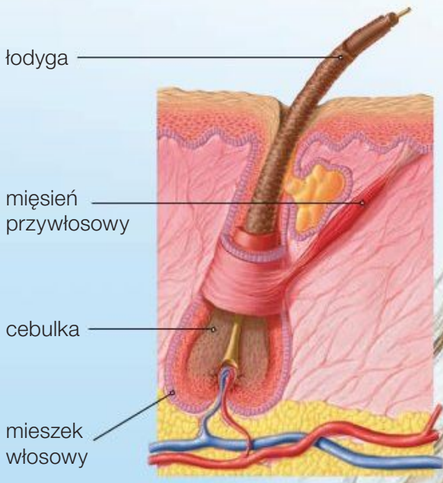
Wytwory naskórka

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.



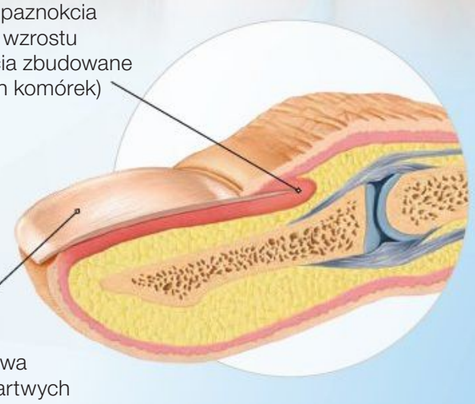
Włosy

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

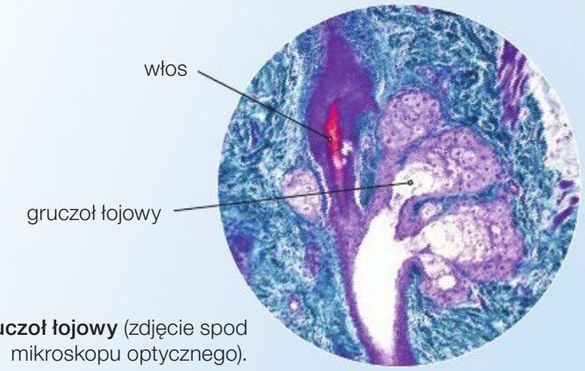
Paznokcie to keratynowe osłony znajdujące się na końcówkach palców. Widoczną częścią paznokci jest płytka paznokciowa, która wyrasta z macierzy ukrytej pod warstwą skóry. Paznokcie chronią końcówki palców i wzmacniają odbiór wrażeń dotykowych (które zachodzą przez opuszki palców).



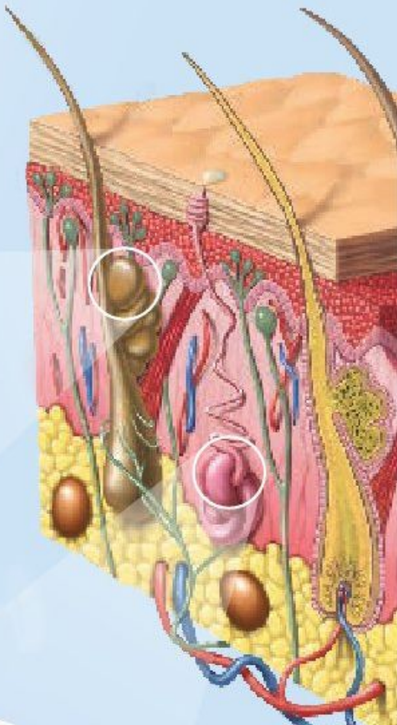
Gruczoły

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).



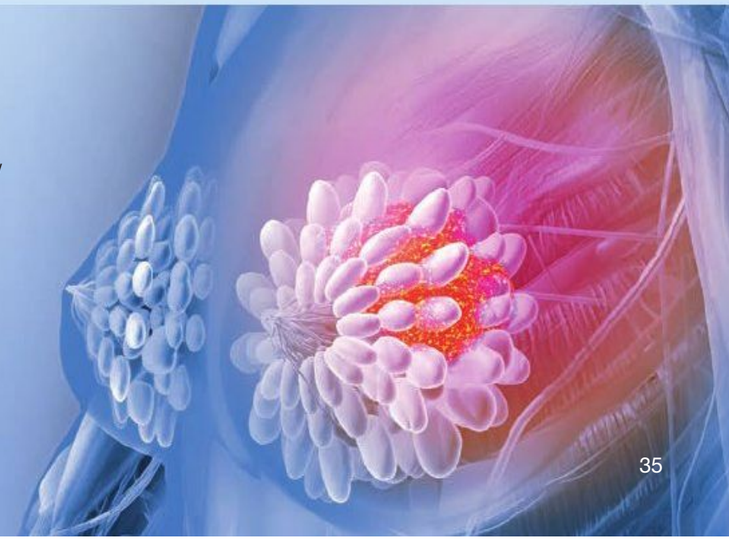
Gruczoły potowe

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.

Funkcje skóry

Wydzielnicza

Skóra produkuje i wydziela:
- pot (przez gruczoły potowe),
- łój (przez gruczoły łojowe),
- mleko (przez gruczoły mlekowe).

Syntetyzująca

W skórze pod wpływem UVB zachodzi synteza witaminy D_3.

Receptorowa

Dzięki obecności receptorów bólu, ucisku, dotyku, ciepła oraz zimna skóra umożliwia odbiór bodźców ze środowiska zewnętrznego.

Termoregulacyjna

Dzięki obecności gruczołów potowych oraz skórnych naczyń krwionośnych skóra umożliwia oddawanie nadmiaru ciepła do środowiska (w sytuacji przegrzania) lub ograniczanie strat ciepła (w sytuacji wyziębienia).

Wydalnicza

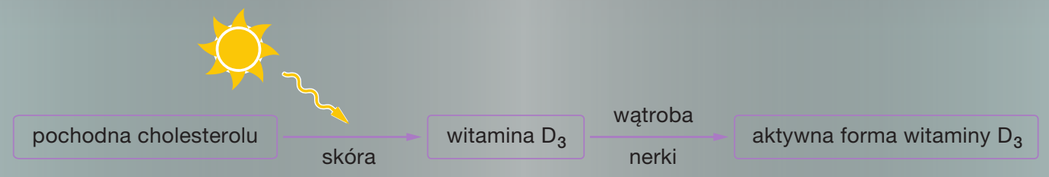
Gruczoły potowe wydzielają pot, dzięki czemu organizm usuwa do środowiska zewnętrznego nadmiar wody i soli mineralnych oraz mocznik.

Ochronna

Skóra pełni funkcję ochronną dzięki:
- zwartemu układowi komórek naskórka, które są ułożone w wiele warstw – utrudnia to dostęp do wnętrza organizmu drobnoustrojom chorobotwórczym i substancjom chemicznym, stanowi też ochronę przed urazami mechanicznymi,
- obecności nierozpuszczalnych w wodzie glikolipidów i keratyny – chroni to przed utratą wody z organizmu,
- niskiemu pH skóry – utrudnia to rozwój drobnoustrojów chorobotwórczych na powierzchni skóry,
- obecności melanin – stanowi to ochronę przez promieniowaniem słonecznym.

Jak skóra syntetyzuje witaminę D_3?

W skórze, głównie w warstwie rozrodczej naskórka, pod wpływem promieniowania UVB i ciepła pochodna cholesterolu (7-dehydrocholesterol) ulega przemianie w nieaktywną witaminę D_3. Witamina ta jest transportowana do wątroby, a następnie do nerek, gdzie jest przekształcana w formę aktywną. Główną funkcją witaminy D_3 w organizmie jest pobudzanie wchłaniania jonów wapnia przez błonę śluzową jelit. 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.

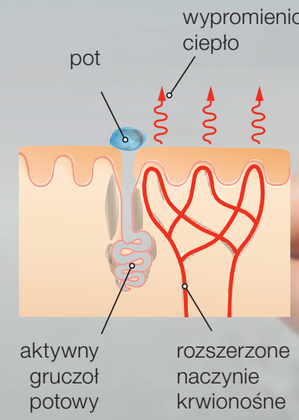


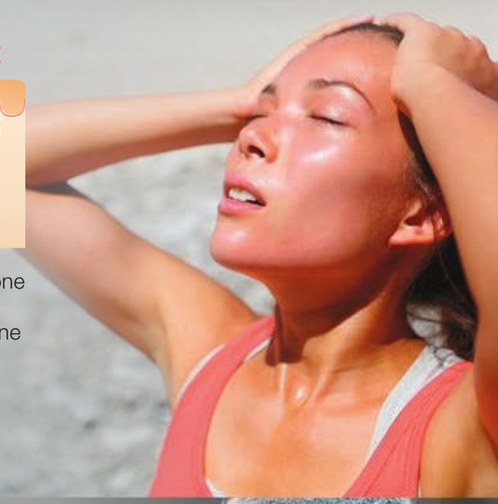
Udział skóry w termoregulacji

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

Ochrona przed przegrzaniem

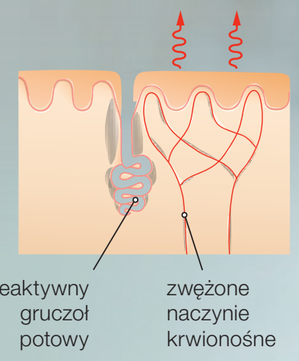
Kiedy w środowisku panuje zbyt wysoka temperatura, gruczoły potowe są aktywne i wydzielają pot, którego głównym składnikiem jest woda. Charakteryzuje się ona dużym ciepłem parowania – zmiana stanu skupienia wody z ciekłego na gazowy wymaga dostarczenia dużej ilości ciepła. Ciepło jest pochłaniane przez cząsteczki wody z powierzchni ciała. W efekcie woda paruje, dzięki czemu nadmiar ciepła zostaje odprowadzony, a temperatura ciała może pozostać względnie stała. Ponadto skórne naczynia krwionośne się rozszerzają, dzięki czemu przepływa przez nie większa ilość krwi, która oddaje nadmiar ciepła do otoczenia (głównie na drodze promieniowania).

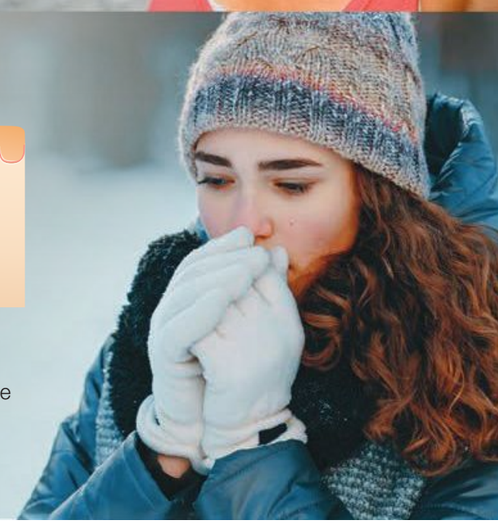




Ochrona przed wyziębieniem

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





Polecenia kontrolne

1. Wykaż związek między budową a funkcjami skóry.
2. Opisz, w jaki sposób skóra bierze udział w utrzymywaniu 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. Przedstaw, w jaki sposób organizm wytwarza aktywną formę witaminy D_3.

2.3. Higiena i choroby skóry

Ważne w tym temacie!

- przyczyny i profilaktyka wybranych chorób skóry
- związek między nadmierną ekspozycją na promieniowanie UV a starzeniem się skóry i ryzykiem rozwoju nowotworów

Skóra 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

Odpowiednia higiena chroni skórę przed uszkodzeniami i chorobami, a także wspomaga ją w pełnieniu różnych funkcji.

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 mniej więcej 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. 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.

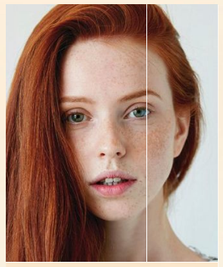
Objawy oparzenia słonecznego to ból, zaczerwienienie skóry lub pojawienie się na niej pęcherzy.

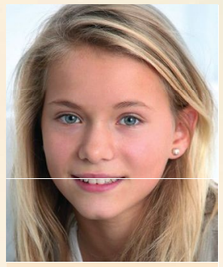
Oparzenia słoneczne

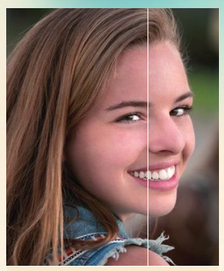
Nadmierne opalanie się może doprowadzić do oparzeń skóry, dlatego przed wyjściem z domu w słoneczne dni należy stosować kosmetyki ochronne z filtrem o dużej zdolności pochłaniania promieniowania UV. Trzeba także pamiętać o ograniczaniu czasu opalania, szczególnie między godz. 11.00 a 14.00.

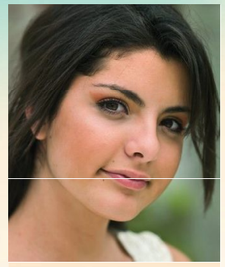
Fototyp skóry

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.

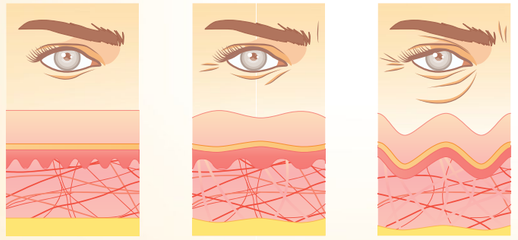
Czynniki ryzyka rozwoju nowotworów skóry:

- 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 może być związane ze stosowaniem niektórych leków, ziół czy kosmetyków.

Dziurawiec zwyczajny 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.

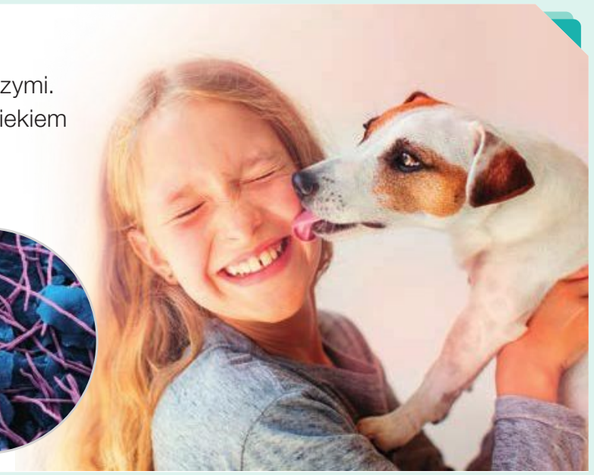
W miarę starzenia się organizmu zmniejsza się ilość włókien kolagenowych występujących w skórze. Powoduje to spadek jej elastyczności. W efekcie skóra wiotczeje i pojawiają się na niej zmarszczki.

Choroby skóry

Grzybice

- **Przyczyna:** zakażenie 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 przez kontakt z zakażonymi zwierzętami domowymi.



Choroby pasożytnicze

Wszawica

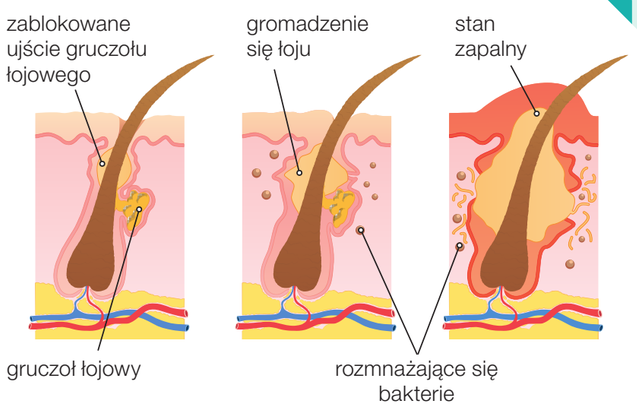
- **Przyczyna:** zarażenie pasożytniczym owadem – wszą ludzką.
- **Droga zarażenia:** bezpośrednio przez kontakt z zarażoną osobą lub pośrednio – przez stosowanie wspólnych przedmiotów, np. szczotek do włosów, nakryć głowy i pościeli.
- **Profilaktyka:** systematyczne przeglądanie włosów, przestrzeganie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

Świerzb

- **Przyczyna:** zarażenie pasożytniczym pajęczakiem – świerzbowcem ludzkim.
- **Droga zarażenia:** bezpośrednio przez kontakt z chorym lub pośrednio – najczęściej przez bieliznę pościelową.
- **Profilaktyka:** przestrzeganie zasad higieny, nieużywanie wspólnych przedmiotów higieny osobistej.

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.

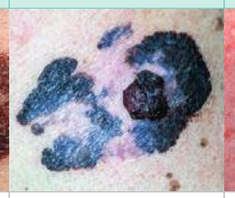
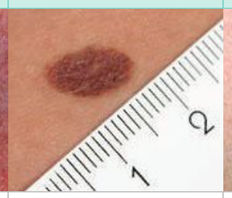


Etapy tworzenia się krost.

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, kontrola znamion barwnikowych występujących na skórze.

Alfabet czerniaka

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

Choroba ogólnoustrojowa z objawami skórnymi

Ospa wietrzna – choroba wirusowa

- **Przyczyna:** zakażenie wirusem ospy wietrznej.
- **Droga zakażenia:** droga kropelkowa.
- **Profilaktyka:** szczepienia ochronne, unikanie kontaktu z osobami chorymi, przestrzeganie zasad higieny.

Charakterystycznym objawem ospy jest wysypka widoczna głównie na skórze głowy i tułowia – ma ona postać czerwonych grudek, które po kilku dniach zasychają.

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 dwa czynniki ryzyka rozwoju nowotworów skóry.

Podsumowanie

1 Budowa skóry

Skóra

naskórek

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

skóra właściwa

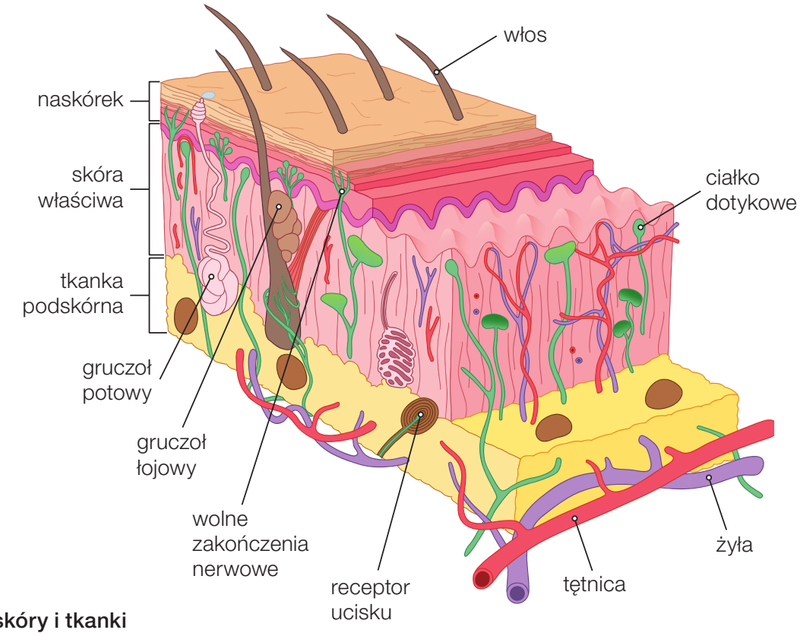
Jest zbudowana z tkanki łącznej właściwej zbitej. Znajdują się w niej naczynia krwionośne, receptory, gruczoły i mieszki włosowe.

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 melaniny.



Budowa skóry i tkanki podskórnej.

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

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

3 Wytwory naskórka i ich funkcje

Wytwory naskórka	Funkcje
Włosy	• Chronią ciało przed szkodliwymi czynnikami środowiska. • Pełnią funkcję termoizolacyjną (u człowieka częściowo 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	• 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 melanin
Wydzielnicza	• wydzielanie łoju, mleka oraz potu	• gruczoły łojowe, mlekowe i potowe
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

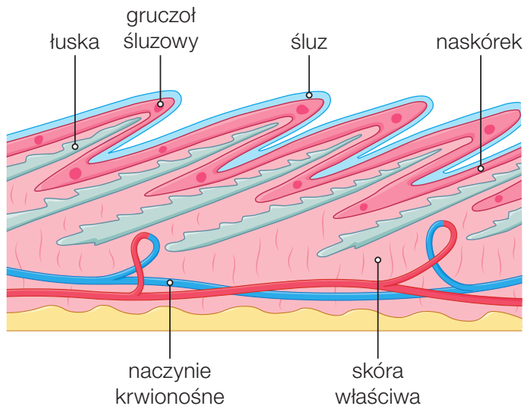
Nadmiar promieniowania UV powoduje

- 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 Rysunek przedstawia budowę skóry ryb.



a) Uzupełnij poniższe zdania tak, aby zawierały prawdziwe informacje na temat skóry ryb. Wybierz właściwe określenia spośród podanych.

Naskórek to zewnętrzna warstwa skóry. Popatrz na dołączony do zadania rysunek i przeanalizuj grubość naskórka u ryb.

Skóra ryb składa się z (*cienkiego* / *grubego*) naskórka zbudowanego z tkanki (*nabłonkowej* / *łącznej*) oraz ze skóry właściwej zbudowanej z tkanki (*nabłonkowej* / *łącznej*).

Przypomnij sobie budowę i funkcję tkanki nabłonkowej oraz tkanki łącznej. Zastanów się: który rodzaj tkanki odpowiada naskórkowi, a który – skórze właściwej?

Rozwiązanie:
Skóra ryb składa się z (*cienkiego* / *grubego*) naskórka zbudowanego z tkanki (*nabłonkowej* / *łącznej*) oraz ze skóry właściwej zbudowanej z tkanki (*nabłonkowej* / *łącznej*).

Przeanalizuj rysunek. Czy widzisz, w której warstwie skóry są zagłębione łuski?

b) Określ, która warstwa skóry ryby produkuje łuski.

Rozwiązanie:
skóra właściwa

c) Wykaż związek między obecnością łusek pokrytych śluzem a środowiskiem życia ryb.

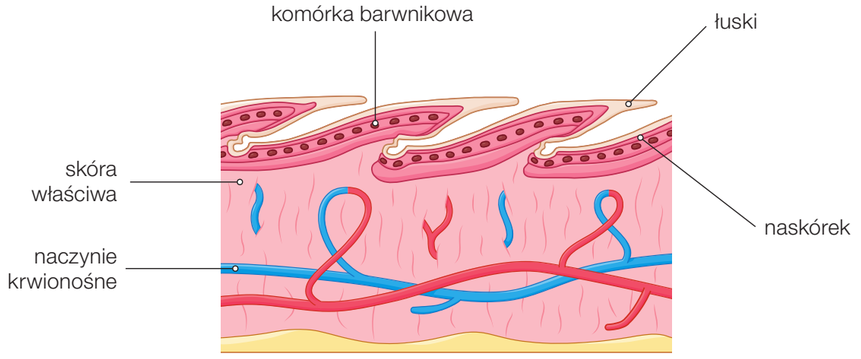
Ryby żyją w środowisku wodnym. Zastanów się, w jaki sposób łuski pokryte śluzem ułatwiają rybom życie w takim środowisku.

Rozwiązanie:
Łuski pokryte śluzem zmniejszają opór wody i ułatwiają rybie poruszanie się.

Zadanie analogiczne

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Rysunek przedstawia budowę skóry gadów.



a) Uzupełnij poniższe zdania tak, aby zawierały prawdziwe informacje na temat skóry gadów. Wybierz właściwe określenia spośród podanych.

Skóra gadów składa się ze skóry właściwej zbudowanej z tkanki (*nabłonkowej* / *łącznej*) oraz z naskórka zbudowanego z tkanki (*nabłonkowej* / *łącznej*).

b) Określ, która warstwa skóry gadów produkuje łuski.

c) Wykaż związek między obecnością skóry pokrytej łuskami a środowiskiem życia gadów.

Zadania powtórzeniowe

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 „Za kolor naszej skóry odpowiadają pigmenty [barwniki – przypis red.] melaninowe, wytwarzane przez wyspecjalizowane komórki zwane melanocytami [...].

[...] Melanocyty wytwarzają dwa chemicznie różne typy melaniny: brązowo-czarną lub ciemną eumelaninę, będącą nierozpuszczalnym polimerem i feomelaninę – czerwono-żółty rozpuszczalny polimer [...].

[...] 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. [...] 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 [...], 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. Wybierz P, jeśli stwierdzenie jest prawdziwe, albo F, jeśli jest fałszywe.

1.	Aminokwasy, z których jest syntezowana 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.

2 Większość potrzebnej człowiekowi witaminy D_3 jest syntetyzowana w skórze z pochodnej cholesterolu pod wpływem promieniowania UVB. 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 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 (*jasnej* / *ciemnej*) karnacji.
Niebezpieczna może być także duża liczba znamion skórnych. Szczególnie groźne są te o (*symetrycznym* / *asymetrycznym*) kształcie i (*dużej* / *małej*) średnicy.

e) 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.

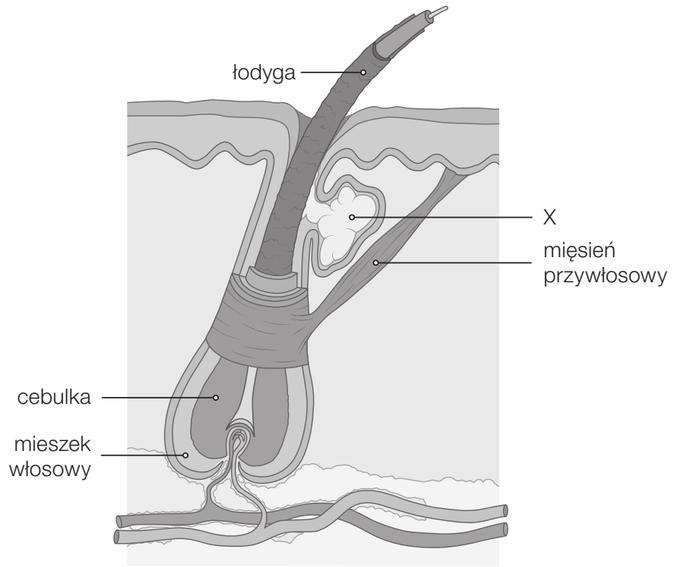
a) Określ, przed jakimi czynnikami chronią wymienione niżej cechy skóry.

1. Obecność hydrofobowych glikolipidów.
2. Niskie pH.

b) Podaj nazwę elementu skóry odpowiedzialnego za pełnienie przez nią funkcji wydzielniczej.

c) Wymień dwie 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.

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

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. Szkarłupnie.
4. Stawonogi.

3. Układ ruchu

Fot. Tkanka kostna gąbczasta (obraz spod SEM).

3.1. Ruch u zwierząt

Ważne w tym temacie!

- 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 służy do m.in. zdobywania pokarmu oraz ucieczki przed napastnikami. W zależności od rozmiarów ciała zwierzęta wykształciły dwa sposoby poruszania się: ruch rzęskowy i ruch mięśniowy.

Ruch rzęskowy

Ruch rzęskowy jest oparty na ruchu rzęsek i wici. Za ruch ten odpowiada przede wszystkim białko – **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 (należących do wolno żyjących płazińców), oraz u niektórych larw zwierząt bezkręgowych.

Ruch rzęskowy

Rzęski oraz wici są organellami ruchu u wielu larw, m.in. planuli parzydełkowców, miracidium przywr i trochofory wieloszczetów, a także części mięczaków.

Planula (obraz spod mikroskopu optycznego) to orzęsiona larwa niektórych parzydełkowców. Porusza się ona za pomocą rzęsek. Po kilku godzinach planula przyczepia się do podłoża i przekształca w polipa.

Trochofora (obraz spod mikroskopu optycznego) to larwa występująca w cyklu rozwojowym wieloszczetów (grupy w obrębie taksonu pierścienic) i niektórych gatunków mięczaków. Porusza się ona za pomocą pęczka wici oraz krótkich rzęsek tworzących wieńce wokół ciała.

Miracidium (obraz spod mikroskopu optycznego) to larwa obecna w cyklu rozwojowym przywr, np. motylicy wątrobowej. Porusza się ona za pomocą krótkich rzęsek pokrywających całe ciało, dzięki czemu może aktywnie poszukiwać żywiciela pośredniego (ślimaka).

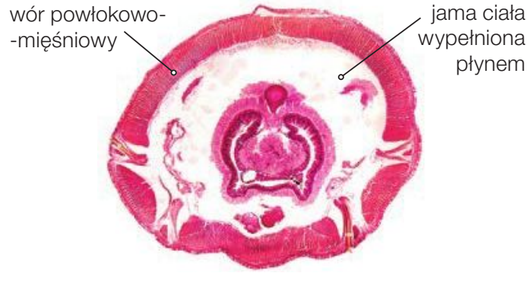
Ruch mięśniowy

Ruch mięśniowy jest oparty na skurczach komórek nabłonkowo-mięśniowych (parzydełkowce) lub mięśni (pozostałe zwierzęta tkankowe). Może on 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 do rozrodu, a także ucieczkę 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 (białek kurczliwych): miofilamenty aktynowe oraz miozynowe. Przesuwają się one względem siebie, co skutkuje skracaniem się komórek i włókien mięśniowych, a w rezultacie – skurczem mięśnia.

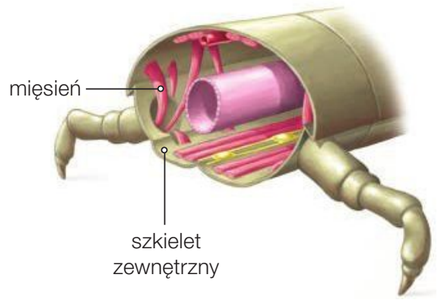
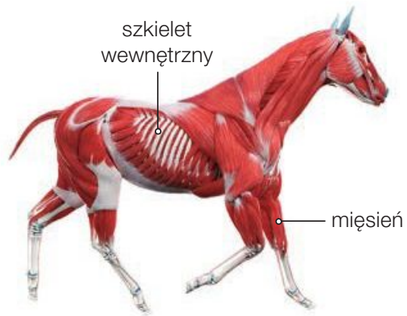
U większości grup bezkręgowców za ruch odpowiadają **mięśnie gładkie**, które wchodzą m.in. w skład wora powłokowo-mięśniowego. Skurcze tych mięśni powodują przemieszczanie się i zmiany ciśnienia parenchymy (płazińce) lub płynu (nicienie, pierścienice), które wypełniają jamę ciała, co z kolei pozwala 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 części 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 grzbietobrzusznie 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.

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

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

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

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 poruszają się również głowonogi oraz rozgwiazdy.

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.

Siłą napędową większości ryb są przede wszystkim **ruchy silnie umięśnionego ogona** zaopatrzonego w płetwę ogonową. Ponadto w ruchu uczestniczą 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**.

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.

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 jest 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 na rycie korytarzy w glebie.

Pełzanie za pomocą mięśni związanych z żebrami występuje głównie u węży. Pozwala ono na stosunkowo szybki ruch. Pełzanie zachodzi przede wszystkim wówczas, gdy podłoże jest nierówne lub zwierzę napotyka przeszkody.

Chodzenie po płaskich powierzchniach umożliwiają niektórym zwierzętom oddziaływania międzycząsteczkowe, które powstają np. między włoskami pokrywającymi stopy pająków a podłożem.

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

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. To 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.

Dowiedz się więcej

Lot czynny

- Odbywa się za pomocą mięśni.
- Wymaga ciągłego nakładu energii.
- Występuje u większości owadów, ptaków oraz nietoperzy.

Lot bierny

- Nie wymaga pracy mięśni.
- Nie wymaga ciągłego nakładu energii.
- Występuje u płazów, gadów i ssaków poruszających się lotem ślizgowym.

Lot czynny owada.

Lot ślizgowy polatuchy.

Część ptaków i nietoperzy potrafi poruszać się zarówno lotem czynnym, jak i lotem biernym. Na przykład sokoły stosują niekiedy lot szybujący, dzięki któremu wykorzystują prądy powietrza i oszczędzają energię.

Polecenia kontrolne

1. Przedstaw, na czym polega ruch rzęskowy, i podaj dwa przykłady zwierząt, u których występuje taki rodzaj ruchu.
2. Opisz, jak działa szkielet hydrauliczny.
3. Podaj trzy przystosowania zwierząt do poruszania się w środowisku wodnym.
4. Wyjaśnij, dlaczego zwierzęta poruszające się w wodzie i w powietrzu – w odróżnieniu od zwierząt poruszających się na lądzie – mają zwykle opływowy kształt ciała.

3.2. Budowa i funkcje szkieletu

Ważne w tym temacie!
- ogólna budowa szkieletu
- funkcje szkieletu

Ruch ciała człowieka jest możliwy 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.

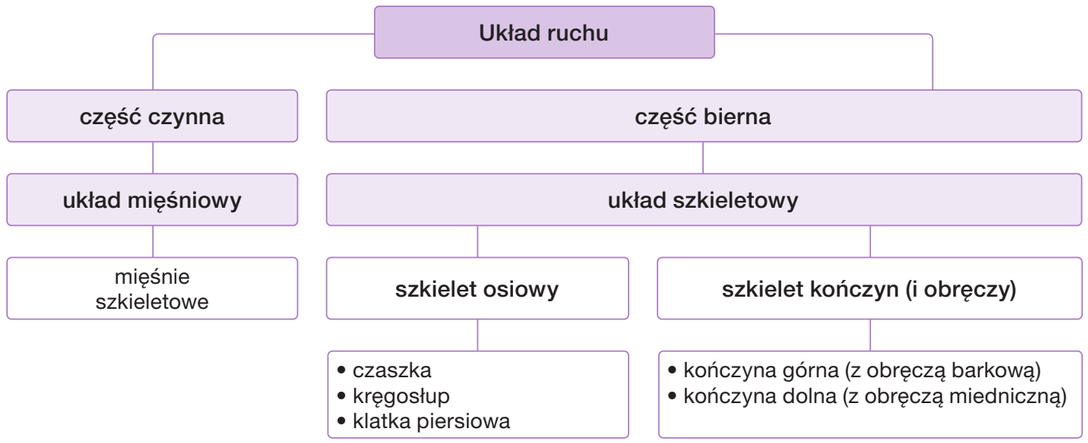
Miejsca styku kości najczęściej są pokryte tkanką chrzęstną. Dzięki obecności tkanki chrzęstnej miejsca te są m.in. odporne na ścieranie.

Mechaniczne właściwości kości

Kości są jednocześnie twarde i sprężyste. Właściwości te wynikają z budowy tkanki kostnej, która tworzy kości.

W skład tkanki kostnej wchodzą:
- **komórki kostne** (osteocyty) – dojrzałe komórki, które występują w jamkach kostnych. Komórki kostne są połączone kanalikami kostnymi;
- **komórki kościotwórcze** (osteoblasty) – mają zdolność do podziałów komórkowych i zdolność wytwarzania substancji międzykomórkowej;
- **komórki kościogubne** (osteoklasty) –umożliwiają niszczenie martwej lub zbędnej tkanki kostnej;
- **substancja międzykomórkowa** – stanowi 95% biomasy kostnej. Tworzą ją włókna kolagenowe (ok. 25%) i sole mineralne (ok. 70%), głównie fosforan wapnia. Włókna kolagenowe nadają kościom sprężystość, a sole mineralne odpowiadają za ich twardość.

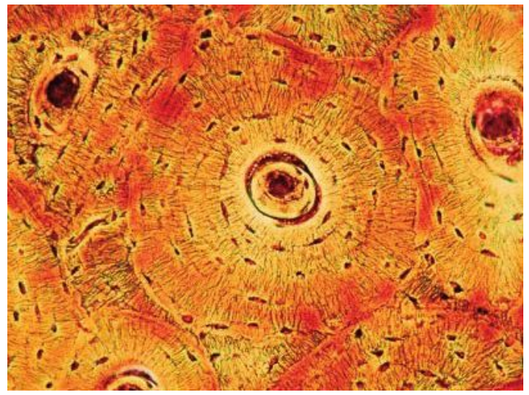
Budowa układu ruchu



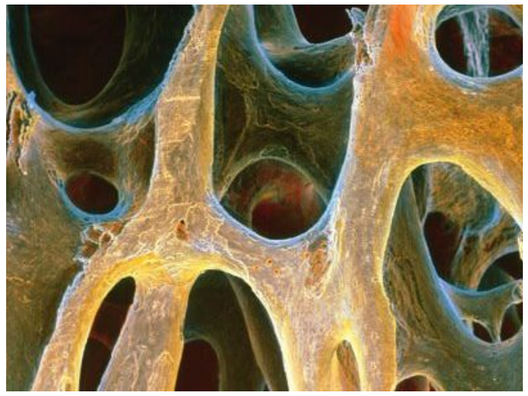
Przypomnij sobie

Rodzaje tkanki kostnej

Wyróżnia się dwa rodzaje tkanki kostnej – tkankę kostną zbitą i tkankę kostną gąbczastą.



Tkanka kostna zbita jest zbudowana ze ściśle przylegających do siebie blaszek kostnych, ułożonych koncentrycznie (w osteony). Dzięki temu tkanka kostna zbita odznacza się dużą wytrzymałością mechaniczną.



Tkanka kostna gąbczasta jest zbudowana z luźno ułożonych beleczek kostnych, które tworzą przestrzenną sieć. Tkanka kostna gąbczasta pełni funkcje podporowe i jest magazynem soli mineralnych.

Budowa i rozwój szkieletu

W ciele noworodka znajduje się ok. 270 kości. Zawierają one niewiele składników mineralnych i są zbudowane m.in. z tkanki chrzęstnej – dzięki niej są giętkie, elastyczne oraz odporne na złamanie. Wraz ze wzrostem i z rozwojem człowieka szkielet ulega:
- **kostnieniu** – tkanka chrzęstna jest zastępowana tkanką kostną,
- **mineralizacji** – w tkankach wzrasta zawartość składników mineralnych.

Ponadto z czasem część kości zrasta się ze sobą – szkielet dorosłej osoby składa się tylko z 206–208 kości.

Przyrost wysokości ciała kończy się ok. 20. roku życia. Kości osób dorosłych podlegają dalszej przebudowie – uczestniczą w niej komórki kościogubne oraz komórki kościotwórcze. Po 30. roku życia przebudowa kości nadal się odbywa, jednak stopniowo zaczyna przeważać proces **demineralizacji**, czyli spadku zawartości soli mineralnych w tkance kostnej.

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

Budowa kości

Kości są okryte łącznotkankową błoną zwaną **okostną**. Błona ta jest bogato unaczyniona (pełni więc funkcję odżywczą) i unerwiona. Wewnętrzna warstwa okostnej (przylegająca do kości) zawiera komórki kościotwórcze i komórki kościogubne, które biorą udział w naprawie uszkodzeń oraz przebudowie kości podczas ich wzrostu.

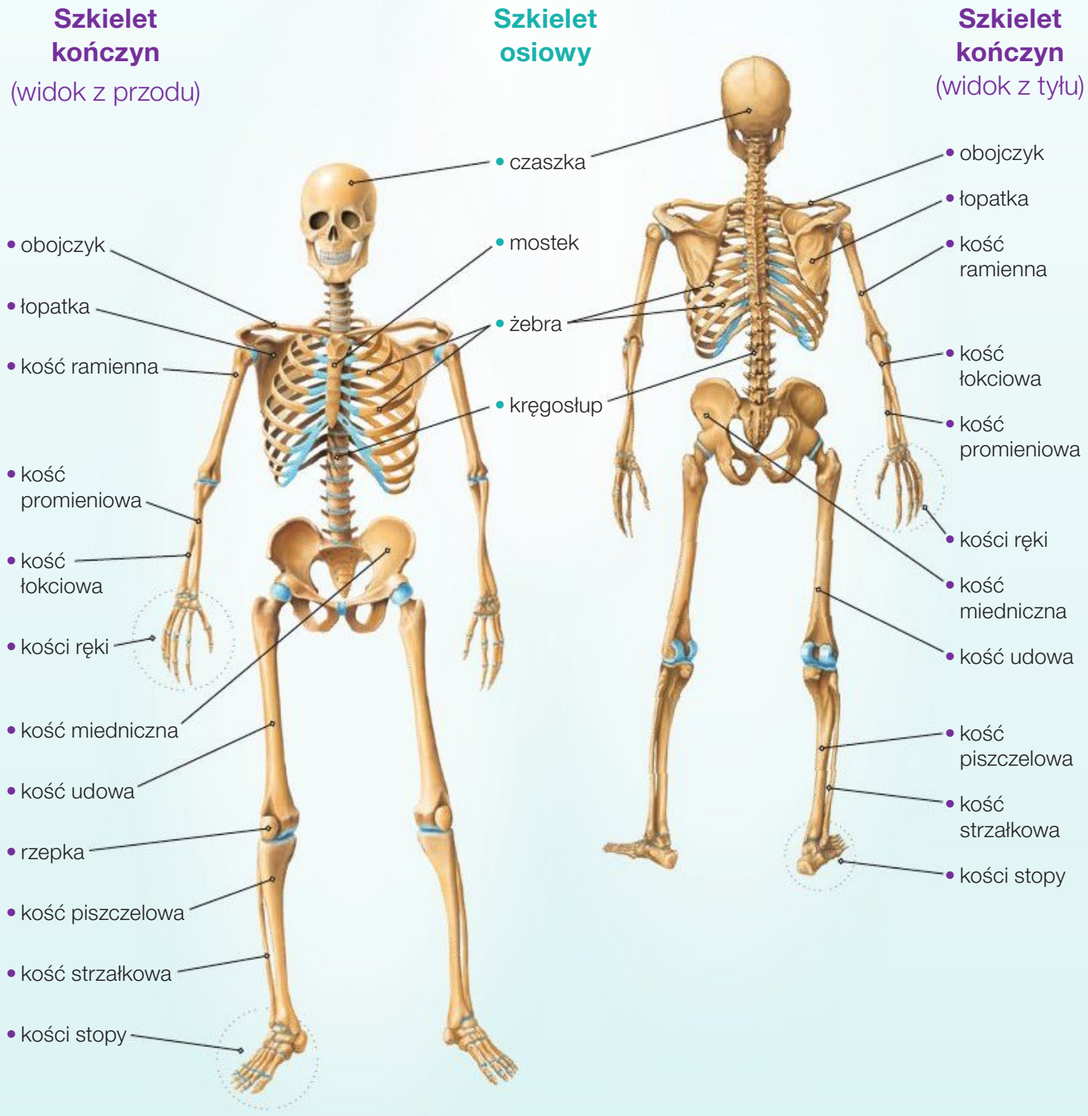
Pod okostną znajduje się **tkanka kostna zbita**, a wnętrze kości wypełniają **tkanka kostna gąbczasta** oraz **szpik kostny**. U dzieci i młodzieży jest to szpik kostny czerwony, który odpowiada za wytwarzanie elementów morfotycznych krwi. U dorosłych w większości kości występuje szpik kostny żółty, który nie pełni funkcji krwiotwórczej, ponieważ składa się głównie z komórek tłuszczowych. Powierzchnie nasad kości pokrywa odporna na ścieranie **tkanka chrzęstna szklista**.

Szkielet człowieka

Szkielet człowieka uczestniczy w utrzymywaniu pionowej postawy ciała i w poruszaniu się. Ponadto chroni on narządy wewnętrzne.

Szkielet jest zbudowany ze:

- **szkieletu osiowego** – w jego skład wchodzą czaszka, kręgosłup i klatka piersiowa,
- **szkieletu kończyn** – w jego skład wchodzą kości kończyn górnych wraz z obręczą barkową, a także kości kończyn dolnych wraz z obręczą miedniczną.



Budowa kości udowej

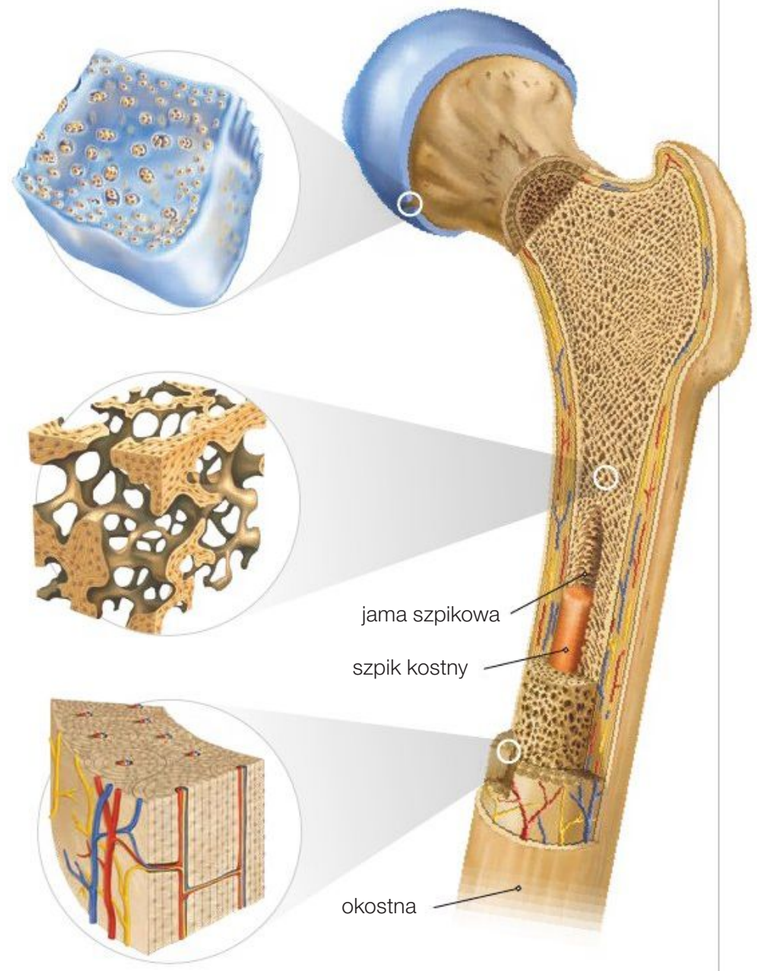
Kość udowa jest przykładem kości o wydłużonym kształcie. Składa się ona z części zasadniczej, zwanej **trzonem**, oraz położonych na jej końcach zgrubiałych **nasad**. Trzon jest zbudowany głównie z tkanki kostnej zbitej, a nasady kości – z tkanki kostnej gąbczastej.

Kość udowa.

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, które są ułożone koncentrycznie. Tak zwarta struktura tkanki sprawia, że kość jest niezwykle wytrzymała na urazy mechaniczne.



Polecenia kontrolne

1. Podaj trzy funkcje szkieletu.
2. Omów budowę kości na przykładzie kości udowej.
3. Określ, jakie właściwości kości wynikają z tego, że w substancji międzykomórkowej kości znajdują się włókna kolagenowe, a jakie – z tego, że w substancji międzykomórkowej kości znajdują się sole mineralne.

3.3. Rodzaje połączeń kości

Ważne w tym temacie!

- połączenia ścisłe i ruchome kości
- budowa i rodzaje stawów

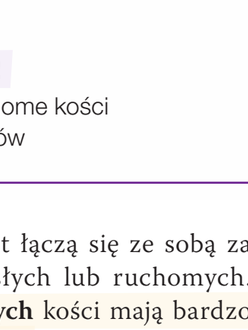
Kości tworzące szkielet łączą się ze sobą za pomocą połączeń ścisłych lub ruchomych. W **połączeniach ścisłych** kości mają bardzo ograniczoną ruchomość. W zależności od rodzaju tkanki łączącej kości wyróżnia się:

- **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 kości miednicznej (kostnienie chrząstkozrostów w połączeniu kości: biodrowej, kulszowej i łonowej).

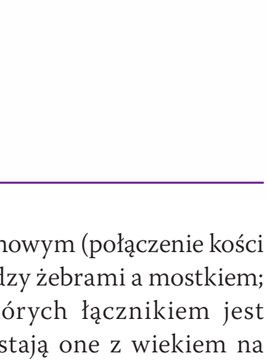
Połączenia ruchome, nazywane stawami, umożliwiają ruch kości względem siebie. O zakresie ruchu decyduje kształt powierzchni stawowych kości.

Rodzaje połączeń ścisłych

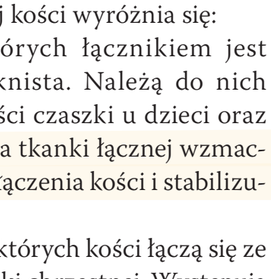
Chrząstkozrosty to połączenia kości za pomocą chrząstek, pozwalające na ograniczony ruch kości. Należą do nich np. krążki międzykręgowe występujące w kręgosłupie oraz połączenia żeber z mostkiem.

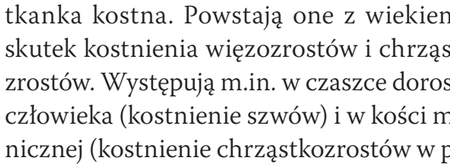


Kościozrosty to połączenia kości za pomocą tkanki kostnej. Połączenia te są całkowicie nieruchome. Występują m.in. w kości krzyżowej, która powstaje wskutek zrośnięcia się kręgów krzyżowych kręgosłupa.



Szwy to połączenia kości za pomocą cienkiej, ale mocnej warstwy tkanki łącznej. Występują w czaszce. Z wiekiem szwy stopniowo się zrastają, wskutek czego powstają kościozrosty.



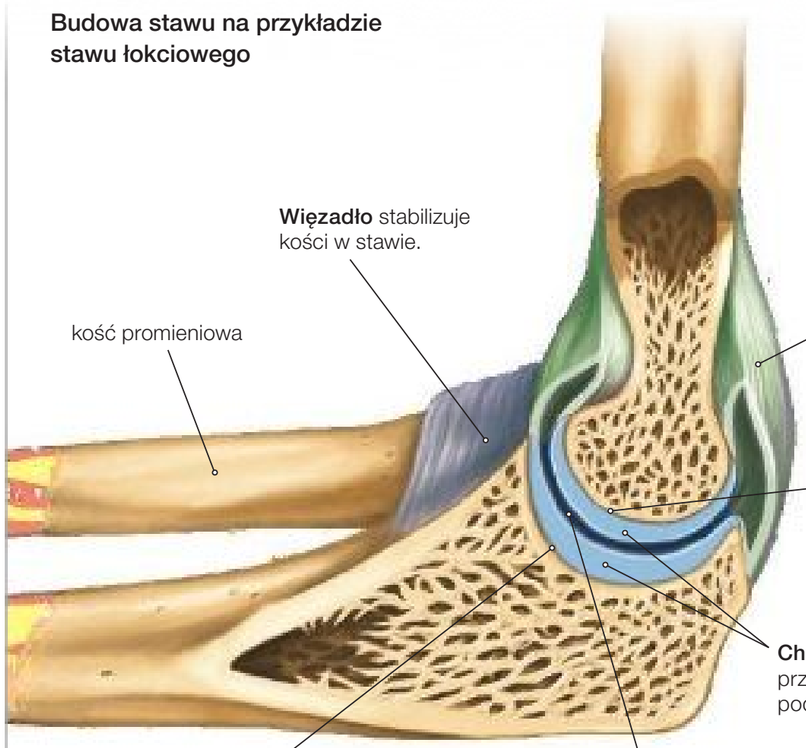


Więzozrosty włókniste to połączenia za pomocą włóknistych pasm łącznotkankowych. Występują np. w kończynach górnych, gdzie łączą kości łokciowe z kośćmi promieniowymi.

Budowa stawów

Stawy łączą ze sobą kości: dwie (staw prosty) lub więcej (staw złożony) i umożliwiają ruch w jednej lub kilku płaszczyznach. Powierzchnie kości tworzące staw noszą nazwę **powierzchni stawowych**. Są one pokryte tkanką chrzęstną szklistą, która dzięki swojej gładkości i elastyczności zmniejsza tarcie oraz amortyzuje wstrząsy podczas ruchu. Często powierzchnie stawowe są z jednej strony wypukłe, a z drugiej strony wklęsłe. Wypukła powierzchnia stawowa jest nazywana **głową stawu**, a wklęsła powierzchnia – **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**. 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 położone między powierzchniami stawowymi – zwiększają one ich dopasowanie. Krążki stawowe w kolanie noszą nazwę łąkotek.

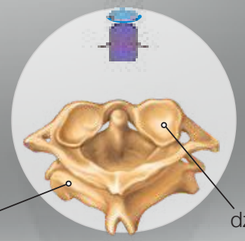
Budowa stawu na przykładzie stawu łokciowego



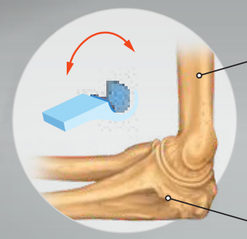
Rodzaje stawów

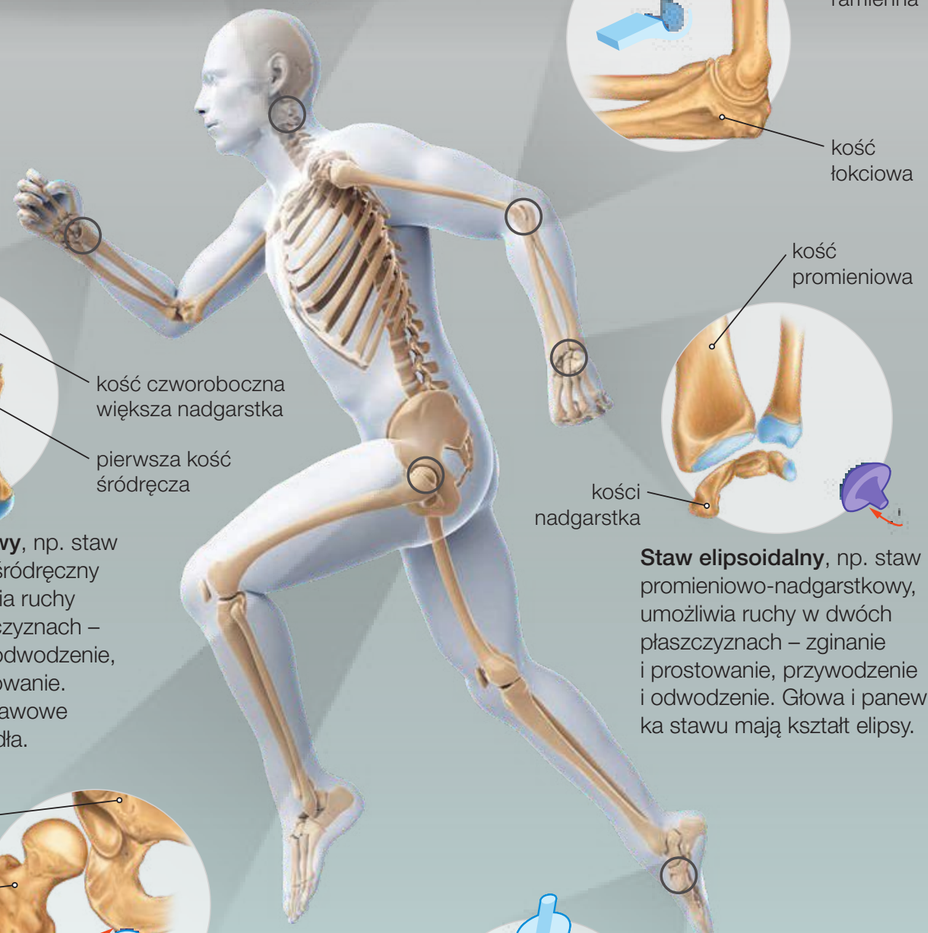
Najczęściej stosowany podział stawów opiera się na dwóch połączonych kryteriach. Są nimi: liczba płaszczyzn ruchu i kształt powierzchni stawowych. Na tej podstawie wyróżnia się stawy: kuliste, zawiasowe, siodełkowe, elipsoidalne, obrotowe i płaskie.

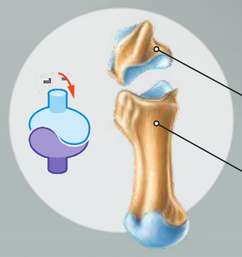
Staw obrotowy, np. staw między dźwigaczem a obrotnikiem, umożliwia ruchy w jednej płaszczyźnie – obrót wokół osi. Głowa stawu jest osadzona w panewce o kształcie pierścienia.



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

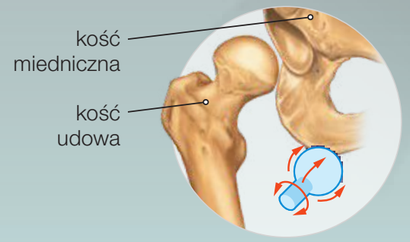




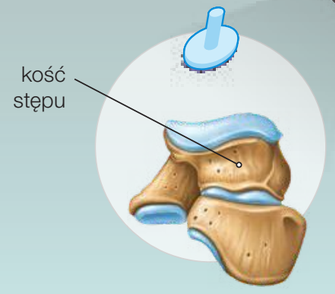


Staw siodełkowy, np. staw nadgarstkowo-śródręczny kciuka, umożliwia ruchy w dwóch płaszczyznach – przywodzenie, odwodzenie, zginanie i prostowanie. Powierzchnie stawowe mają kształt siodła.

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.

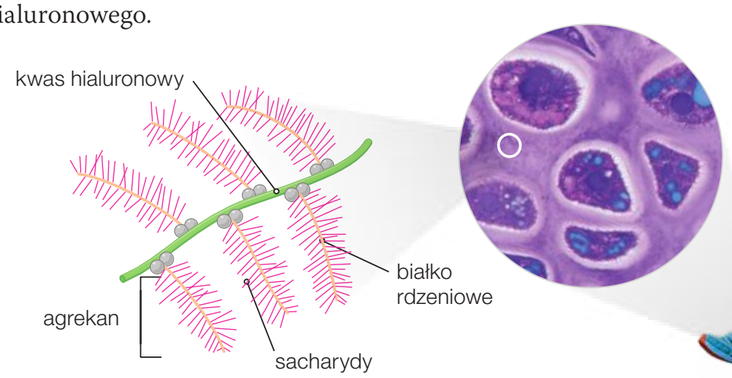


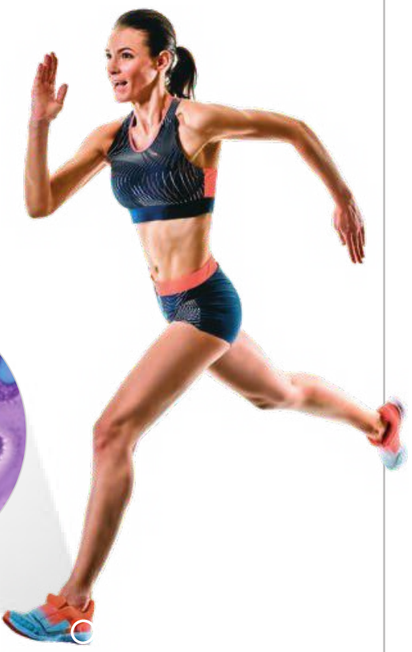
Staw płaski, występujący między kośćmi stępu, umożliwia niewielkie ruchy w wielu płaszczyznach. Powierzchnie stawowe są w nim prawie płaskie.

Dowiedz się więcej

Amortyzująca funkcja chrząstki

Chrząstki pokrywające powierzchnie stawowe kości pełnią m.in. funkcję amortyzującą. Zabezpieczają szkielet przed negatywnym oddziaływaniem wstrząsów, które powstają 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 jednym przykładzie każdego z nich.
2. Oceń, którego typu połączenia kości dotyczy każde z poniższych zdań.

Zdanie	Szwy	Chrząstkozrosty	Kościozrosty
Kości w tych połączeniach łączą się za pomocą tkanki chrzęstnej.	?	?	?
Powstają z wiekiem z więzozrostów i chrząstkozrostów.	?	?	?
Występują m.in. w kości krzyżowej.	?	?	?
Występują np. w spojeniu łonowym oraz między żebrami a mostkiem.	?	?	?
Są rodzajem więzozrostu, występują m.in. w czaszce osoby dorosłej.	?	?	?

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

3.4. Elementy szkieletu

Ważne w tym temacie!

- budowa szkieletu osiowego
- budowa szkieletu obręczy i kończyn

W skład szkieletu człowieka wchodzą szkielet osiowy oraz szkielet kończyn (i obręczy).

Szkielet osiowy

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

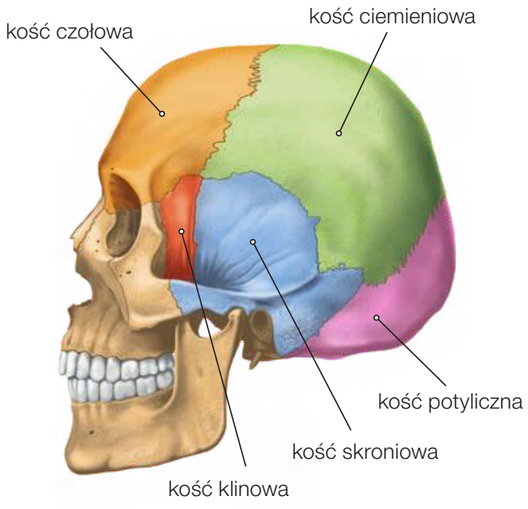
Czaszka

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.

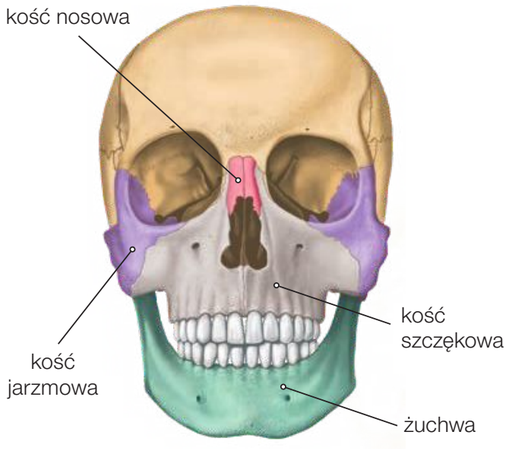
U osób dorosłych mózgoczaszkę tworzą kości połączone ze sobą nieruchomo za pomocą **szwów**, które z więzozrostów występujących u dzieci przekształcają się stopniowo w kościozrosty. U noworodków kości mózgoczaszki są oddzielone pasmami tkanki łącznej, które na styku kości tworzą pola zwane **ciemiączkami**. 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).



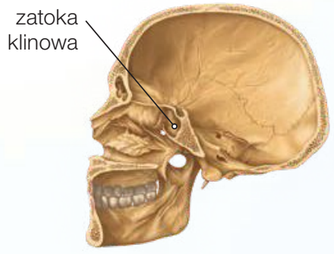
W skład mózgoczaszki wchodzą kości parzyste – ciemieniowe i skroniowe – oraz kości nieparzyste – czołowa, klinowa, potyliczna i sitowa. Kość sitowa ogranicza oczodoły i jamę nosową.



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 jest ograniczony przez otwór kręgowy. Łuki sąsiadujących ze sobą kręgów tworzą **kanał kręgowy** ochraniający rdzeń kręgowy. Od łuku kręgowego odchodzą wyrostki:

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

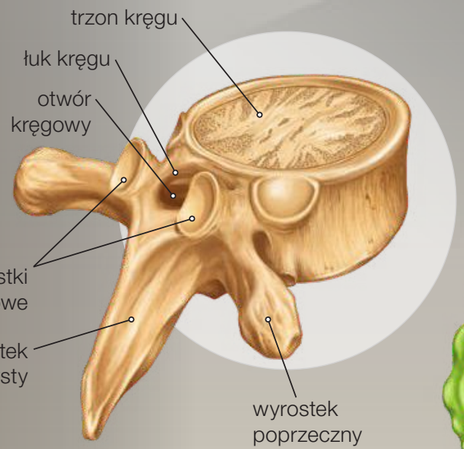
Budowa kręgosłupa

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

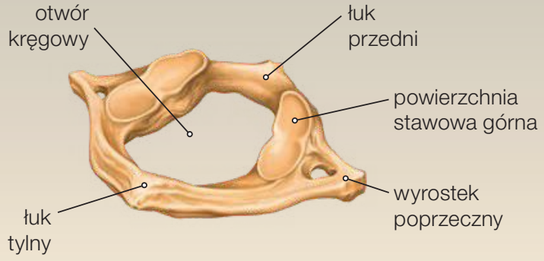
Kręgi w większości są zbudowane z trzonu, łuku oraz wyrostków. Łuki kręgów ograniczają otwór kręgowy, przez który przechodzi rdzeń kręgowy.



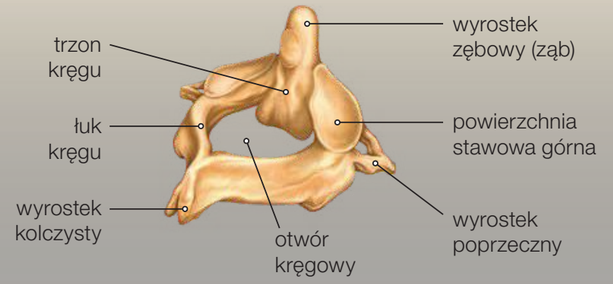
Rodzaje kręgów

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

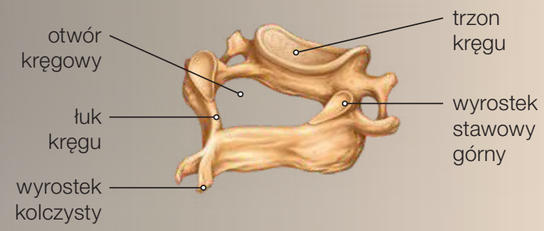
Dźwigacz (atlas, kręg szczytowy) to pierwszy kręg szyjny. Nie ma trzonu, lecz składa się z dwóch łuków. W dźwigaczu znajdują się powierzchnie stawowe dla zębu obrotnika, kłykci potylicznych czaszki oraz dla następnego kręgu. Dźwigacz umożliwia wykonywanie ruchów potakujących.



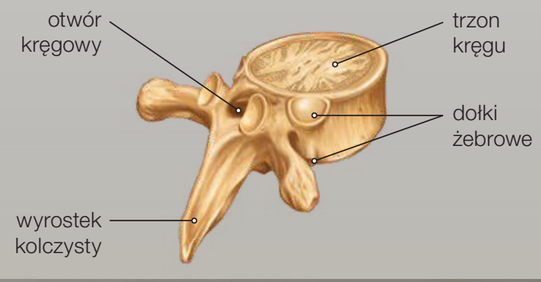
Obrotnik (kręg obrotowy) to drugi kręg szyjny. Ma trzon wyposażony w wyrostek zębowy (ząb). Ruchy przeczące głowy są możliwe dzięki obracaniu się dźwigacza wokół wyrostka zębowego.



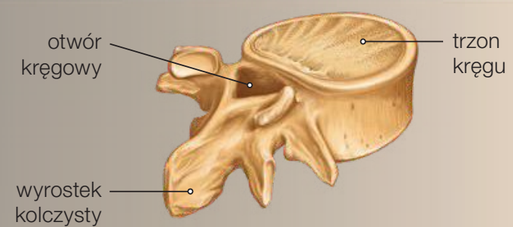
Typowe kręgi szyjne (od trzeciego do szóstego) mają małe trzony i rozwidlone wyrostki kolczyste. Otwór kręgowy ma trójkątny kształt.



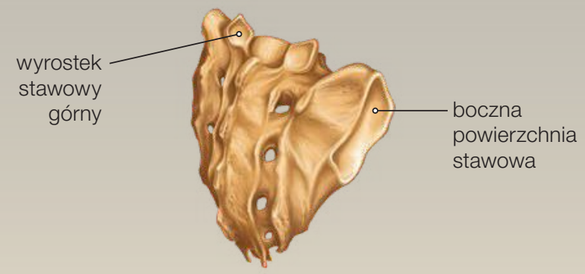
Kręgi piersiowe są większe od kręgów szyjnych. Na bokach ich trzonów znajdują się powierzchnie stawowe żeber (dołki żebrowe), a ich wyrostki kolczyste są długie i pochylone ku dołowi (uniemożliwia to wyginanie się odcinka piersiowego do tyłu).



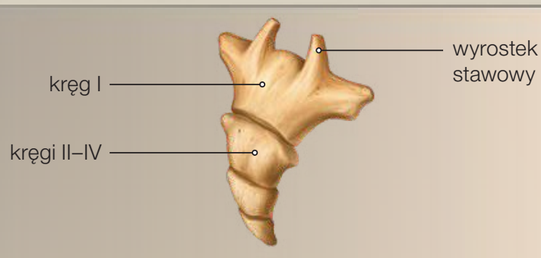
Kręgi lędźwiowe są największe ze wszystkich kręgów. Mają trzony o kształcie nerkowatym, a wyrostki kolczyste kręgów lędźwiowych są płaskie i ustawione poziomo (pozwala to na wyginanie się odcinka lędźwiowego do tyłu).



Kość krzyżowa ma kształt klina i powstaje ze zrośnięcia się kręgów krzyżowych. Kość ta ma m.in. boczne powierzchnie stawowe, które łączą się z kośćmi miednicy.



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



Szkielet klatki piersiowej

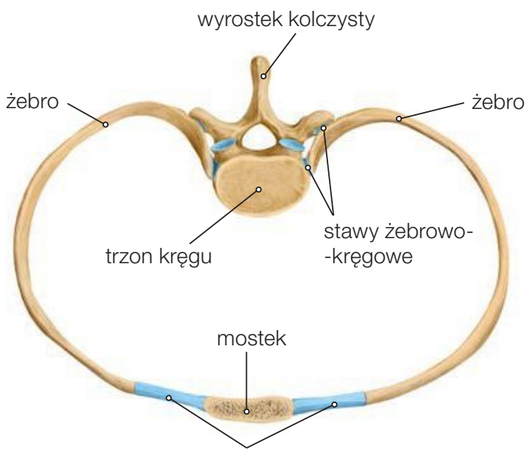
Szkielet klatki piersiowej tworzą: piersiowy odcinek kręgosłupa, 12 par żeber oraz mostek, które są połączone ze sobą stawami i chrząstkozrostami. Dzięki chrzęstno-kostnej budowie klatka piersiowa jest mocna i sprężysta. Zapewnia ochronę znajdującym się w niej narządom, m.in. płucom i sercu. Jej zdolność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

Żebra to kości o wydłużonym kształcie, które są 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:

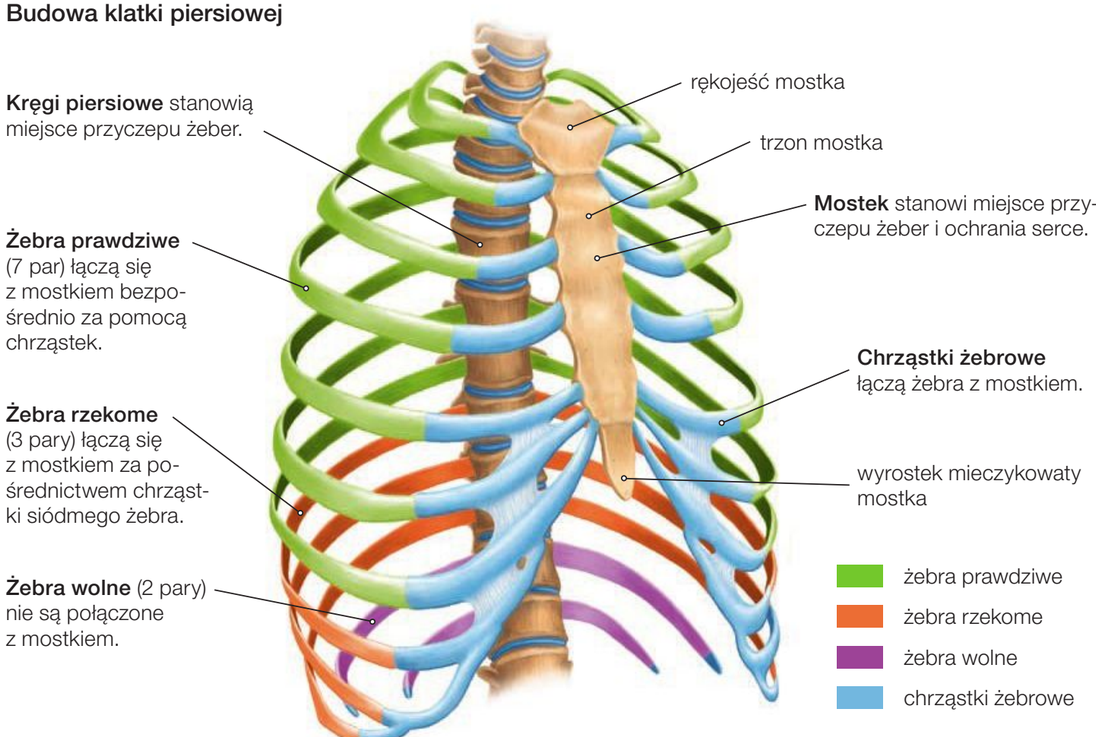
- **żebra prawdziwe** (pary I–VII) – dochodzą bezpośrednio do mostka i łączą się z nim za pomocą chrząstek żebrowych,
- **żebra rzekome** (pary VIII–X) – łączą się z mostkiem przez chrząstkę żebra VII,
- **żebra wolne** (pary XI i XII) – nie mają połączenia z mostkiem, kończą się swobodnie w ścianach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

Mostek jest nieparzystą kością, która zamyka 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



Szkielet kończyn

Do szkieletu kończyn zalicza się: kości kończyn górnych wolnych, kości obręczy barkowej, kości kończyn dolnych wolnych oraz kości obręczy 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).

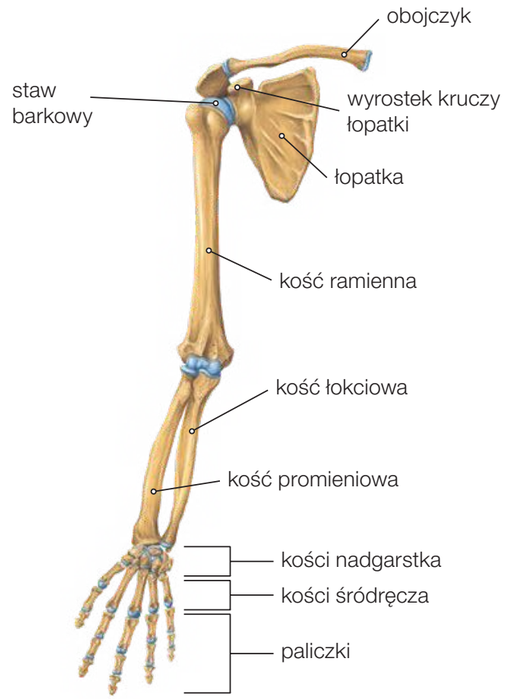
Kości kończyny górnej wraz z łączącymi je stawami oraz mięśniami umożliwiają wykonywanie różnorodnych, nawet bardzo precyzyjnych ruchów. Z tego powodu kończyna górna pełni funkcje: chwytną, manipulacyjną, lokomocyjną (wspinanie, pływanie) oraz komunikacyjną (gestykulowanie).

Szkielet kończyny dolnej

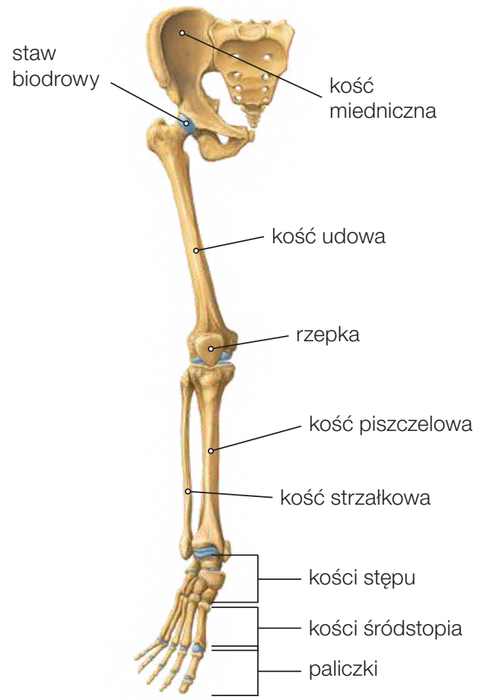
Szkielet kończyny dolnej składa się ze **szkieletu kończyny dolnej wolnej** oraz **szkieletu obręczy miednicznej**. W skład szkieletu kończyny dolnej wolnej wchodzą: kość udowa, kości podudzia (piszczelowa i strzałkowa) oraz kości stopy (stępu, śródstopia i palców). Z kolei szkielet obręczy miednicznej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

Kończyna dolna pełni funkcję lokomocyjną – umożliwia poruszanie się.

Budowa kończyny górnej



Budowa kończyny dolnej

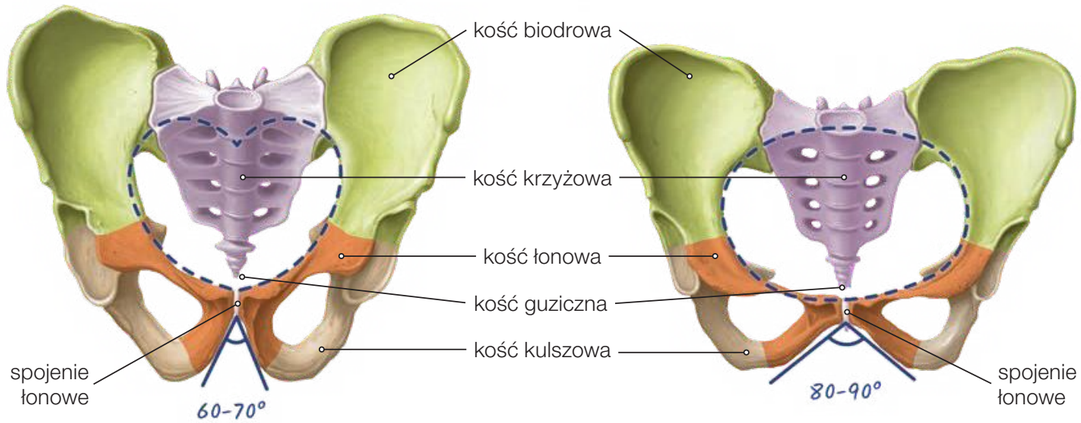


Trzeszczki

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

Miednicę tworzą dwie kości miedniczne (należące do szkieletu kończyn dolnych) oraz kość krzyżowa i kość guziczna (należące do szkieletu osiowego). 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 wąski (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 szeroki (zbliżony do kąta prostego).

Polecenia kontrolne

1. Podaj funkcje poszczególnych elementów szkieletu osiowego.
2. Przedstaw rolę mózgoczaszki i twarzoczaszki.
3. Porównaj budowę kręgu piersiowego z budową kręgu lędźwiowego. Podaj przykład cechy, którymi różnią się te kręgi.
4. Wykaż związek między budową klatki piersiowej a jej funkcjami.
5. Wymień odcinki kręgosłupa, w których występują naturalne krzywizny. Podaj rolę każdej z nich.
6. Podaj trzy podobieństwa w budowie kończyny górnej i kończyny dolnej.
7. Rozstrzygnij, czy na podstawie analizy budowy szkieletu można określić, czy należy on do kobiety czy do mężczyzny. Odpowiedź uzasadnij.

3.5. Budowa i funkcjonowanie układu mięśniowego

Ważne w tym temacie!

- budowa mięśni szkieletowych
- mechanizm skurczu mięśni
- sposoby pozyskiwania ATP niezbędnego do skurczu mięśni
- antagonizm i współdziałanie mięśni w wykonywaniu ruchów
- współdziałanie mięśni, ścięgien, stawów i kości w ruchu człowieka

Mięśnie są narządami odpowiedzialnymi za ruch. Ich cechami charakterystycznymi są:

- **pobudliwość**, czyli zdolność reagowania na bodźce,
- **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. Skurcze większości mięśni poprzecznie prążkowanych są zwykle zależne od woli.

Mięśnie odpowiedzialne za mimikę twarzy nazywa się mięśniami wyrazowymi. Ich skurcze pozwalają na wyrażanie różnych uczuć.

Położenie mięśni szkieletowych a ich funkcja

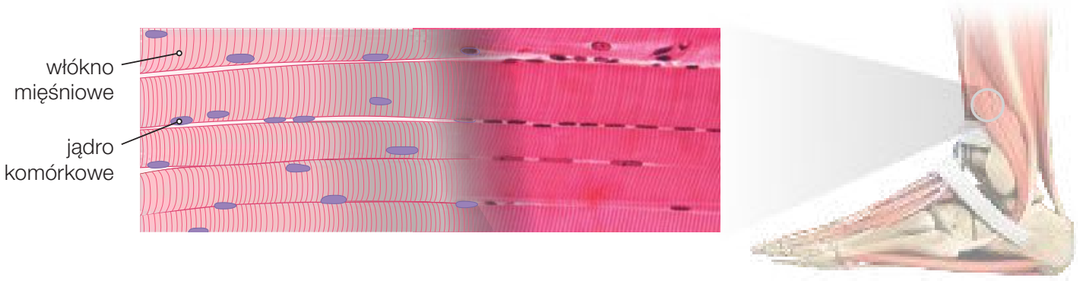
Położenie	Przykłady funkcji
Mięśnie głowy	• Odpowiadają za mimikę twarzy. • Uczestniczą w rozdrabnianiu pokarmów.
Mięśnie szyi	• Umożliwiają ruchy głowy.
Mięśnie klatki piersiowej	• Uczestniczą w ruchach oddechowych. • Uczestniczą w ruchach ramion.
Mięśnie grzbietu	• Pozwalają zachować prawidłową postawę 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.

Rodzaje tkanki mięśniowej

Poszczególne rodzaje tkanki mięśniowej różnią się budową komórek i sposobem funkcjonowania.

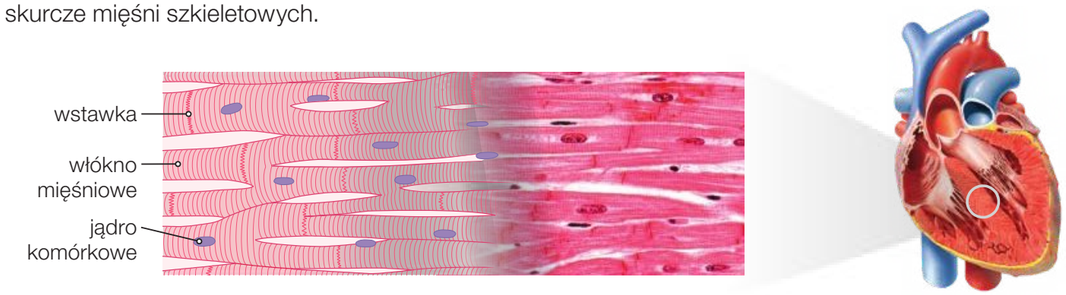
Tkanka mięśniowa poprzecznie prążkowana szkieletowa

Z tkanki mięśniowej poprzecznie prążkowanej szkieletowej są zbudowane mięśnie szkieletowe, np. mięsień dwugłowy ramienia. Podstawowym elementem strukturalnym tej tkanki są długie i wielojądrowe włókna mięśniowe. Włókna mięśniowe powstają w wyniku łączenia się wielu pojedynczych jednojądrowych komórek mięśniowych – są więc syncytiami. Skurcz mięśni poprzecznie prążkowanych jest zwykle zależny od woli, szybki i silny.



Tkanka mięśniowa poprzecznie prążkowana serca

Tkanka mięśniowa poprzecznie prążkowana serca buduje mięsień sercowy. Komórki tej tkanki mają widlasto rozgałęzione końce, którymi przylegają do siebie. Miejsca styku komórek są widoczne jako tzw. wstawki. Mięsień sercowy kurczy się niezależnie od woli. Skurcze są szybkie, ale słabsze niż skurcze mięśni szkieletowych.

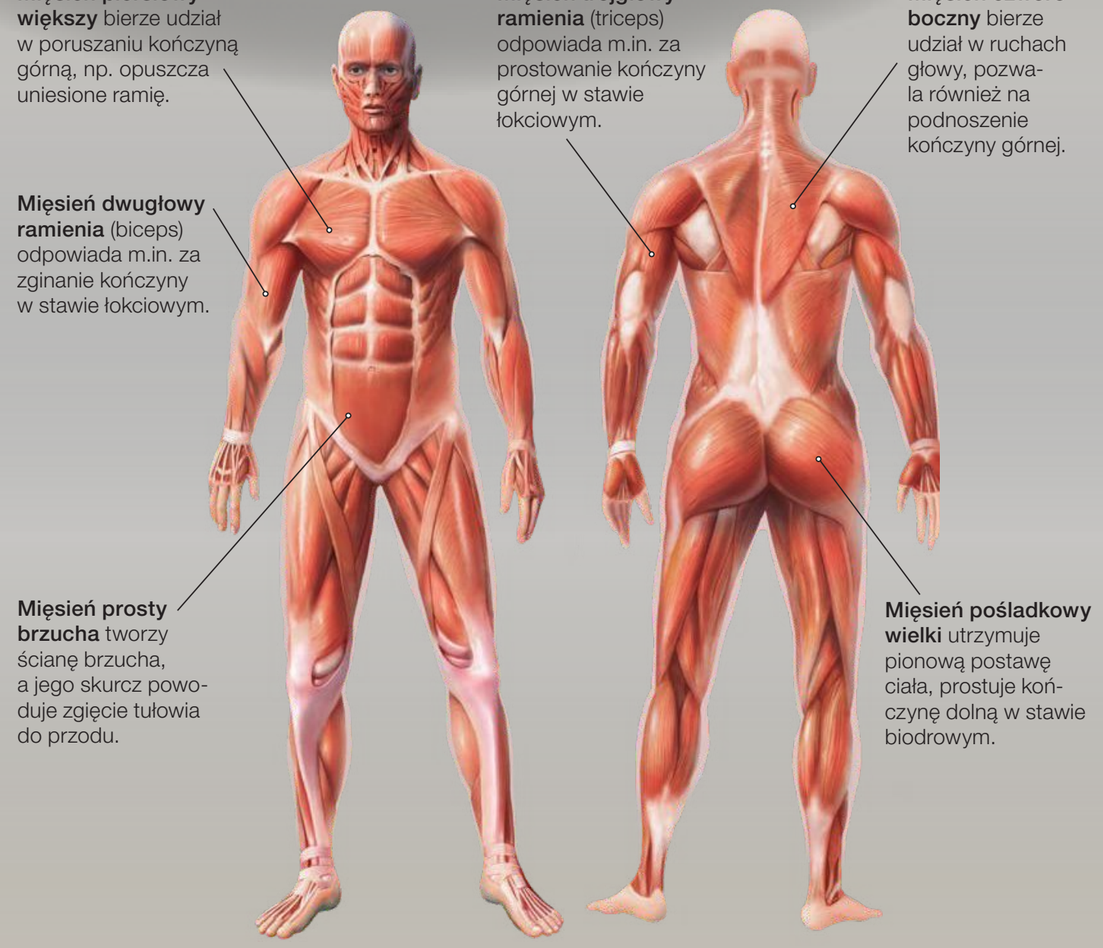


Tkanka mięśniowa gładka

Tkanka mięśniowa gładka buduje ściany wielu narządów wewnętrznych, m.in. naczyń krwionośnych, jelita, żołądka i macicy. Komórki tej tkanki mają wrzecionowaty kształt. Mięśnie gładkie kurczą się niezależnie od woli, a ich skurcze są powolne i trwają dłużej niż skurcze mięśni szkieletowych.

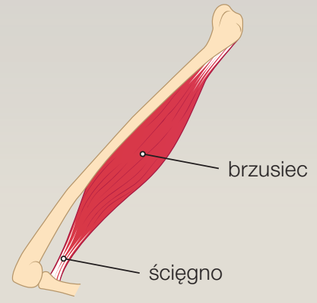
Wybrane mięśnie szkieletowe człowieka

Mięśnie szkieletowe stanowią mniej więcej 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.



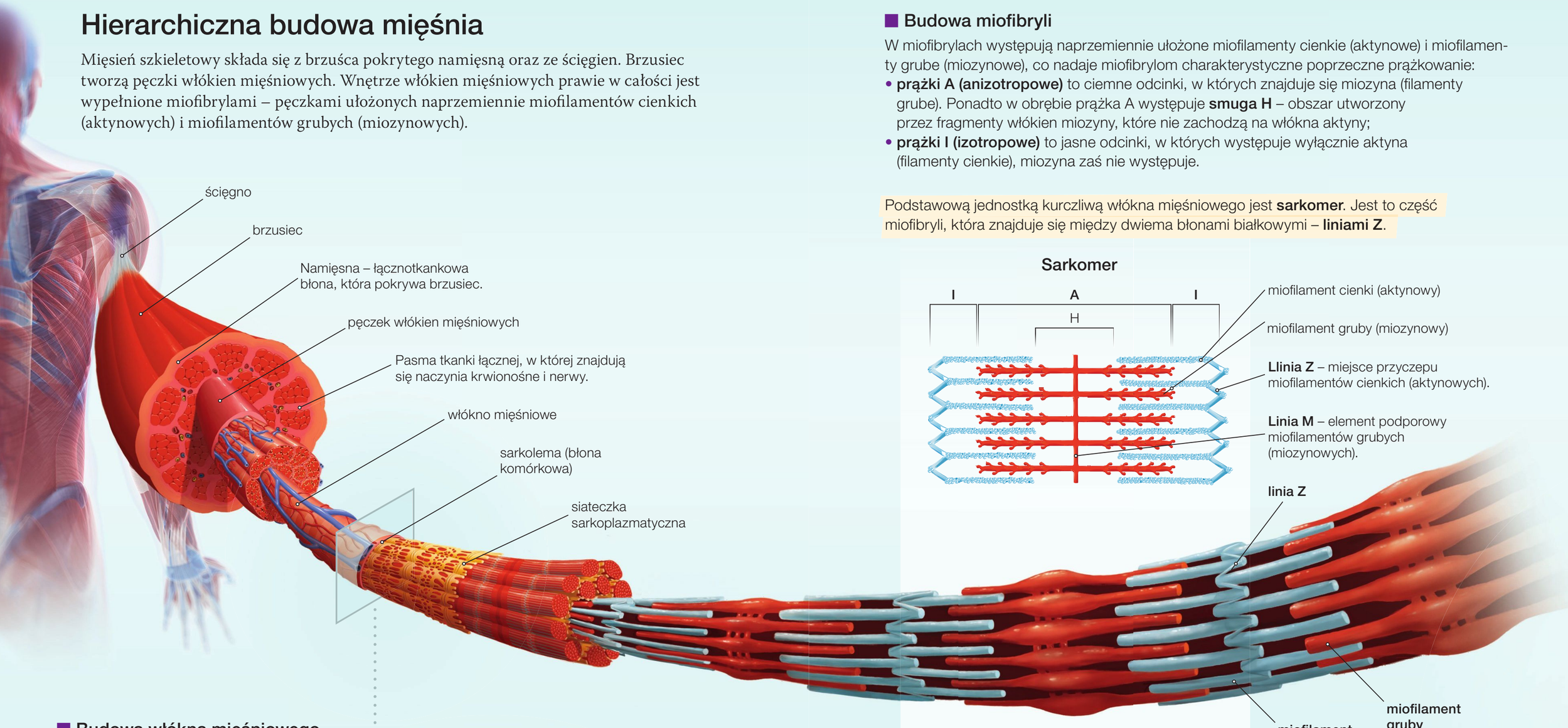
Budowa mięśnia szkieletowego

Mięsień poprzecznie prążkowany szkieletowy składa się z **brzuśca** oraz ze **ścięgien**. Brzusiec to środkowa, kurczliwa część mięśnia. Z kolei ścięgna to mocne, niekurczliwe pasma tkanki łącznej, które przytwierdzają mięsień do kości. W niektórych mięśniach brzusiec jest podzielony na kilka części nazywanych głowami – to dlatego wyróżnia się mięśnie dwugłowe, trójgłowe i czworogłowe. Czasami mięsień jest zbudowany z dwóch brzuśców – określa się go wówczas mianem mięśnia dwubrzuścowego.



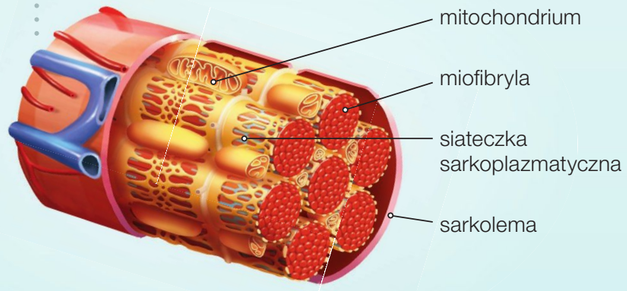
Hierarchiczna budowa mięśnia

Mięsień szkieletowy składa się z brzuśca pokrytego namięsną oraz ze ścięgien. Brzusiec tworzą pęczki włókien mięśniowych. Wnętrze włókien mięśniowych prawie w całości jest wypełnione miofibrylami – pęczkami ułożonych naprzemiennie miofilamentów cienkich (aktynowych) i miofilamentów grubych (miozynowych).



Budowa włókna mięśniowego

Włókno mięśniowe zawiera liczne jądra komórkowe, które znajdują się tuż pod sarkolemą. W sarkoplazmie (cytoplazmie włókna mięśniowego) znajduje się siateczka sarkoplazmatyczna (siateczka śródplazmatyczna), która magazynuje jony wapnia. Jony te odgrywają istotną rolę w skurczu mięśnia. W sarkoplazmie włókna mięśniowego znajdują się również liczne mitochondria (które uwalniają energię konieczną do skurczu), glikogen i mioglobina.

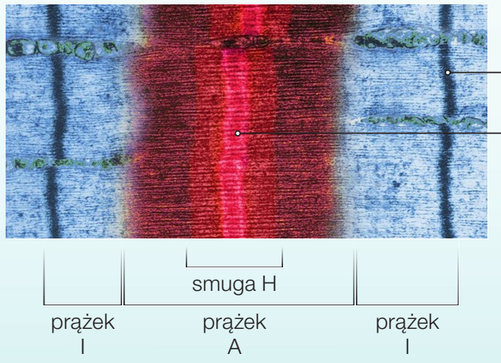


Budowa miofibryli

W miofibrylach występują naprzemiennie ułożone miofilamenty cienkie (aktynowe) i miofilamenty grube (miozynowe), co nadaje miofibrylom charakterystyczne poprzeczne prążkowanie:

- **prążki A (anizotropowe)** to ciemne odcinki, w których znajduje się miozyna (filamenty grube). Ponadto w obrębie prążka A występuje **smuga H** – obszar utworzony przez fragmenty włókien miozyny, które nie zachodzą na włókna aktyny;
- **prążki I (izotropowe)** to jasne odcinki, w których występuje wyłącznie aktyna (filamenty cienkie), miozyna zaś nie występuje.

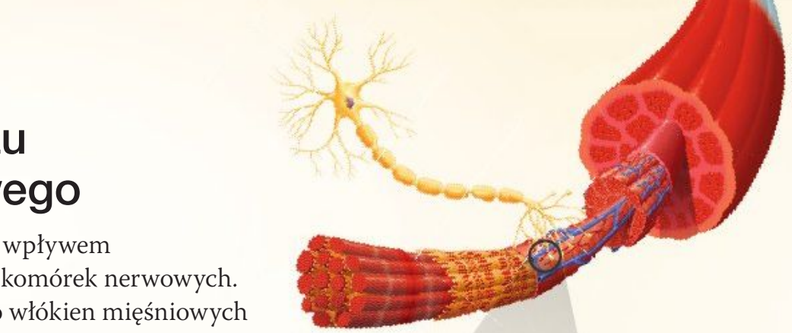
Podstawową jednostką kurczliwą włókna mięśniowego jest **sarkomer**. Jest to część miofibryli, która znajduje się między dwiema błonami białkowymi – **liniami Z**.



Sarkomer obejmuje połowę prążka I, cały prążek A oraz połowę kolejnego prążka I. Podczas pracy mięśnia zmienia się szerokość prążka I oraz smugi H. Szerokość prążka A się nie zmienia.

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.

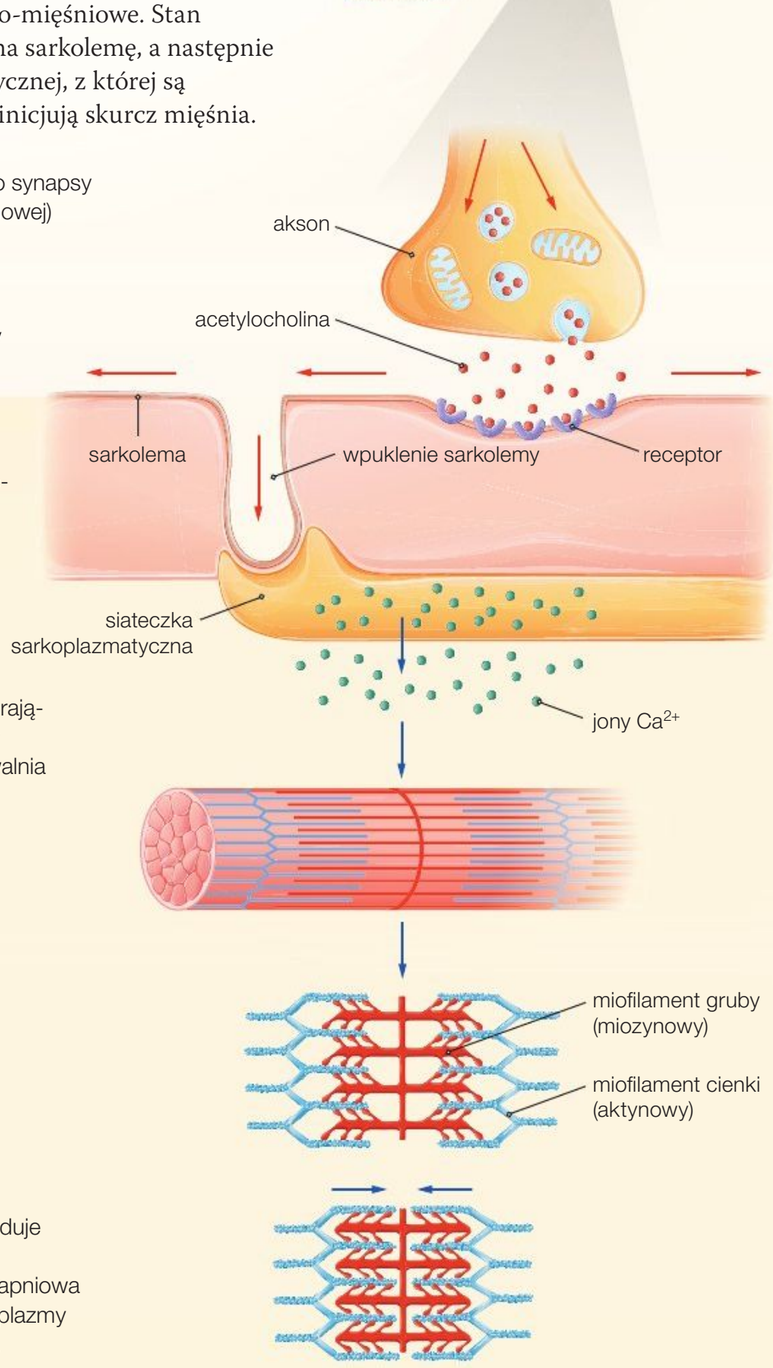
2 Acetylocholina łączy się z receptorami na powierzchni sarkolemy i generuje stan pobudzenia.

3 Pobudzenie sarkolemy rozprzestrzenia się na wpuklenia sarkolemy, które docierają w głąb sarkoplazmy.

4 Pod wpływem pobudzenia docierającego przez wpuklenia sarkolemy 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.

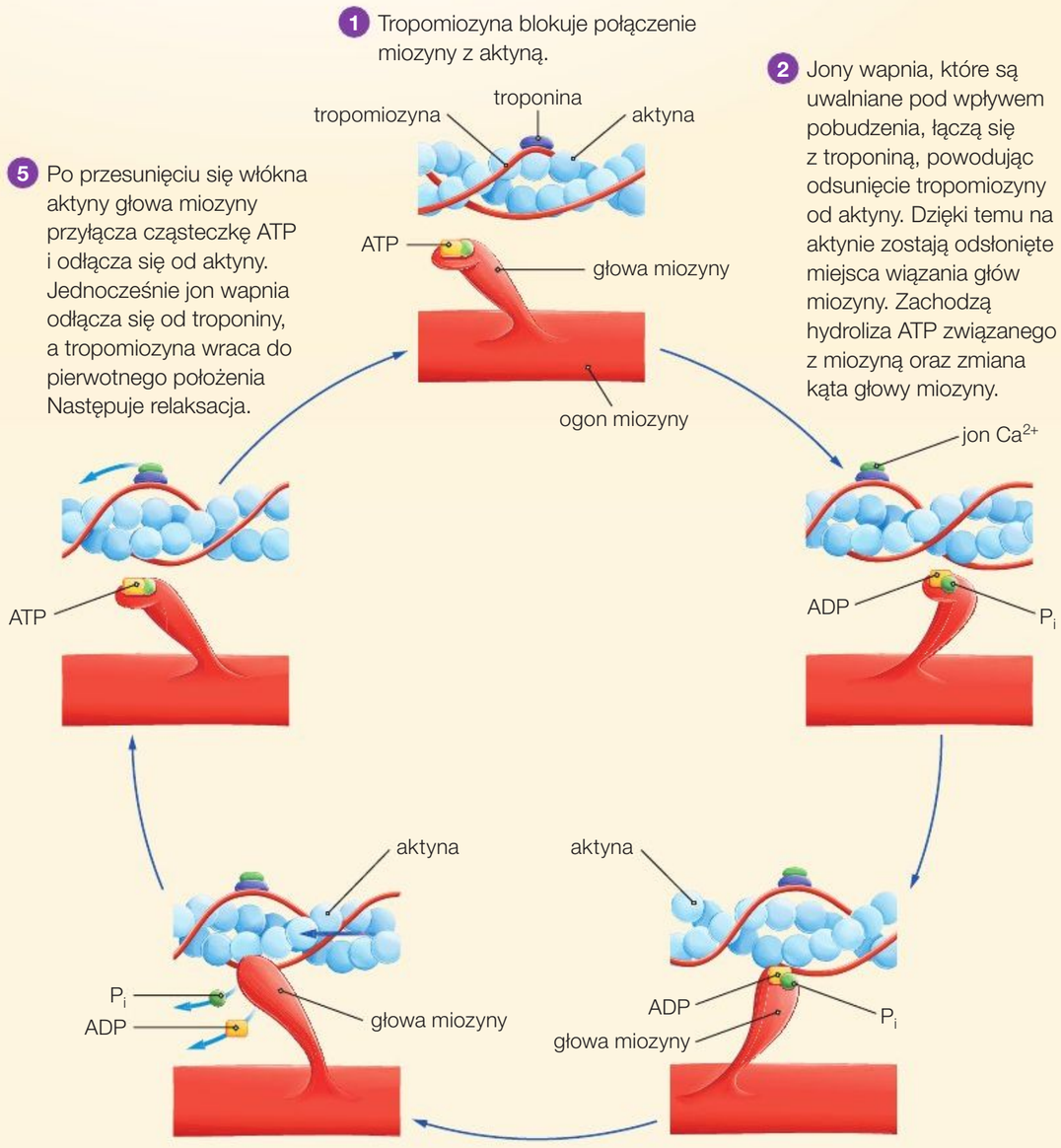
6 Skracanie się sarkomerów powoduje skurcz włókna mięśniowego. Po zakończonym skurczu pompa wapniowa transportuje jony wapnia z sarkoplazmy do siateczki sarkoplazmatycznej.



Molekularny mechanizm skurczu mięśnia szkieletowego

W skurczu mięśnia szkieletowego biorą udział jony wapnia oraz białka wchodzące w skład miofilamentów:
- cienkich, które składają się z dwóch skręconych łańcuchów aktyny oraz z białek – tropomiozyny i troponiny,
- grubych, które składają się z cząsteczek miozyny (pojedyncza cząsteczka miozyny jest zbudowana z głowy i z ogona).

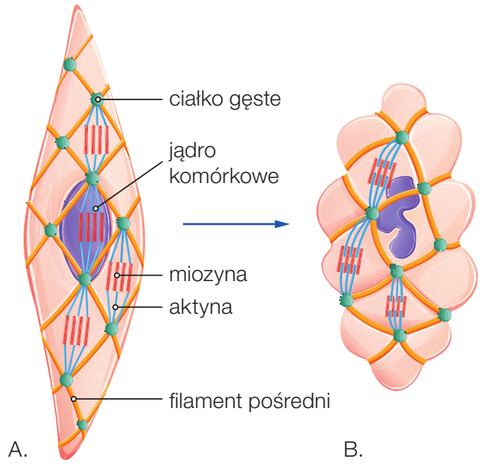
Tropomiozyna i troponina pełnią funkcję regulatorową, natomiast aktyna i miozyna odpowiadają za skracanie się sarkomerów.



Dowiedz się więcej

Skurcz mięśnia gładkiego

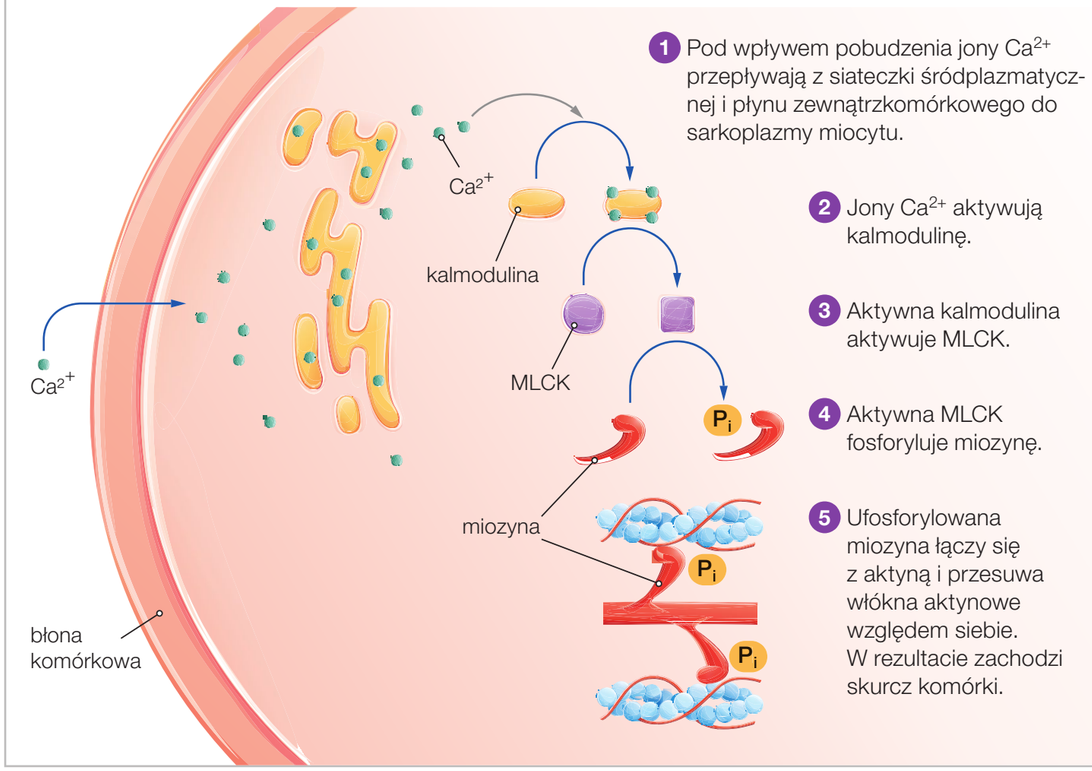
Komórki mięśni gładkich są otoczone sarkolemą zawierającą liczne jamki. Z kolei w sarkoplazmie występują ciałka gęste (odpowiedniki linii Z), do których są przytwierdzone filamenty cienkie (aktynowe) oraz filamenty pośrednie (desminowe). Między filamentami cienkimi znajdują się filamenty grube (miozynowe). W skład filamentów cienkich wchodzi również tropomiozyna, nie ma w nich 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.



Antagonizm i współdziałanie mięśni

Skurcze mięśni szkieletowych powodują poruszanie się dźwigni utworzonych przez kości połączone stawami. Jednak mięśnie mogą tylko pociągać kości, do których są przyczepione, nie mogą ich popychać – to dlatego muszą działać parami.

Ze względu na kierunek działania mięśni współpracujących podczas wykonywania ruchów wyróżnia się:

- **mięśnie antagonistyczne**, które uczestniczą w wykonywaniu czynności przeciwstawnych, np. mięśnie zginacze i prostowniki oraz przywodziciele i odwodziciele,
- **mięśnie synergistyczne**, które współdziałają w wykonywaniu jednego ruchu w tym samym kierunku, np. przepona i mięśnie międzyżebrowe współpracujące podczas wykonywania wdechów.

Dzięki współdziałaniu wielu mięśni wykonywane ruchy są skoordynowane i precyzyjne.

Udział mięśni w termoregulacji

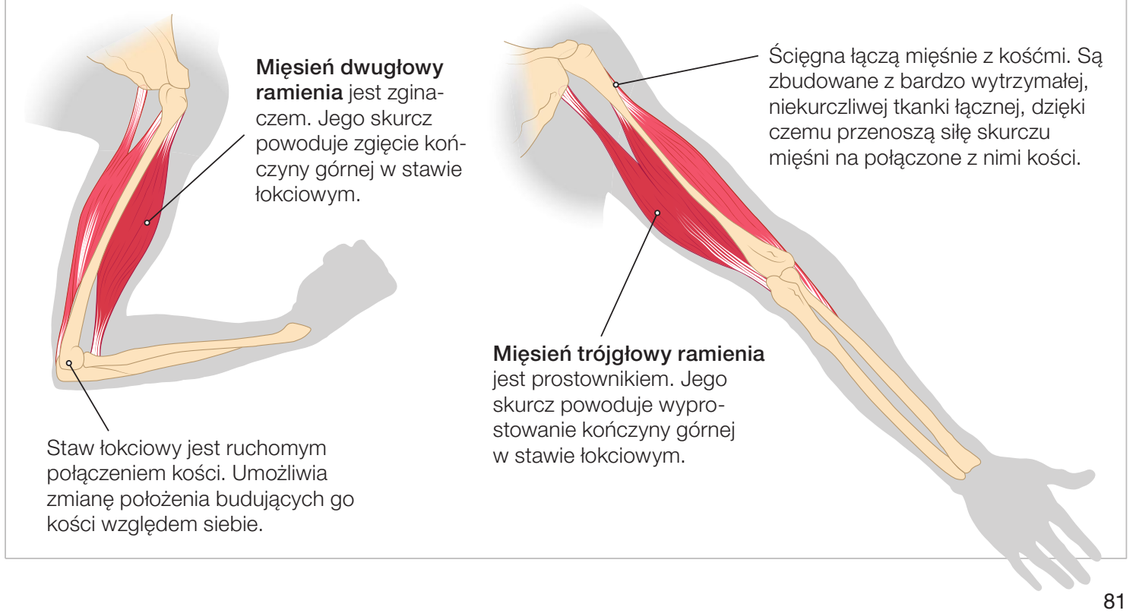
Duże znaczenie dla organizmu ma udział mięśni szkieletowych w reakcji na zimno. Zsynchronizowane, niezależne od woli skurcze zginaczy i prostowników umiejscowionych w obrębie głowy, tułowia i kończyn powodują uwalnianie ciepła, które jest wykorzystywane do ogrzania organizmu. Taki sposób produkcji ciepła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

Współdziałanie mięśni, ścięgien, kości i stawów w ruchu kończyny górnej

Mięśnie dwugłowy ramienia i trójgłowy ramienia działają antagonistycznie – uczestniczą w zginaniu i prostowaniu kończyny górnej w stawie łokciowym. Ich przyczepy – ścięgna – są zlokalizowane w obrębie stawów barkowego i łokciowego. Dzięki połączeniu kości za pomocą stawów możliwe jest przemieszczanie się kości względem siebie, a w efekcie – ruch kończyny.



Przemiany biochemiczne zachodzące podczas długotrwałej pracy mięśni

Cecha	Przemiana	Czas pracy mięśnia
Źródła podstawowe	ATP → ADP + P_i + energia	ułamek sekundy
	fosfokreatyna + ADP → kreatyna + ATP	2–4 sekundy
	glukoza + ADP + P_i + O_2 → 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

Dług tlenowy

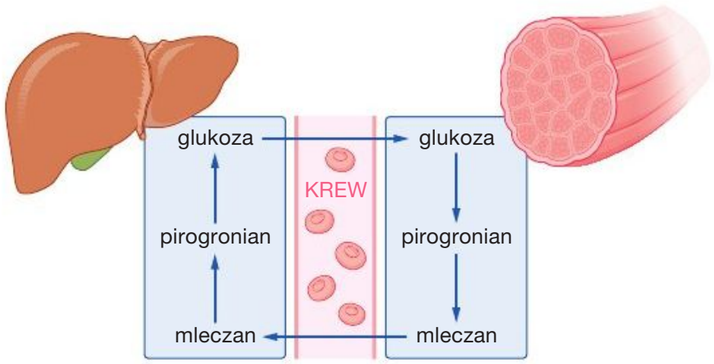
Podczas dużego wysiłku fizycznego stężenie tlenu we krwi jest niewystarczające do całkowitego utlenienia substratów oddechowych. Zostaje wówczas uruchomiony zapas tlenu zgromadzony w mięśniu w postaci **oksymioglobiny** (utlenowanej mioglobiny). Po wyczerpaniu zapasów oksymioglobiny organizm zaciąga **dług tlenowy** – czasowo przestawia się na **fermentację mleczanową**. W wyniku fermentacji w mięśniach gromadzi się **mleczan** (kwas mlekowy). Po przywróceniu warunków tlenowych część mleczanu (ok. 1/5) zostaje rozłożona na dwutlenek węgla i wodę. 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.



Dowiedz się więcej

Typy włókien mięśniowych

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

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 (stąd czerwona barwa tych włókien)	średnia (stąd pośrednia barwa tych włókien)	mała (stąd jasna barwa tych włókien)
Zawartość glikogenu	mała	średnia	duża
Tempo skurczu	wolne	szybkie	szybkie
Odporność na zmęczenie	duża	średnia	mała

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.

Zasady pracy mięśni szkieletowych

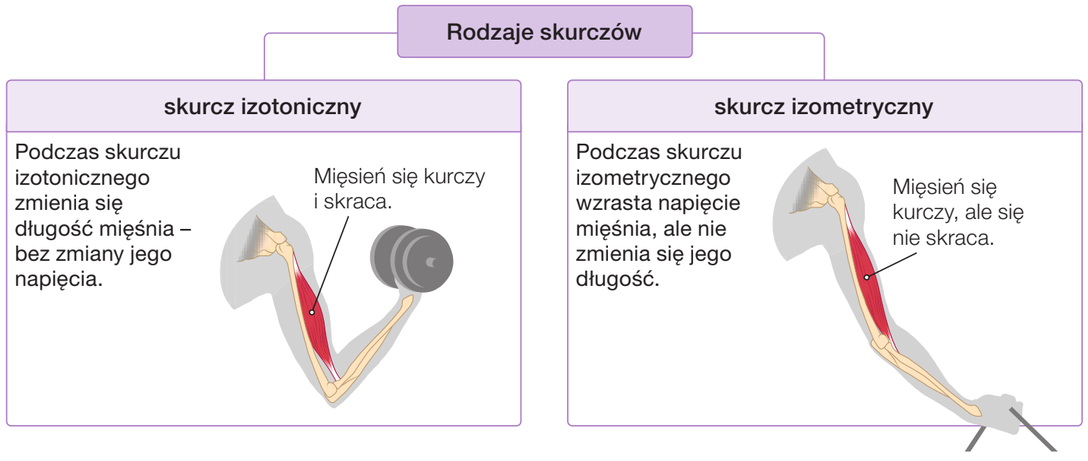
W stanie spoczynku mięśnie szkieletowe wykazują **napięcie spoczynkowe** (tonus), wynikające z ich obciążenia przez kości i narządy wewnętrzne. Na utrzymanie stanu napięcia wpływają dochodzące do nich nerwy. Mięśnie szkieletowe kurczą się pod wpływem impulsów nerwowych, które docierają przez aksony neuronów. 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).

Rodzaje skurczów

W zależności od tego, czy efektem skurczu mięśnia jest skrócenie mięśnia (praca dynamiczna) czy zwiększenie jego napięcia (praca statyczna), wyróżnia się:

- **skurcz izotoniczny** – jego efektem jest skrócenie mięśnia bez zmiany napięcia, np. podczas zginania kończyny górnej w łokciu,
- **skurcz izometryczny** – w jego przebiegu nie dochodzi do skrócenia mięśnia, a jedynie do zmiany jego napięcia, np. podczas zaciskania zębów i prężenia się na baczność,
- **skurcz auksotoniczny (mieszany)** – najczęstszy rodzaj skurczu; obejmuje następujące po sobie fazy: izometryczną (wykonanie pracy polegającej na pokonaniu oporu) oraz izotoniczną (skrócenie mięśnia).



Polecenia kontrolne

1. Skonstruuj tabelę, w której porównasz budowę i funkcjonowanie mięśni gładkich, mięśnia sercowego oraz mięśni szkieletowych.
2. Wyjaśnij, na czym polega antagonizm pracy mięśni. Podaj przykład mięśni antagonistycznych.
3. Opisz hierarchiczną budowę mięśni szkieletowych.
4. Podaj cechy budowy mięśni, które sprawiają, że wykazują one zdolność kurczenia się.
5. Opisz mechanizm skurczu mięśnia szkieletowego.
6. Wymień źródła energii niezbędnej do pracy mięśni.
7. Określ, w jakich warunkach w mięśniach dochodzi do zaciągania długu tlenowego.

3.6. Higiena i choroby układu ruchu

Ważne w tym temacie!

- wpływ diety i aktywności fizycznej na rozwój oraz stan kości i mięśni człowieka
- wpływ dopingu na organizm człowieka

Dolegliwości układu ruchu wynikają najczęściej z urazów mechanicznych, chorób, wad budowy i nieprawidłowej postawy ciała. Do ich powstania dodatkowo mogą przyczyniać 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.

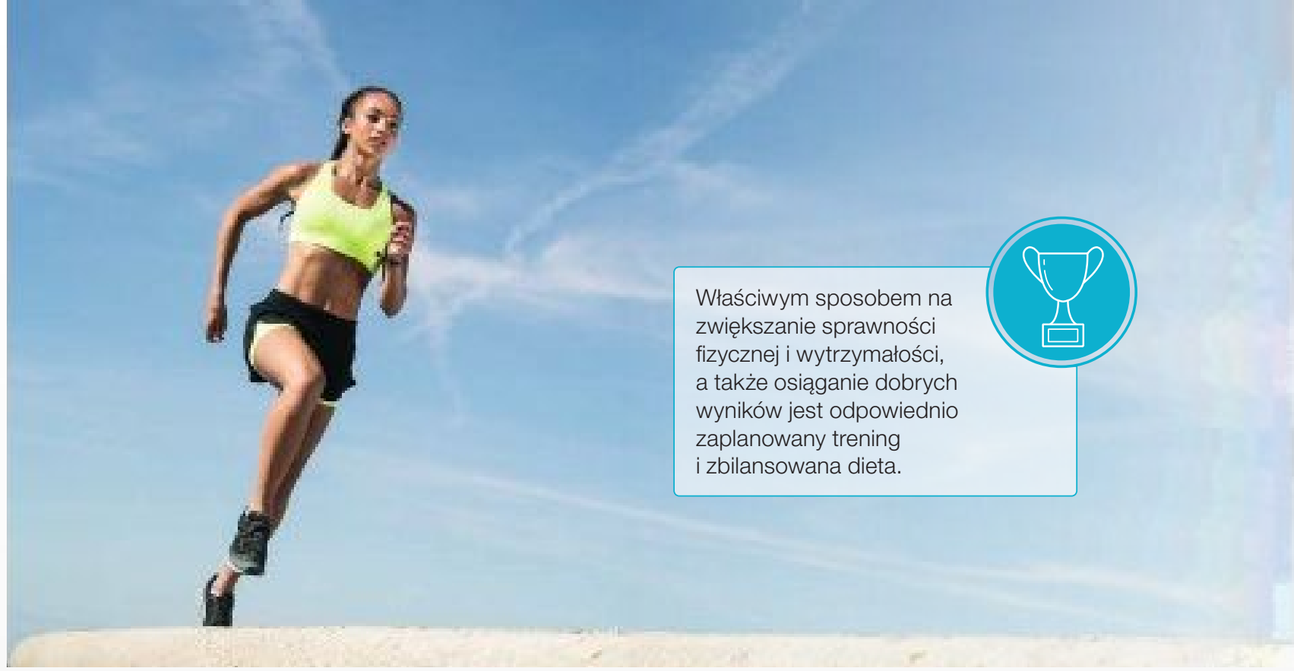
Układ ruchu a zdrowa dieta

Prawidłowe funkcjonowanie układu ruchu jest możliwe dzięki diecie bogatej w różnorodne składniki pokarmowe.

- **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.
- **Witamina D_3** – pobudza wchłanianie z przewodu pokarmowego wapnia, który wchodzi w skład kości.
- **Witamina C** – jest niezbędna do syntezy kolagenu odpowiedzialnego za elastyczność kości i chrząstek.
- **Woda** – 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, tak aby umożliwić sportowcom uzyskiwanie lepszych wyników. Polega on na sztucznym podnoszeniu wydolności, np. przez użycie środków farmakologicznych czy przez transfuzję krwi. Metody te wpływają jednak negatywnie na organizm.



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

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 też odczuwanie bólu.

Przykładowe skutki uboczne:

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

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.

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.

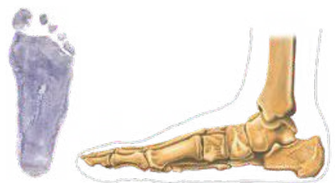
Nadmierna lordoza lędźwiowa polega na zbyt dużym wygięciu kręgosłupa do przodu. Prowadzi do wywierania nadmiernego ucisku na kręgosłup, co objawia się bólem.

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.

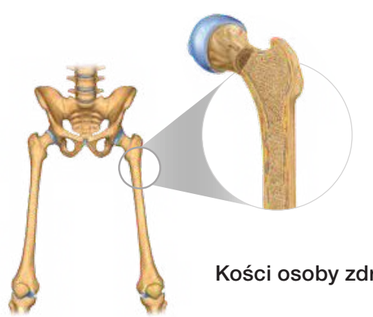
- **Przyczyny:** zmniejszone wydzielanie hormonów płciowych i niedobór wapnia w organizmie.
- **Na rozwój choroby wpływają:** starszy wiek (zwłaszcza u kobiet), czynniki genetyczne, dieta uboga w wapń i białko, długotrwałe unieruchomienie, zbyt mała aktywność fizyczna, przyjmowanie niektórych leków (np. 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.**

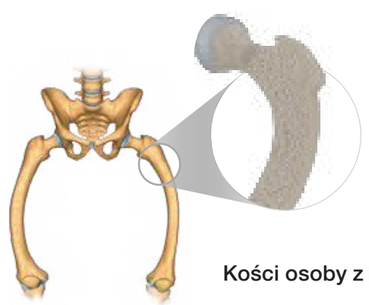
Krzywica

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.

Ramiona są opuszczone i znajdują się na tej samej wysokości.

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**.

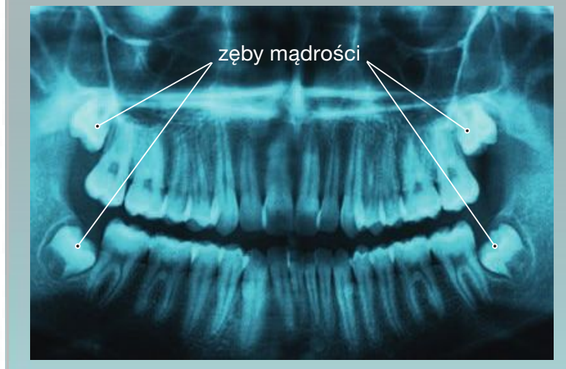
- Nadwaga oraz częste pochylanie ciała do przodu, np. podczas siedzenia przy biurku, mogą doprowadzić do **nadmiernej lordozy lędźwiowej**.

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 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.

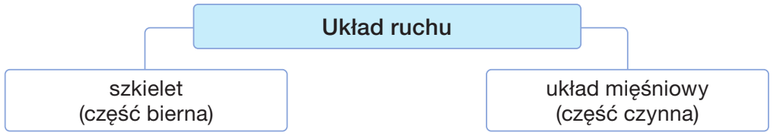
Wykonywanie RTG w diagnostyce urazów układu ruchu pozwala m.in. odróżnić złamanie kości od zwichnięcia lub skręcenia stawu i zastosować odpowiednie leczenie.

Polecenia kontrolne

1. Podaj trzy korzyści, jakie organizm człowieka czerpie z regularnej aktywności fizycznej.
2. Ułóż zdrowy jednodniowy jadłospis dla sportowca, któremu zależy na przyroście masy mięśniowej.
3. Sformułuj 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:

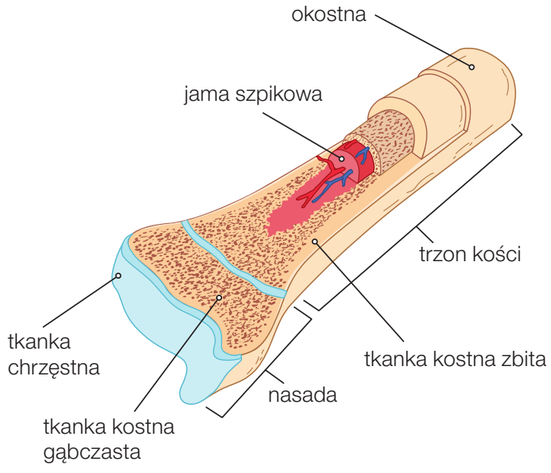
- chroni narządy wewnętrzne (np. mózg, płuca),
- stanowi miejsce przyczepu mięśni,
- jest rusztowaniem dla ciała i nadaje mu kształt,
- magazynuje składniki mineralne, m.in. sole wapnia,
- produkuje elementy morfotyczne krwi.

3 Budowa szkieletu człowieka:

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

4 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**, która jest wypełniona szpikiem kostnym.
- Powierzchnie stawowe kości są chronione przed urazami przez **tkankę chrzęstną**.



Budowa fragmentu kości długiej.

5 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

6 Budowa szkieletu osiowego

Szkielet osiowy

czaszka

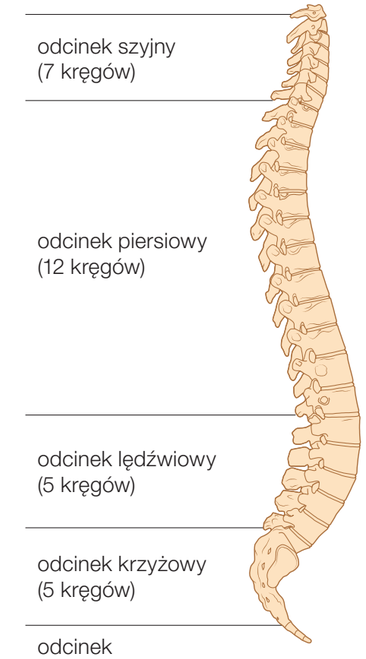
Jest zbudowana z dwóch części:
- **mózgoczaszki**, która składa się z kości: czołowej, klinowej, potylicznej, sitowej oraz parzystych kości ciemieniowych i skroniowych,
- **twarzoczaszki**, która składa się m.in. z żuchwy, kości gnykowej oraz parzystych kości łzowych, nosowych, szczękowych i jarzmowych.

klatka piersiowa

Jest zbudowana z odcinka piersiowego kręgosłupa, mostka oraz 12 par żeber. Rodzaje żeber ze względu na sposób połączenia z mostkiem:
- **żebra prawdziwe** (7 par) – połączone z mostkiem bezpośrednio za pomocą chrząstek,
- **żebra rzekome** (3 pary) – połączone z mostkiem za pomocą chrząstki siódmego żebra,
- **żebra wolne** (2 pary) – nie mają połączenia z mostkiem.

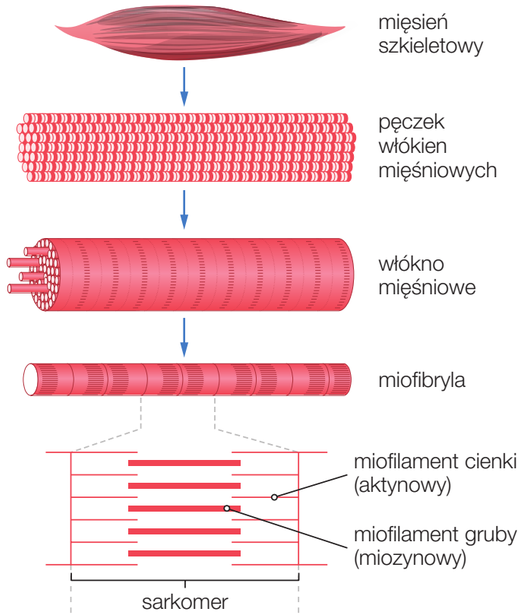
kręgosłup

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



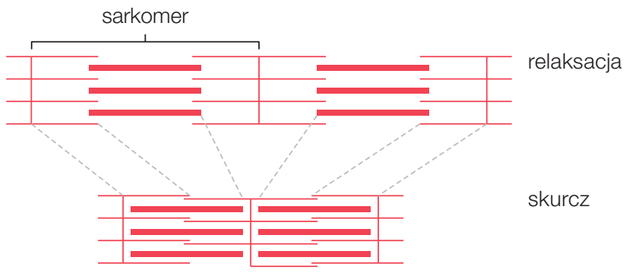
7 Budowa mięśnia szkieletowego

Sarkomer – podstawowa jednostka funkcjonalna (kurczliwa) mięśnia szkieletowego.

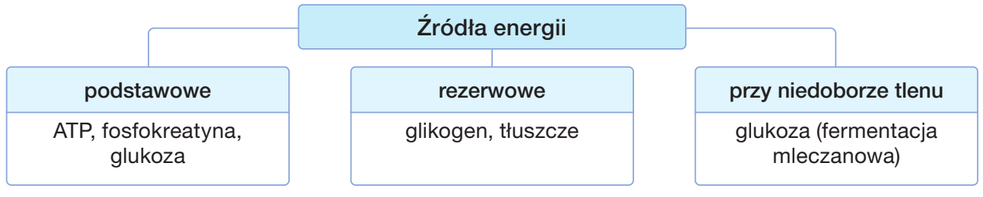


8 Mechanizm skurczu mięśnia

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.



9 Źródła energii potrzebnej do pracy mięśni



Sposób na zadania

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Zdjęcie przedstawia pingwina peruwiańskiego, który większość czasu spędza w przybrzeżnych wodach Oceanu Spokojnego.

Przyjrzyj się zdjęciu. Zwróć uwagę na błony pławne rozpięte między palcami kończyn tylnych. Zastanów się, w jaki sposób usprawniają one poruszanie się w wodzie.

a) Wykaż, że budowa kończyn tylnych pingwina peruwiańskiego stanowi przystosowanie tego zwierzęcia do poruszania się w środowisku wodnym.

Rozwiązanie:
Kończyny tylne pingwina peruwiańskiego są zaopatrzone w błony pławne / mają palce spięte błonami pławnymi. Dzięki temu pełnią funkcję płetw, co ułatwia poruszanie się w wodzie.

b) Wyjaśnij, w jaki sposób opływowy kształt ciała pingwinów wpływa na poruszanie się tych zwierząt w środowisku wodnym.

Woda charakteryzuje się dużą gęstością. Zastanów się, czy opływowy kształt ciała usprawnia poruszanie się wodzie czy je utrudnia.

Rozwiązanie:
Opływowy kształt ciała ułatwia pływanie, ponieważ zmniejsza opór wody, która charakteryzuje się dużą gęstością.

Zadanie analogiczne

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Zdjęcie przedstawia jerzyka, który większość życia spędza w locie.

a) Wykaż, że budowa kończyn przednich jerzyka stanowi przystosowanie tego zwierzęcia do lotu.

b) Wyjaśnij, w jaki sposób opływowy kształt ciała jerzyków wpływa na poruszanie się tych zwierząt w powietrzu.

Zadania powtórzeniowe

WYKONAJ W ZESZYCIE

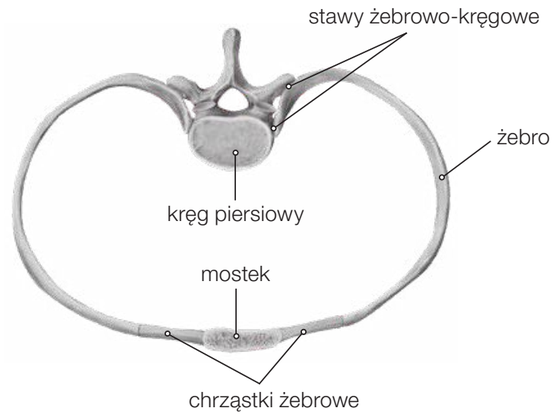
1 „Szwy znajdują się tylko w głowie i bez nich trudno byłoby wyobrazić sobie wzrost i rozwój skomplikowanej struktury czaszki. [...] Wspólnie z ciemiączkami pełnią istotną rolę podczas przechodzenia głowy przez kanał rodny.
[...] Pojemność czaszki, która w pierwszym roku życia wynosi 50% pojemności dorosłego, 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".

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

a) Uzasadnij, że obecność szwów między kośćmi czaszki pozwala na prawidłowy rozwój mózgu człowieka.

b) Wyjaśnij, w jaki sposób ciemiączka umożliwiają przejście głowy noworodka przez kanał rodny podczas porodu.

2 Na schemacie przedstawiono połączenie jednej pary żeber z kręgiem piersiowym i mostkiem.



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

b) Wyjaśnij, w jaki sposób ruchomość żeber względem kręgów piersiowych i mostka pozwala na wentylację płuc.

3 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) Wykaż, że siateczka sarkoplazmatyczna pełni istotną funkcję podczas skurczu mięśnia.

4 Po pewnym czasie od rozpoczęcia intensywnego wysiłku fizycznego 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.

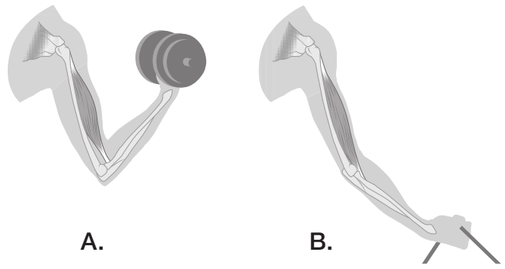
b) Określ, co dzieje się z głównym produktem organicznym przedstawionego procesu po przywróceniu warunków tlenowych w mięśniach.

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

Podczas maksymalnego wysiłku neurony pobudzają do pracy głównie 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*).

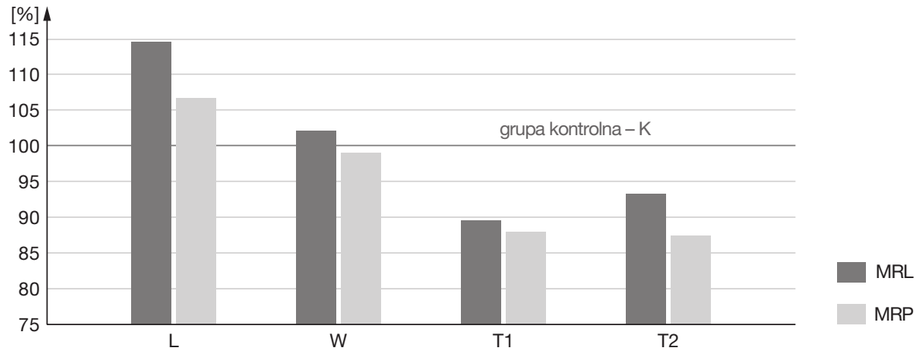
5 Na rysunkach przedstawiono dwa rodzaje skurczów mięśni – skurcz izotoniczny i skurcz izometryczny.

Określ, który rysunek – A czy B – przedstawia skurcz izometryczny. Odpowiedź uzasadnij, uwzględniając cechy tego skurczu.



6 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. Wybierz 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

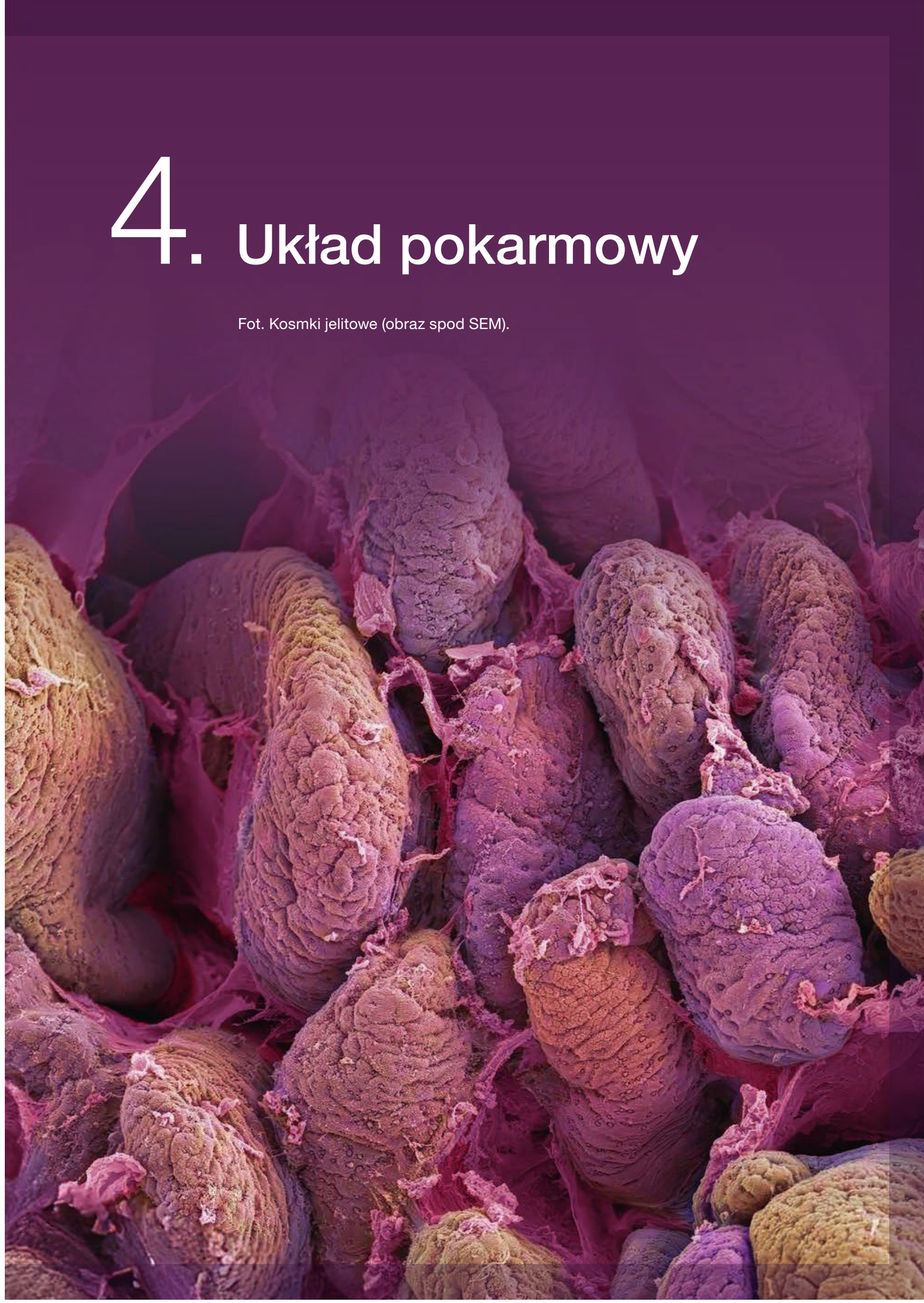
c) Określ, co stanowiło zmienną zależną w opisanym badaniu.

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

e) Podaj nazwy kości tworzących miednicę człowieka.

4. Układ pokarmowy

Fot. Kosmki jelitowe (obraz spod SEM).



4.1. Odżywianie się zwierząt

Ważne w tym temacie!

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

Zwierzęta należą do **heterotrofów**, co oznacza, że odżywiają się materią organiczną, którą pobierają ze środowiska, zjadając inne organizmy, ich części lub ich szczątki. Pokarm zwierząt składa się głównie z substancji wielkocząsteczkowych – białek, lipidów, polisacharydów oraz kwasów nukleinowych – które są nieprzyswajalne dla organizmu. To dlatego najpierw zachodzi trawienie związków pokarmowych, czyli ich enzymatyczny rozkład na substancje prostsze. Drobnocząsteczkowe produkty trawienia są następnie wykorzystywane przez komórki organizmu do budowy nowych wielkocząsteczkowych związków organicznych.

Trawienie i wchłanianie pokarmu

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 m.in. dla niektórych płazińców.

Trawienie zewnątrzkomórkowe pozwala na pobranie dużych porcji pokarmu. Ten rodzaj trawienia odbywa się jednak w przewodzie pokarmowym, co wiąże się ze specjalizacją poszczególnych odcinków tego układu. Trawienie zewnątrzkomórkowe zachodzi pod wpływem enzymów przewodu pokarmowego wydzielanych przez **gruczoły układu pokarmowego**, m.in. ślinianki, wątrobę i trzustkę. Produkty trawienia są następnie wchłaniane do krwi lub limfy i dostarczane do komórek ciała zwierzęcia. Tam podlegają dalszym przemianom metabolicznym, w tym rozkładowi lub syntezie nowych związków chemicznych.

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). Polega ono na tym, że zwierzę wprowadza soki trawienne do wnętrza ciała ofiary, a następnie wysysa z niego drobnocząsteczkowe produkty trawienia. Z ciała ofiary pozostaje jedynie pusta powłoka.

Przystosowania zwierząt do pobierania pokarmu

Zwierzęta pobierające pokarm stały

makrofagi – zwierzęta pobierające większe cząstki pokarmu

pokarm połykany w całości

Makrofagi, których otwór gębowy ma możliwość szerokiego otwierania się, połykają pokarm w całości.

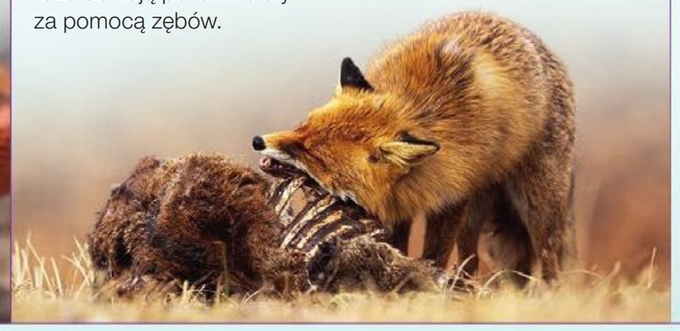
Węże połykają ofiary w całości dzięki specyficznej budowie czaszki, m.in. części ich żuchwy (prawa i lewa) nie są ze sobą zrośnięte. Ponadto w czaszce węży występują liczne połączenia stawowe, co zapewnia dużą ruchomość elementów czaszki.

pokarm rozdrabniany przed połknięciem

Makrofagi, które rozdrabniają pokarm stały, mają specjalne struktury służące do jego cięcia lub rozrywania, m.in.:

- zęby (większość ryb, gadów i ssaków),
- dzioby (ptaki i głowonogi),
- tarki (ślimaki),
- żuwaczki i szczęki (np. owady).

Lisy, tak jak większość ssaków, rozdrabniają pokarm stały za pomocą zębów.



mikrofagi – zwierzęta pobierające drobne cząstki pokarmu

Mikrofagi odżywiają się niewielkimi cząstkami pokarmu. Zwierzęta te zbierają cząstki organiczne m.in. za pomocą:

- rzęsek (np. małże),
- czułków (np. strzykwy),
- szczecinek i innych narządów służących do filtrowania (np. drobne skorupiaki, flamingi).

U **małży** cząsteczki organiczne najpierw osiadają na dużych, orzęsionych skrzelach, a następnie trafiają do otworu gębowego.

Zwierzęta pobierające pokarm płynny (płynożercy)

U zwierząt pobierających pokarm płynny występują: m.in.

- ssawki (np. motyle),
- kłujki (np. komary).

Zawisaki to motyle, które pobierają pokarm (nektar kwiatowy) za pomocą długiej i cienkiej ssawki. W odróżnieniu od innych motyli zawisaki potrafią zawisać w locie nad kwiatem. W podobny sposób odżywiają się nektarożerne ptaki – kolibry.

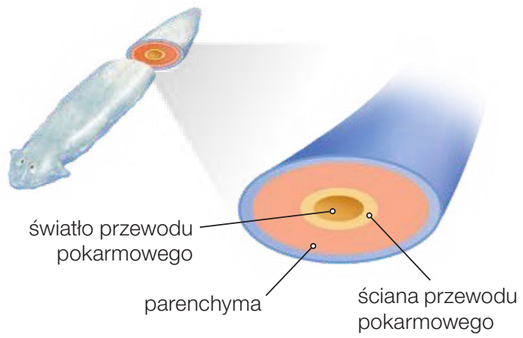
Przypomnij sobie

Budowa układu pokarmowego różnych grup zwierząt

Budowa układu pokarmowego jest ściśle związana z trybem życia zwierząt i ze stopniem zaawansowania ich rozwoju ewolucyjnego.

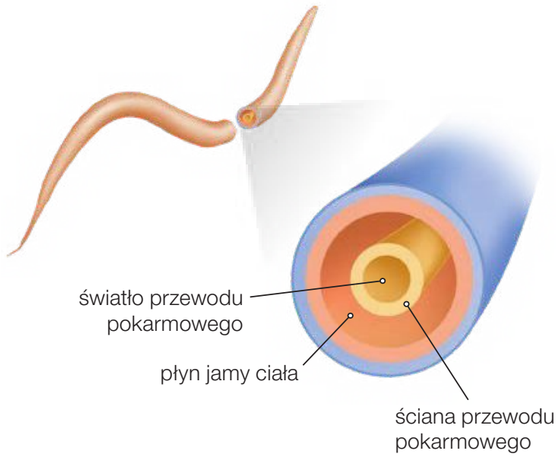
Zwierzęta acelomatyczne (np. płazińce)

- układ pokarmowy ma postać ślepo zakończonej, często rozgałęzionej rurki
- brak otworu odbytowego – niestrawione resztki pokarmowe są usuwane przez otwór gębowy
- nowa porcja pożywienia jest pobierana dopiero po strawieniu poprzedniej porcji



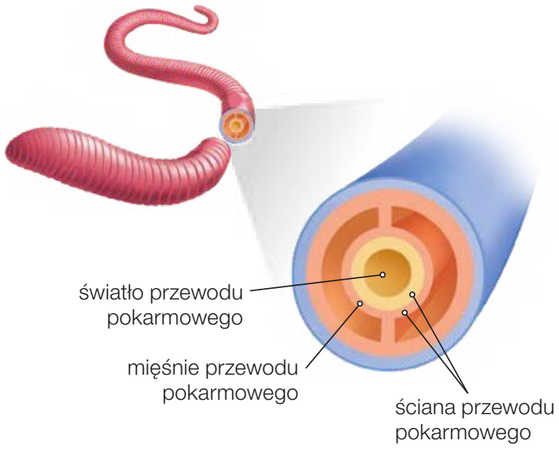
Zwierzęta pseudocelomatyczne (np. nicienie)

- układ pokarmowy ma postać drożnego przewodu pokarmowego (otwór gębowy → otwór odbytowy)
- nowa porcja pożywienia może być pobrana przed strawieniem poprzedniej porcji
- obróbka pokarmu jest sprawniejsza niż u zwierząt acelomatycznych



Zwierzęta celomatyczne (wszystkie zwierzęta począwszy od pierścienic)

- drożny, umięśniony przewód pokarmowy
- treść pokarmowa jest przesuwana dzięki ruchom perystaltycznym
- w skład przewodu pokarmowego wchodzą: jama gębowa, gardziel, przełyk, żołądek, jelito



Podział zwierząt ze względu na rodzaj spożywanego pokarmu

Ze względu na rodzaj spożywanego pokarmu zwierzęta dzieli się na: roślinożerne, mięsożerne, wszystkożerne i saprofagi. Oddzielną grupą są pasożyty.

Zwierzęta roślinożerne żywią się pokarmem roślinnym. Jest on trudny do strawienia, ponieważ zawiera dużo **celulozy**. W związku z tym zwierzęta roślinożerne wykształciły przystosowania pozwalające na rozdrabnianie i trawienie pokarmu. 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.

Zwierzęta mięsożerne odżywiają się pokarmem zwierzęcym. Pokarm ten jest łatwy do strawienia, ponieważ zawiera głównie **białka**. Mięsożercy odżywiający się dużymi ofiarami rozdrabniają je zwykle za pomocą dziobów lub zębów – ssaki drapieżne mają 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.

Zwierzęta wszystkożerne żywią się pokarmem mieszanym. Wymaga to adaptacji charakterystycznych zarówno dla roślinożerców, jak i dla mięsożerców.

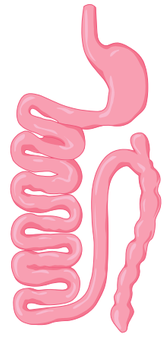
Saprofagi żywią się martwą materią organiczną. Zalicza się do nich m.in. glebożerną dżdżownicę czy kałożerne gatunki owadów. Zwierzęta te dysponują różnymi przystosowaniami, np. mikroorganizmy żyjące w przewodzie pokarmowym żuka gnojowego rozkładają celulozę zawartą odchodach innych zwierząt.

Pasożyty odżywiają się tkankami i płynami ustrojowymi innych organizmów. Wiele z nich, zwłaszcza pasożyty wewnętrzne, ma silnie uwstecznione lub zredukowane układy pokarmowe. Jest to związane z wchłanianiem całą powierzchnią ciała drobnocząsteczkowych związków organicznych wprost z jelita żywiciela.

Przypomnij sobie

Różnice w długości przewodów pokarmowych ssaków

Przewód pokarmowy ssaków roślinożernych jest bardzo długi – może osiągać długość odpowiadającą kilkunastu długościom ciała lub większą. Wynika to z faktu, że pokarm roślinny jest trudny do strawienia i przyswojenia. 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.

Najlepiej przystosowanymi do drapieżnictwa ssakami lądowymi są **kotowate**, np. ryś europejski. Zwierzęta te mają duże kły służące do zabijania ofiary oraz łamacze, które działają jak nożyce do cięcia 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 – są do niej przyczepione masywne mięśnie skroniowe, które poruszają 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, m.in. 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, do której grupy zwierząt – makrofagów, mikrofagów czy płynożerców – należy pijawka.
3. Wyjaśnij, dlaczego wykształcenie mięśni przewodu pokarmowego umożliwiło szybką i wydajną obróbkę pokarmu.
4. Przedstaw różnice w budowie układów pokarmowych roślinożercy i drapieżnika, a następnie wyjaśnij, z czego one wynikają.

4.2. Organiczne składniki pokarmowe

Ważne w tym temacie!

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

Człowiek odżywia się heterotroficznie – spożywa pokarm, który zawiera związki organiczne (głównie sacharydy, białka oraz lipidy) wytworzone przez inne organizmy. Składnikami pokarmu są również związki nieorganiczne – woda i sole mineralne. Pokarm jest źródłem:

- energii potrzebnej do przeprowadzania wszystkich procesów życiowych,
- substancji budulcowych koniecznych do wzrostu i rozwoju,
- substancji regulujących funkcjonowanie organizmu.

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.

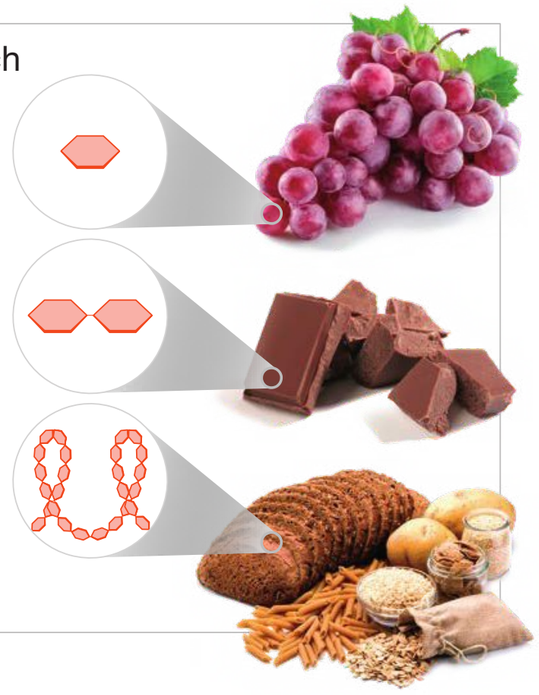
Źródłem sacharydów w diecie są najczęściej pokarmy pochodzenia roślinnego, rzadziej – zwierzęcego. Większość tych związków należy do **węglowodanów przyswajalnych**, które albo nie wymagają trawienia, albo są łatwo trawione, a następnie wchłaniane i wykorzystywane przez organizm. Do węglowodanów przyswajalnych 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 (→ s. 107).

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 na cukry proste, 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 liczby 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,
- stanowi pożywienie dla 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 i są głównym (po wodzie) budulcem komórek oraz tkanek.

Białka są zbudowane z dwudziestu rodzajów aminokwasów. Jedenaście z nich to **aminokwasy endogenne**, syntetyzowane w organizmie człowieka ze związków pośrednich 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 zasadowe.

Białka dostarczone w pokarmie są rozkładane w przewodzie pokarmowym na aminokwasy, a następnie wchłaniane do krwiobiegu i transportowane do komórek. W komórkach z aminokwasów egzogennych i endogennych zostają wytworzone białka własne organizmu. 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.

Podział aminokwasów na endogenne i egzogenne

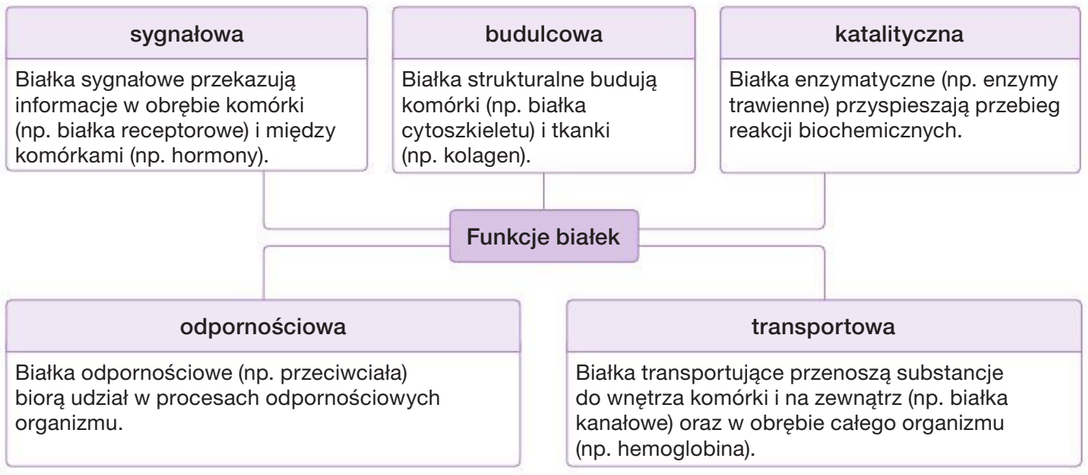
Aminokwasy	
endogenne	**egzogenne**
• alanina (Ala) • arginina (Arg) • asparagina (Asn) • asparaginian (Asp) • glutamina (Gln) • glutaminian (Glu) • glicyna (Gly) • prolina (Pro) • seryna (Ser) • tyrozyna (Tyr) • cysteina (Cys)	• fenyloalanina (Phe) • histydyna (His) • izoleucyna (Ile) • leucyna (Leu)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

Białka pełnowartościowe i niepełnowartościowe

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

Białka pełnowartościowe 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, które jedzą wyłącznie pokarmy roślinne, mogą być narażone m.in. na niedobory aminokwasów egzogennych.

Główne funkcje białek w organizmie człowieka



Źródła białek dla organizmu

Najbogatszym źródłem białek dla organizmu są produkty pochodzenia zwierzęcego. Niektóre z nich mają wzorcowy skład aminokwasów egzogennych, czyli pełen 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?

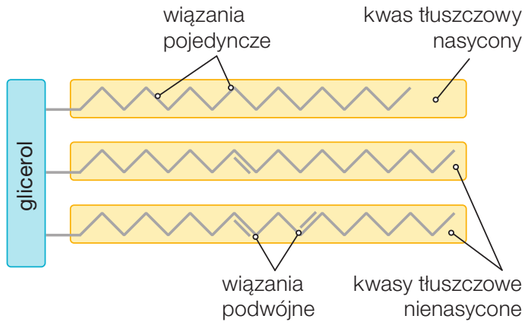
Podczas spożywania pokarmów zawierających jedynie białka niepełnowartościowe należy zwrócić szczególną uwagę na łączenie ich w posiłku w taki sposób, aby uzupełniały się pod względem zawartości aminokwasów. Na przykład pełen zestaw aminokwasów daje połączenie ryżu z fasolą po meksykańsku lub pełnoziarnistej 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 źródłem lub nośnikiem wielu substancji biologicznie czynnych, w tym witamin: A, D_3, E, K,
- biorą udział w syntezie niektórych hormonów, np. hormonów steroidowych, m.in. testosteronu i estrogenów (czyli hormonów płciowych → s. 424, 432)
- wchodzą w skład podskórnej i wokółnarządowej tkanki tłuszczowej, która pełni funkcję zapasową, a także ochronną, podporową oraz termoizolacyjną, zabezpieczając organizm przed nadmierną utratą ciepła.

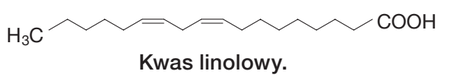


Budowa cząsteczki tłuszczu właściwego.

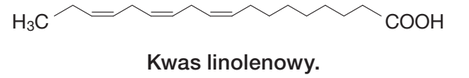
Tłuszcze występują w pokarmach pochodzenia zwierzęcego i roślinnego. Do tłuszczów zwierzęcych należą m.in. smalec, słonina oraz łój, które zawierają **nasycone kwasy tłuszczowe**. Ich częste spożywanie jest niewskazane ze względu na duże ryzyko rozwoju miażdżycy. Tłuszczami zwierzęcymi są także oleje rybne otrzymywane z tkanki mięśniowej i z wątroby ryb. Produkty te zawierają wiele cennych dla zdrowia substancji, m.in. witaminy D_3 i E oraz **nienasycone kwasy tłuszczowe** omega-3.

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 NNKT należą do związków egzogennych pobieranych wraz z pokarmem. NNKT są bardzo ważne dla prawidłowego funkcjonowania organizmu. Jednak nadmiar kwasów ω-6 w stosunku do kwasów ω-3 jest niekorzystny – może on sprzyjać powstawaniu stanów zapalnych i zaburzeń krzepnięcia krwi. Z tego względu zaleca się, aby zwiększać spożycie kwasów ω-3.



Kwas linolowy.



Kwas linolenowy.

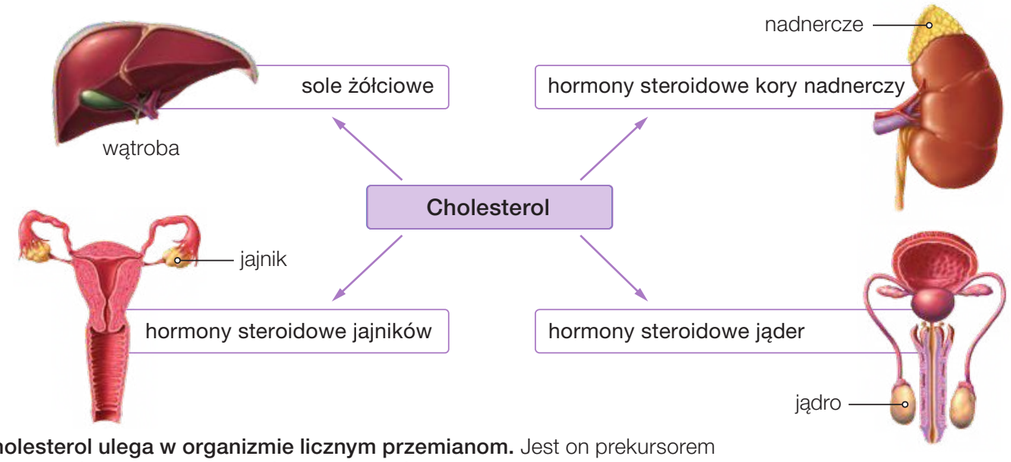
Kwasy ω-6 występują głównie w olejach roślinnych: słonecznikowym, sojowym, kukurydzianym, z pestek winogron. Zmniejszają stężenie cholesterolu we krwi. W małych ilościach działają korzystnie na organizm, natomiast w dużych – niekorzystnie.

Kwasy ω-3 występują w tłuszczu ryb, 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.



Cholesterol ulega w organizmie licznym przemianom. Jest on prekursorem m.in. soli żółciowych oraz niektórych hormonów.

Nadmiar i niedobór składników pokarmowych

Zarówno niedobór, jak i nadmiar składników pokarmowych może skutkować zaburzeniami w funkcjonowaniu organizmu.

Dobowe zapotrzebowanie osoby dorosłej na składniki pokarmowe

Składniki pokarmowe	Zapotrzebowanie [g/kg masy ciała]
Białka	1
Tłuszcze	1
Węglowodany	5–6

Skutki nadmiaru i niedoboru składników pokarmowych

Składniki pokarmowe	Skutki niedoboru	Skutki nadmiaru
Cukry	Niedobór cukrów może powodować spadek poziomu glukozy we krwi, co zmniejsza koncentrację i wywołuje senność. Gdy niedobór jest długotrwały, może prowadzić do wychudzenia organizmu.	Nadmiar cukrów jest przekształcany w wątrobie w tłuszcze i magazynowany w postaci tkanki tłuszczowej. Może to prowadzić do nadwagi.
Białka	Niedobór białek, zwłaszcza u dzieci oraz podczas rozwoju prenatalnego, hamuje rozwój fizyczny i umysłowy, a także prowadzi do osłabienia odporności. Długotrwałe niedobory białek mogą prowadzić do śmierci.	Nadmiar białek może prowadzić do uszkodzenia nerek i wątroby.
Tłuszcze	Niedobór tłuszczów zwiększa ryzyko niedoboru witamin rozpuszczalnych w tłuszczach.	Nadmiar tłuszczów przyczynia się do nadwagi i rozwoju chorób układu krążenia.

Polecenia kontrolne

1. Uzasadnij słuszność stwierdzenia: „Spożywanie węglowodanów nieprzyswajalnych jest korzystne dla organizmu”.
2. Podaj trzy funkcje białek w organizmie człowieka.
3. Wykaż, że obecność tłuszczów w pożywieniu człowieka jest niezbędna.

4.3. Rola witamin. Nieorganiczne składniki pokarmowe

Ważne w tym temacie!

- 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 niewystarczającej ilości (niektóre witaminy). Nie pełnią one funkcji budulcowej czy energetycznej, jednak są 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**. Przyczyną braku lub niedoboru witamin może 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. 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 moczem.

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

Promieniowanie słoneczne powoduje przekształcanie występującej w skórze prowitaminy D_3 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.

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 m.in. osłabieniem mięśni, obrzękami i zaburzeniami neurologicznymi.

Witamina B_2 (ryboflawina)

Funkcje: uczestniczy w oddychaniu tlenowym i syntezie hemoglobiny, poprawia stan skóry i przyspiesza gojenie się ran.

Skutki niedoboru: zajady w kącikach ust, łojotok, zapalenie języka, łysienie.

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 produkcji hemoglobiny i czerwonych krwinek, a także w przemianach białek, tłuszczów oraz węglowodanów. Jest niezbędna do syntezy niektórych hormonów i neuroprzekaźników, np. serotoniny i adrenaliny.

Skutki niedoboru: drgawki, drażliwość, obniżenie nastroju, zmiany skórne, 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 cewy nerwowej u płodu.

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

Witamina H (biotyna)

Funkcje: bierze udział w metabolizmie tłuszczów, węglowodanów i białek. Jest potrzebna do syntezy kwasów tłuszczowych, poprawia stan skóry, włosów i paznokci.

Skutki niedoboru: wypadanie włosów, łuszczenie się skóry, bóle mięśni, brak łaknienia.

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: spadek aktywności 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 (m.in. cytrusy, owoce rokitnika zwyczajnego, truskawki), a także nać pietruszki, warzywa kapustne, ziemniaki oraz chrzan.

Funkcje: bierze udział w syntezie hormonów steroidowych, wpływa korzystnie na stan tkanki łącznej (uczestniczy w syntezie kolagenu), ułatwia wchłanianie żelaza, wzmacnia odporność oraz chroni przed działaniem substancji toksycznych, m.in. wolnych rodników.

Skutki niedoboru: m.in. szybkie męczenie się, brak apetytu, bóle mięśniowo-stawowe oraz krwawienia z dziąseł. Długotrwały niedobór tej witaminy może prowadzić do niedokrwistości, osłabienia odporności, a także do rozwoju szkorbutu – choroby objawiającej się wypadaniem zębów, 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 łatwiej je przedawkować niż witaminy rozpuszczalne w wodzie, a tym samym doprowadzić do hiperwitaminozy.

Witamina A

Funkcje: jest niezbędna do prawidłowego widzenia, właściwego funkcjonowania nabłonków oraz wzrostu i rozwoju 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: zwiększa 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, zapewnia prawidłową pracę mięśni, poprawia płodność.

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

Źródła: oleje roślinne, migdały, 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

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 i na 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 i produktów spożywczych.

Witamina C jest oznaczana na produktach symbolem E300, witamina E – symbolem E306, a karoteny (naturalne barwniki roślinne, przekształcane w organizmie w witaminę A) – symbolem E160.

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), jod (I) oraz fluor (F).

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.

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.

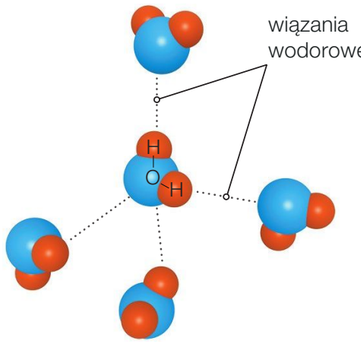
Źródła: ryby, herbata, produkty zbożowe.

Woda

Woda jest jednym z najważniejszych związków wchodzących w skład organizmu. Stanowi ona aż 60–70% masy ciała człowieka. Zawartość wody zależy m.in. od wieku i płci: 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 w organizmie 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 stosunkowo dużo wody zawiera tkanka mięśniowa (ok. 73%).

Źródłem wody dla organizmu są napoje oraz pokarm. 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.



Cząsteczka wody ma budowę polarną. Umożliwia to powstawanie wiązań wodorowych między cząsteczkami wody oraz między cząsteczkami wody a cząsteczkami innych związków chemicznych.

Właściwości wody i funkcje, które pełni w organizmie człowieka

WŁAŚCIWOŚĆ WODY	FUNKCJA
W zakresie temperatury 0–100°C jest cieczą.	Dzięki temu zapewnia ciekłe środowisko wewnątrz komórek.
Jest substratem reakcji biochemicznych.	Dzięki temu bierze udział w niektórych reakcjach biochemicznych, np. jest substratem hydrolizy białek, polisacharydów i tłuszczów.
Ma wysokie ciepło właściwe.	Dzięki temu: • umożliwia regulację temperatury ciała przez magazynowanie ciepła lub oddawanie go do otoczenia, • zapobiega akumulacji ciepła powstającego w trakcie procesów metabolicznych.
Ma wysokie ciepło parowania.	Dzięki temu umożliwia pozbywanie się nadmiaru ciepła z organizmu podczas pocenia się.
Wykazuje kohezję (spójność) i adhezję (przyleganie).	Dzięki temu ułatwia krążenie krwi i limfy w naczyniach włosowatych.
Jest dobrym rozpuszczalnikiem substancji hydrofilowych.	Dzięki temu: • stanowi środowisko reakcji chemicznych zachodzących w komórkach, • jest główną substancją transportującą – tworzy środowisko wewnętrzne organizmu, w którym są transportowane substancje chemiczne, • umożliwia usuwanie zbędnych oraz szkodliwych produktów przemiany materii.

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 ubytek wody w organizmie powinien zostać uzupełniony. Woda jest pobierana wraz z pokarmem i napojami. Dlatego też osobom dorosłym zaleca się picie ok. 1,2 dm^3 (1,2 litra) wody dziennie, co łącznie z wodą zawartą w pokarmie daje ok. 2,1 dm^3.

Niewielka ilość wody, zwana **wodą metaboliczną**, powstaje podczas przemian metabolicznych, m.in. w czasie oddychania tlenowego oraz reakcji 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 zwiększy się jej wchłanianie zwrotne w nerkach, przez co ilość powstającego moczu się zmniejszy. 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. Podaj 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.** pelagra, **c.** kurza ślepota, **d.** krzywica, **e.** anemia.
4. Wyjaśnij, dlaczego dodawanie niewielkich ilości tłuszczu do spożywanych warzyw, np. oleju do surówki, wpływa korzystnie na przyswajalność witaminy A.
5. Omów rolę wapnia i magnezu w organizmie.
6. Podaj skutki zbyt małej ilości fluoru w diecie.
7. Określ, jakie konsekwencje dla zdrowia może mieć nadmiar soli kuchennej w pożywieniu.
8. Omów znaczenie wody dla organizmu człowieka.

4.4. Budowa i funkcje układu pokarmowego

Ważne w tym temacie!

- przystosowania odcinków przewodu pokarmowego do pełnionych funkcji
- budowa i funkcje gruczołów trawiennych
- rola 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** – w jego odcinkach zachodzą kolejne etapy obróbki pokarmu. Przewód pokarmowy jest zbudowany z: jamy ustnej, gardła, przełyku, żołądka, jelita cienkiego i jelita grubego;
- **gruczoły trawienne** – produkują one wydzieliny niezbędne do trawienia pokarmu w przewodzie pokarmowym. Należą do nich: ślinianki, trzustka oraz wątroba.

Droga pokarmu w przewodzie pokarmowym

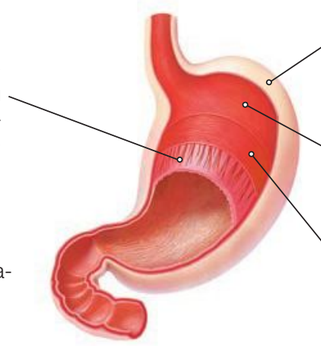
Do przewodu pokarmowego pokarm trafia przez szparę ustną otoczoną wargami. Następnie jest przesuwany przez jamę ustną, przełyk i żołądek do jelit. Niestrawione resztki pokarmu są usuwane na zewnątrz przez odbyt.

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 zachodzi w jednym kierunku (w stronę odbytu). Proces ten dodatkowo ułatwia śluz wydzielany przez błonę śluzową. Śluz pełni także funkcję ochronną.

Budowa ściany przewodu pokarmowego

Ściana przewodu pokarmowego składa się z czterech warstw: błony śluzowej, błony podśluzowej, błony mięśniowej i otrzewnej.

Błonę śluzową tworzą m.in. komórki nabłonkowe wydzielające ochronny śluz. W jamie ustnej, niektórych częściach gardła, przełyku i odbytnicy błona śluzowa jest zbudowana z nabłonka wielowarstwowego płaskiego, a w pozostałych odcinkach – z nabłonka jednowarstwowego walcowatego. W jelicie cienkim błona śluzowa wytwarza palczaste wypustki, zwane kosmkami jelitowymi.



Otrzewna to błona zbudowana z tkanki łącznej luźnej, która jest pokryta mezodermalnym nabłonkiem. Nabłonek chroni przewód pokarmowy i oddziela go od innych narządów ciała.

Błona mięśniowa składa się z mięśni gładkich, których skurcze powodują przesuwanie się treści pokarmowej i jej mieszanie się z enzymami trawiennymi.

Błona podśluzowa to warstwa tkanki łącznej, która zawiera naczynia krwionośne, naczynia limfatyczne oraz nerwy.

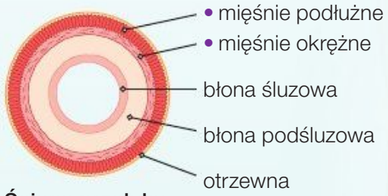
Budowa ściany przewodu pokarmowego na przykładzie żołądka.

Budowa układu pokarmowego

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

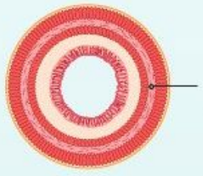
Przewód pokarmowy

- **Jama ustna** odpowiada za pobieranie, rozdrabnianie i nawilżanie pokarmu. Zachodzi w niej także częściowe trawienie polisacharydów.
- **Gardło** odpowiada za przesuwanie pokarmu do przełyku.
- **Przełyk** transportuje pokarm do żołądka.



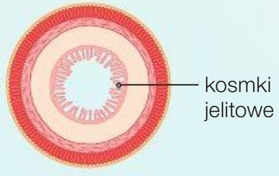
Ściana przełyku.

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



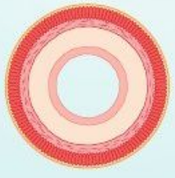
Ściana żołądka.

- **Jelito cienkie** odpowiada za trawienie i wchłanianie składników pokarmowych.

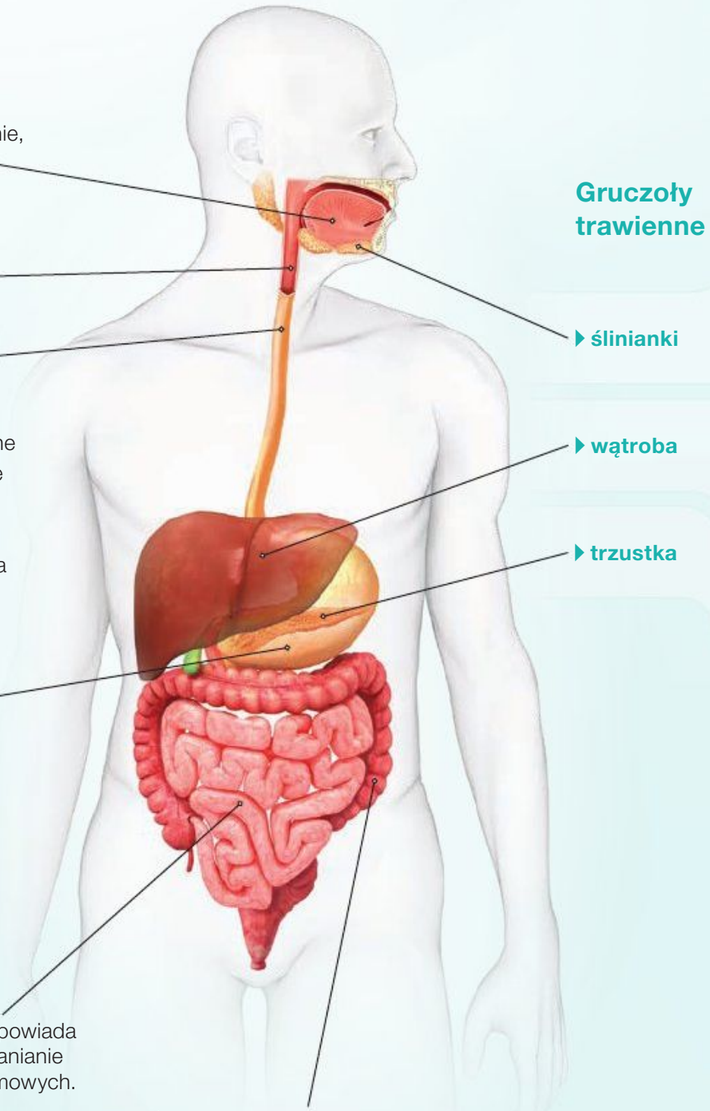


Ściana jelita cienkiego.

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

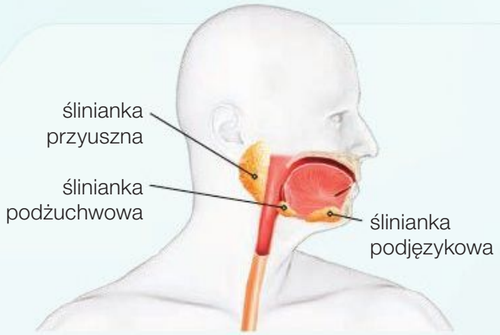


Ściana jelita grubego.



Gruczoły trawienne

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

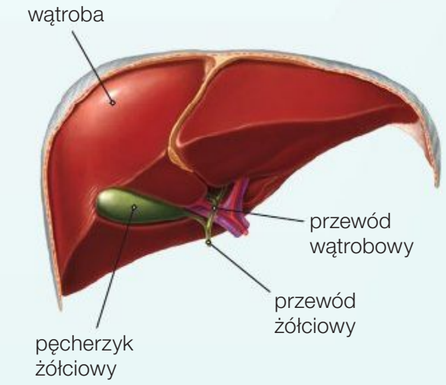


Przewody wyprowadzające ślinianek uchodzą do jamy ustnej.

Ślinianki

Trzy główne rodzaje ślinianek (ślinianki 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.

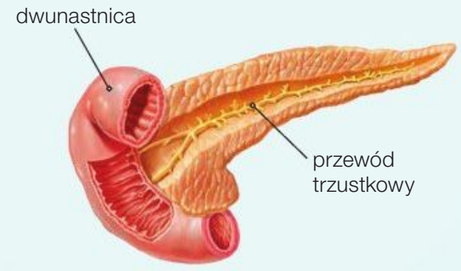


Wątroba jest połączona przewodem wątrobowym z pęcherzykiem żółciowym. Z pęcherzyka żółć przepływa do dwunastnicy przewodem żółciowym.

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 glikogen jest rozkładany w wątrobie;
- 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.



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:

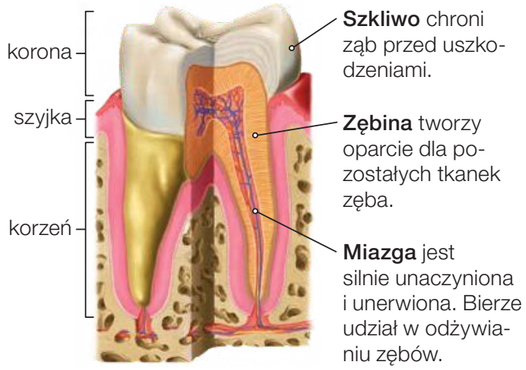
- **amylaza trzustkowa**, która kontynuuje trawienie skrobi,
- **trypsyna**, **chymotrypsyna** i **karboksypeptydazy**, które kontynuują trawienie białek,
- **lipaza trzustkowa**, która trawi tłuszcze zemulgowane przez żółć.

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

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

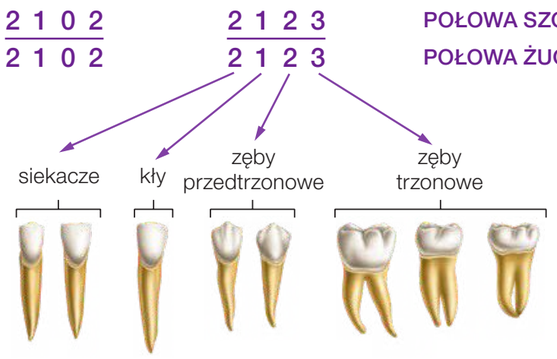
Wzór zębowy dziecka

$$\frac{2\ 1\ 0\ 2}{2\ 1\ 0\ 2}$$

Wzór zębowy osoby dorosłej

$$\frac{2\ 1\ 2\ 3}{2\ 1\ 2\ 3}$$

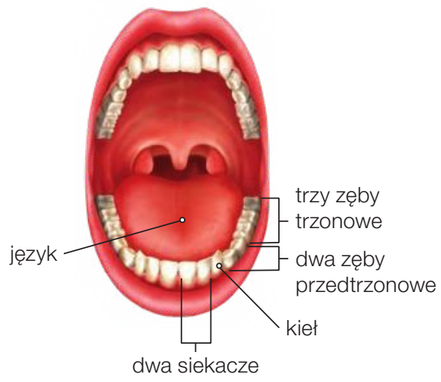
POŁOWA SZCZĘKI[1]
POŁOWA ŻUCHWY



Siekacze służą do odgryzania kawałków pokarmu.

Kły pomagają w rozgryzaniu pokarmu.

Zęby przedtrzonowe i trzonowe miażdżą i rozcierają pokarm.



U dorosłego człowieka w każdej połowie szczęki (jednej kości szczękowej) i w połowie żuchwy znajduje się po osiem zębów. Ostatnie zęby trzonowe wyrastają po 17. roku życia.

[1] Połowa szczęki to jedna kość szczękowa (szczęka człowieka jest zbudowana z dwóch zrośniętych ze sobą kości szczękowych).

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 (wspólnego odcinka 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.

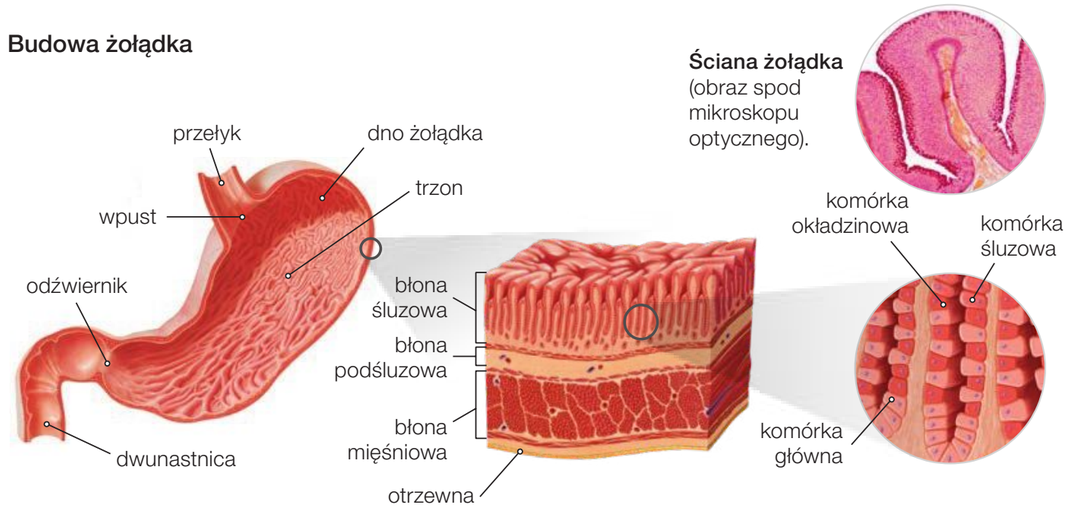
Żołądek

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 znajdują się dno żołądka, 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 H^+ i Cl^-, komórki główne wydzielają enzymy trawienne, a komórki śluzowe wytwarzają śluz.

W żołądku trawione są przede wszystkim **białka**. Proces ten odbywa się z udziałem **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 pepsynogenu do pepsyny następuje pod wpływem kwasu solnego lub wcześniej wytworzonej pepsyny (autokataliza).

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

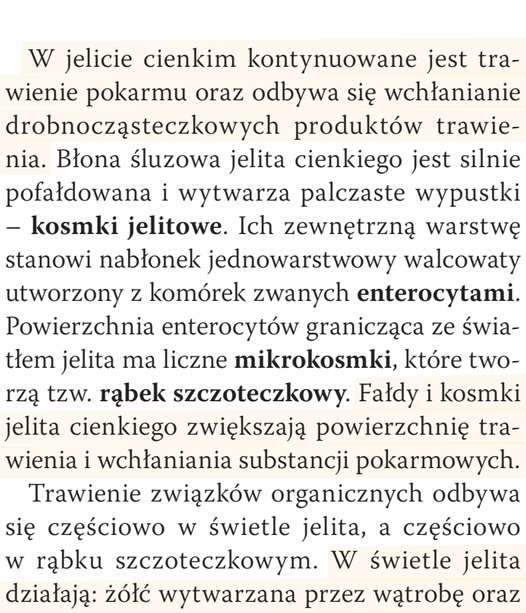
Jelito cienkie jest najdłuższym (ok. 6 m) odcinkiem przewodu pokarmowego. Wyróżnia się w nim trzy części: **dwunastnicę**, do której uchodzą przewody wyprowadzające trzustki i wątroby, **jelito czcze** oraz **jelito kręte**.

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 graniczająca ze światłem jelita ma liczne **mikrokosmki**, które tworzą tzw. **rąbek szczoteczkowy**. Fałdy i kosmki 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. W rąbku szczoteczkowym peptydy są rozkładane na aminokwasy, a dwucukry – na monosacharydy.

Żółć

Żółć jest płynem wytwarzanym w komórkach wątroby. Składa się z wody oraz ze składników stałych, do których należą m.in. kwasy żółciowe (w postaci soli żółciowych), fosfolipidy, cholesterol, kwasy tłuszczowe i barwniki będące produktami rozkładu hemoglobiny. Działanie kwasów żółciowych polega na **emulgacji tłuszczów**, czyli rozbijaniu ich na mniejsze krople. Emulgacja zwiększa stosunek powierzchni kropel tłuszczu do ich objętości, a tym samym ułatwia rozkład tłuszczu przez lipazy (hydrofilowe enzymy trawienne).



Kwasy żółciowe składają się z części hydrofobowej i z części hydrofilowej. Część hydrofobowa wnika do wnętrza kropli tłuszczu, natomiast część hydrofilowa pozostaje na zewnątrz. Dzięki temu duże krople tłuszczu są rozbijane na mniejsze krople.

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**, które są 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.

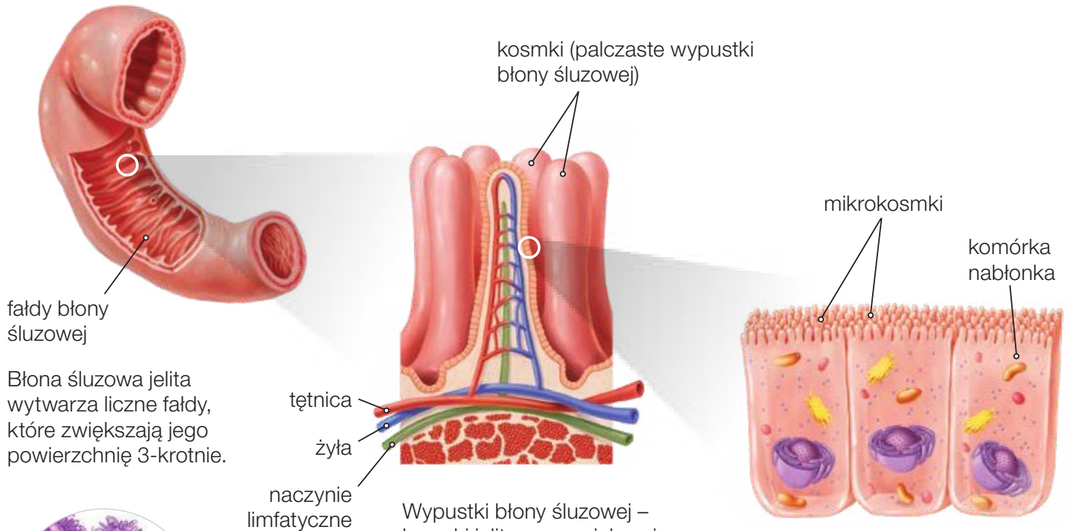
Jelito grube

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.

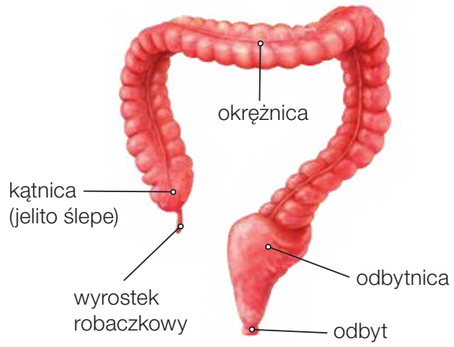
W błonie śluzowej jelita grubego rozwija się również bogaty **mikrobiom**, czyli liczne mikroorganizmy, które w procesach fermentacyjnych wykorzystują niestrawione resztki pokarmu, w tym celulozę (rozkładowi ulega ok. 15% spożytej celulozy). Ponadto bakterie jelitowe syntetyzują część witamin, które są później wchłaniane

Budowa jelita cienkiego



Ściana jelita cienkiego (obraz spod mikroskopu optycznego).

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, 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 m.in.:

- „zajmuje miejsce" w organizmie, przez co zapobiega rozwojowi drobnoustrojów chorobotwórczych,
- przeprowadza rozkład i fermentację błonnika,
- wytwarza witaminy z grupy B oraz witaminę K,
- wspomaga pracę układu odpornościowego, m.in. wzmacnia barierę jelitową, która zapobiega przenikaniu do organizmu bakterii i toksyn,
- wpływa właściwe funkcjonowanie układu nerwowego, m.in. produkuje związki chemiczne, które pobudzają lub hamują działanie neuronów.

Polecenia kontrolne

1. Przedstaw rolę wymienionych elementów przewodu pokarmowego w trawieniu pokarmu.
   a. Zęby.
   b. Kosmki jelitowe.
   c. Komórki główne żołądka.
2. Wyjaśnij, dlaczego enzymy proteolityczne są wytwarzane w formie nieaktywnych proenzymów.
3. Podaj trzy funkcje mikrobiomu jelita grubego.

4.5. Procesy trawienia i wchłaniania

Ważne w tym temacie!

- mechanizm trawienia związków organicznych oraz lokalizacja etapów tego procesu
- wchłanianie i dalsze przemiany związków organicznych
- rola ośrodków głodu i sytości w przyjmowaniu pokarmu

Pobrany pokarm najpierw jest rozdrabniany i trawiony. Następnie produkty trawienia są wchłaniane do organizmu. Niestrawione resztki pokarmu zostają wydalone.

Rozdrabnianie to mechaniczne rozkładanie pokarmu na mniejsze części. Obejmuje ono żucie, mieszanie, połykanie i przesuwanie masy pokarmowej w przewodzie pokarmowym dzięki ruchom perystaltycznym. Wszystkie te czynności ułatwiają trawienie pokarmu.

Trawienie polega na enzymatycznym rozkładzie wielkocząsteczkowych związków organicznych na związki prostsze, które są przyswajalne przez organizm. W komórkach produkty trawienia służą jako źródło energii lub materiał do budowy własnych związków.

Proces trawienia zachodzi dzięki **enzymom trawiennym**. Należą one do klasy hydrolaz, a przeprowadzany przez nie proces to **hydroliza enzymatyczna**.

Miejsca rozdrabniania i trawienia pokarmu

1. **Jama ustna** – zachodzą w niej żucie pokarmu oraz wstępny rozkład enzymatyczny wielocukrów i tłuszczów.
2. **Żołądek** – odbywa się w nim wstępne trawienie białek. Dzięki skurczom mięśni ściany żołądka pokarm zmienia się w płynną papkę.
3. **Jelito cienkie** – zachodzi w nim dalsze trawienie cukrów, białek i tłuszczów. Produkty trawienia są wchłaniane do krwi lub limfy, a następnie rozprowadzane do komórek ciała.

Przemiany sacharydów

Trawienie polisacharydów i oligosacharydów zachodzi z udziałem enzymów, które rozkładają wiązania glikozydowe łączące reszty cukrów prostych. Monosacharydy, które powstały w wyniku trawienia oraz zostały pobrane wraz z pokarmem, są następnie wchłanianie do krwi.

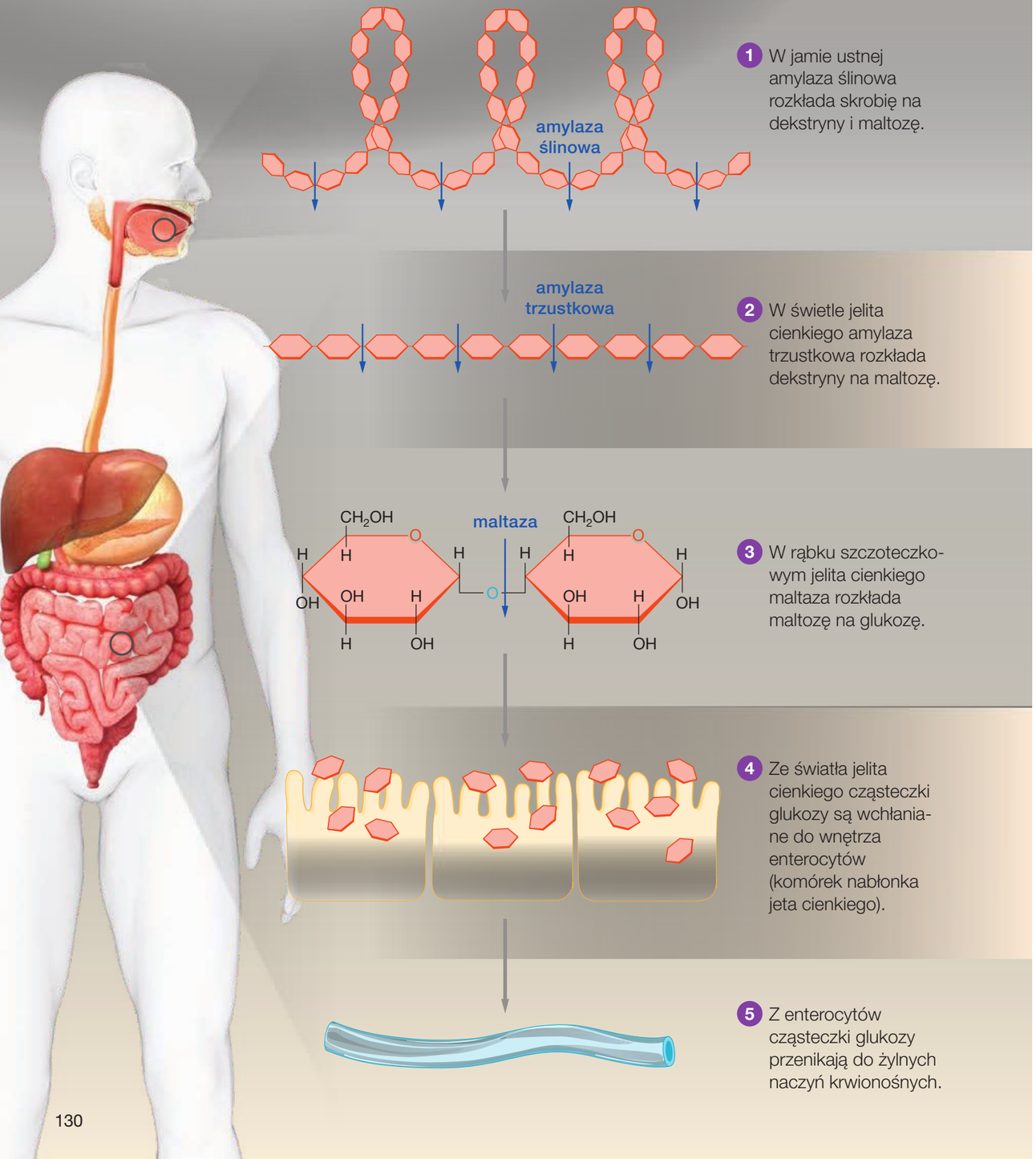
Główne enzymy rozkładające sacharydy

Nazwa enzymu	Miejsce działania	Funkcja	Rodzaj rozkładanego wiązania chemicznego
Amylaza ślinowa	jama ustna	Rozkłada skrobię (oraz glikogen) na dekstryny[1] i maltozę.	1,4-α-glikozydowe
Amylaza trzustkowa	światło jelita cienkiego (głównie w dwunastnicy)	Rozkłada dekstryny na maltozę.	1,4-α-glikozydowe
Maltaza	rąbek szczoteczkowy jelita cienkiego	Rozkłada maltozę na glukozę.	1,4-α-glikozydowe
Sacharaza	rąbek szczoteczkowy jelita cienkiego	Rozkłada sacharozę na glukozę i fruktozę.	1,4-α-glikozydowe
Laktaza	rąbek szczoteczkowy jelita cienkiego (szczególnie aktywna u noworodków i niemowląt)	Hydrolizuje cukier mleczny – laktozę – do glukozy i galaktozy.	1,4-β-glikozydowe

[1] **Dekstryny** – krótkie łańcuchy oligo- lub polisacharydowe.

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 na dekstryny i maltozę.
2. W świetle jelita cienkiego amylaza trzustkowa rozkłada dekstryny na maltozę.
3. W rąbku szczoteczkowym jelita cienkiego maltaza rozkłada maltozę na glukozę.
4. Ze światła jelita cienkiego cząsteczki glukozy są wchłaniane do wnętrza enterocytów (komórek nabłonka jeta cienkiego).
5. Z enterocytów cząsteczki glukozy przenikają do żylnych naczyń krwionośnych.

Przemiany białek

Trawienie białek zachodzi z udziałem enzymów proteolitycznych, które rozkładają wiązania peptydowe łączące reszty aminokwasów. Do **enzymów proteolitycznych** należą endopeptydazy, które hydrolizują wiązania peptydowe wewnątrz cząsteczki białka, oraz egzopeptydazy, które odłączają skrajne aminokwasy z końców łańcucha peptydowego. W wyniku trawienia białek i peptydów powstają wolne aminokwasy, które z przewodu pokarmowego są wchłaniane do krwi.

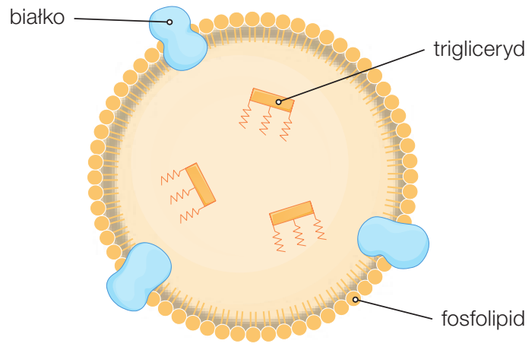
Główne enzymy proteolityczne

Nazwa enzymu	Miejsce działania	Funkcja
Pepsyna	żołądek	Rozkłada białka na peptydy.
Trypsyna	światło jelita cienkiego (głównie w dwunastnicy)	Rozkłada białka na peptydy.
Chymotrypsyna	światło jelita cienkiego (głównie w dwunastnicy)	Rozkłada białka na peptydy.
Karboksypeptydazy	światło jelita cienkiego (głównie w dwunastnicy)	Odłączają skrajne aminokwasy od końca karboksylowego peptydów.
Aminopeptydazy	rąbek szczoteczkowy jelita cienkiego	Odłączają skrajne aminokwasy od końca aminowego peptydów.
Dipeptydazy	rąbek szczoteczkowy jelita cienkiego	Rozkładają dipeptydy na wolne aminokwasy.

Przemiany tłuszczów

Trawienie tłuszczów zachodzi z udziałem **enzymów lipolitycznych (lipaz)**. Lipazy rozkładają wiązania estrowe łączące glicerol z resztami kwasów tłuszczowych. Tłuszcze są związkami hydrofobowymi, a lipazy – związkami hydrofilowymi. Z tego powodu lipazy funkcjonują wyłącznie na powierzchni kropel tłuszczu, nie wnikając do ich wnętrza. Aby efektywność trawienia była większa, duże krople tłuszczu ulegają **emulgacji**, czyli zostają rozbite na mniejsze fragmenty. Tworzy się wówczas zawiesina (emulsja). Emulgacja zachodzi w dwunastnicy pod wpływem żółci.

W wyniku trawienia tłuszczów powstają glicerol i kwasy tłuszczowe. Glicerol i kwasy tłuszczowe tworzą kompleksy z solami żółciowymi i są transportowane do komórek nabłonka jelit. Tam zachodzi resynteza tłuszczów właściwych, które łączą się z fosfolipidami oraz z białkami – i w tej postaci przedostają się do limfy.



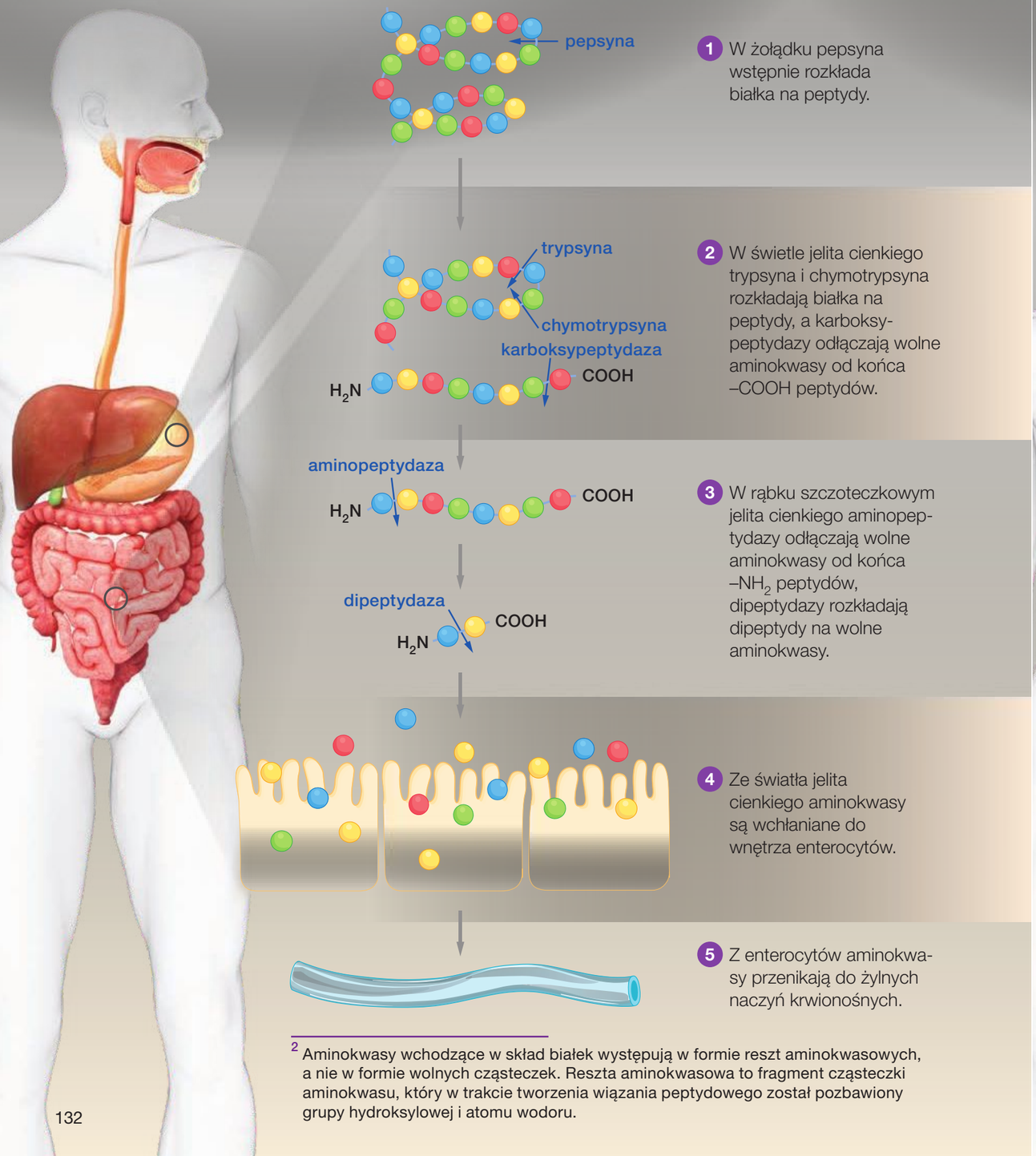
Tłuszcze właściwe tworzą z fosfolipidami i białkami struktury zwane chylomikronami. Chylomikrony (rodzaj lipoprotein → s. 111) mają hydrofobowy rdzeń oraz hydrofilową otoczkę, dzięki czemu mogą być transportowane przez krew i limfę.

Główne enzymy rozkładające tłuszcze

Nazwa enzymu	Miejsce działania	Funkcja
Lipaza ślinowa	jama ustna	Rozkłada tłuszcze występujące w postaci naturalnej emulsji na glicerol i kwasy tłuszczowe.
Lipaza żołądkowa	żołądek	Rozkłada tłuszcze występujące w postaci naturalnej emulsji na glicerol i kwasy tłuszczowe.
Lipaza trzustkowa	światło jelita cienkiego	Rozkłada tłuszcze zemulgowane przez żółć na glicerol i kwasy tłuszczowe.

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 utworzone przez poszczególne aminokwasy[2].

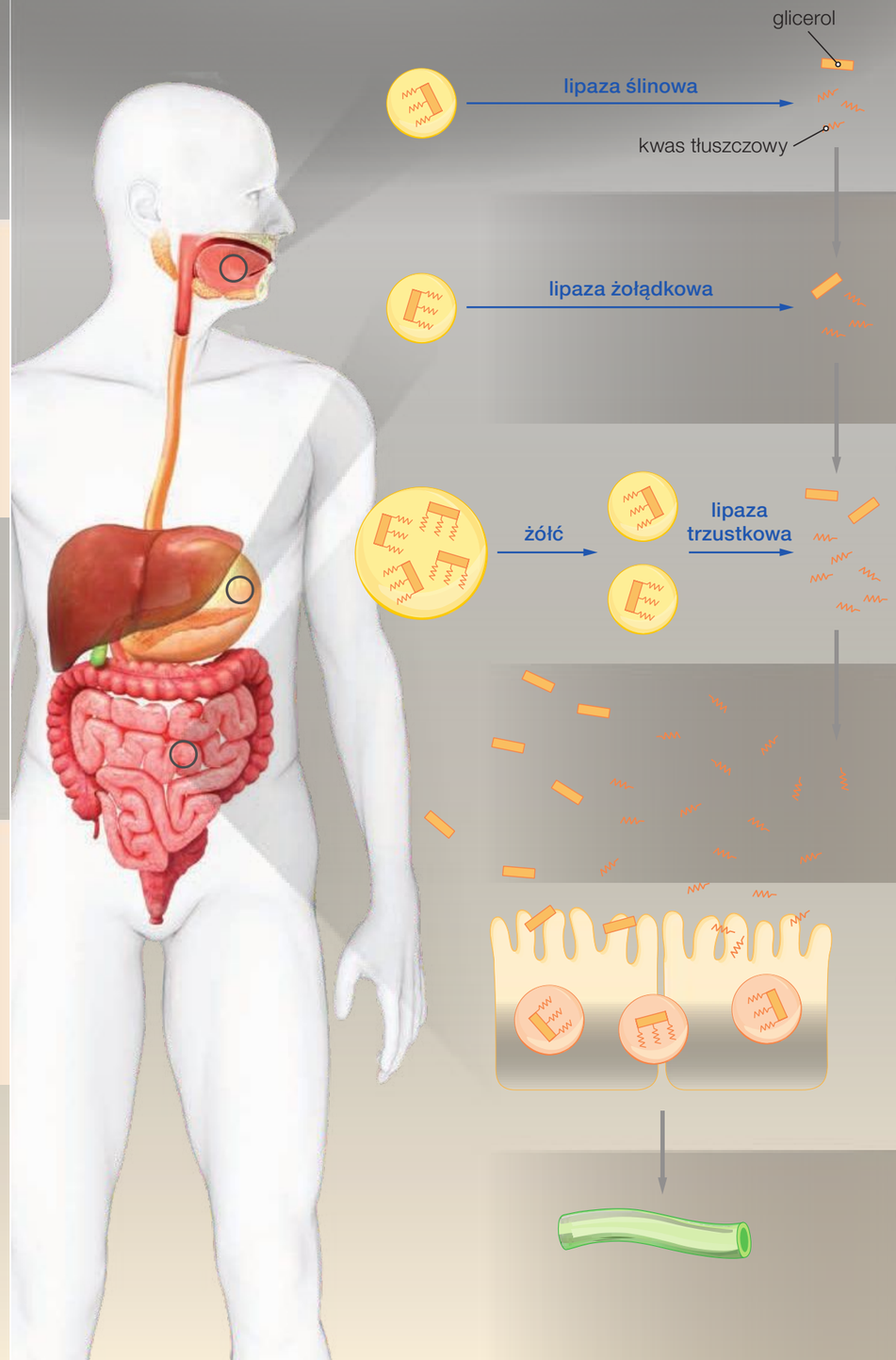


1. W żołądku pepsyna wstępnie rozkłada białka na peptydy.
2. W świetle jelita cienkiego trypsyna i chymotrypsyna rozkładają białka na peptydy, a karboksypeptydazy odłączają wolne aminokwasy od końca –COOH peptydów.
3. W rąbku szczoteczkowym jelita cienkiego aminopeptydazy odłączają wolne aminokwasy od końca $–NH_2$ peptydów, dipeptydazy rozkładają dipeptydy na wolne aminokwasy.
4. Ze światła jelita cienkiego aminokwasy są wchłaniane do wnętrza enterocytów.
5. Z enterocytów aminokwasy przenikają do żylnych naczyń krwionośnych.

[2] Aminokwasy wchodzące w skład białek występują w formie reszt aminokwasowych, a nie w formie wolnych cząsteczek. Reszta aminokwasowa to fragment cząsteczki aminokwasu, który w trakcie tworzenia wiązania peptydowego został pozbawiony grupy hydroksylowej i atomu wodoru.

Trawienie tłuszczów

Rozkład tłuszczów zachodzi w jamie ustnej, w żołądku oraz w jelicie cienkim. W jamie ustnej (środowisko obojętne) działa lipaza ślinowa, w żołądku (środowisko kwasowe) – lipaza żołądkowa, a 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. Żółć emulguje tłuszcze, czyli rozbija je na mniejsze krople. Dzięki temu lipaza może rozłożyć tłuszcze na glicerol i wolne kwasy tłuszczowe.
4. Ze światła jelita cienkiego glicerol i wolne kwasy tłuszczowe (w formie kompleksów z solami żółciowymi) są wchłaniane do wnętrza enterocytów.
5. W enterocytach zachodzą 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.

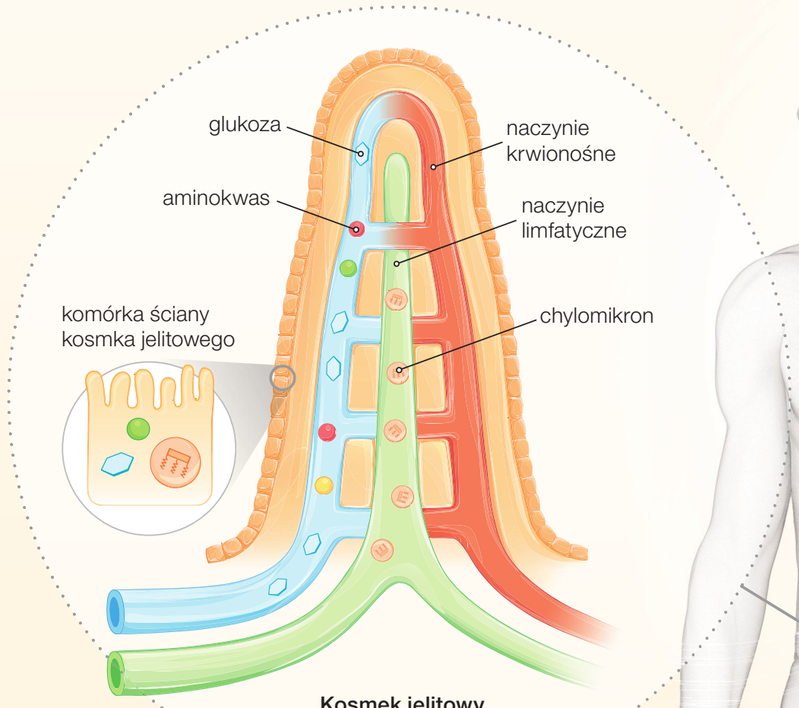
Białka

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. Gdy aminokwasów jest za dużo lub organizm odczuwa długotrwały głód, mogą być one wykorzystane jako źródło energii.

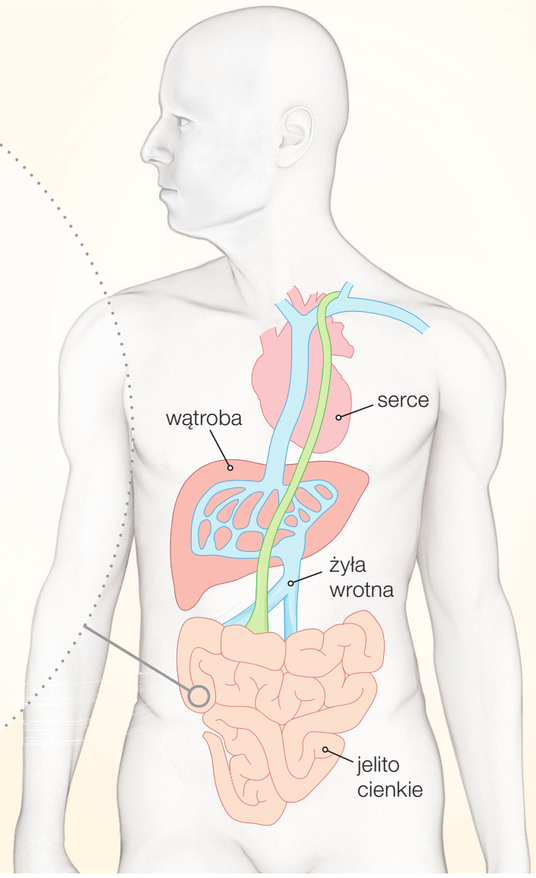
Tłuszcze

Produktami trawienia tłuszczów właściwych są glicerol i kwasy tłuszczowe. W komórkach nabłonka jelita cienkiego zachodzą 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

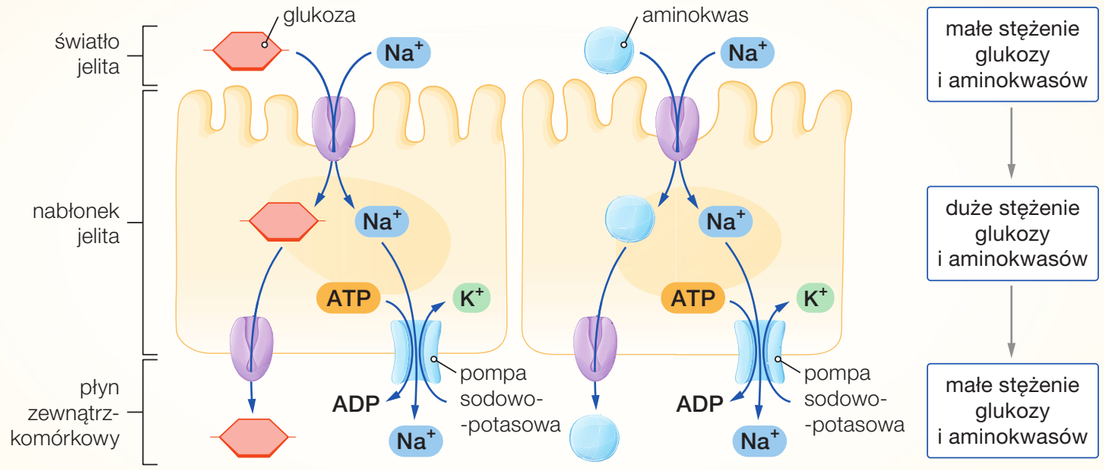


Kosmek jelitowy.



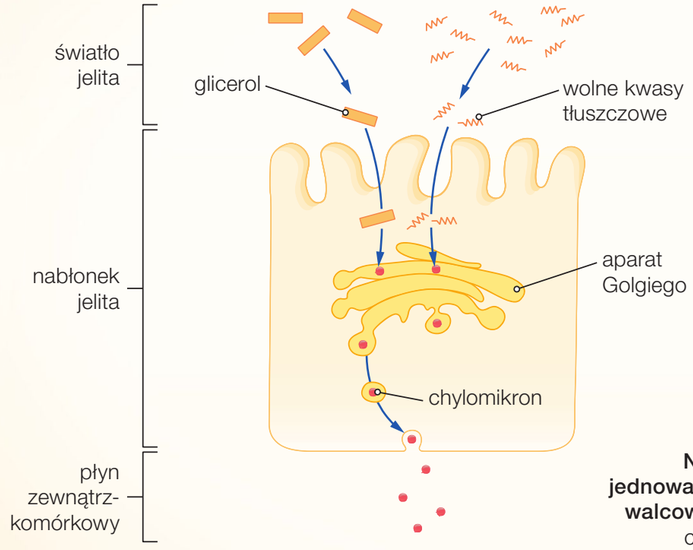
Transport glukozy i aminokwasów przez błony enterocytu

Transport glukozy i aminokwasów ze światła jelita do wnętrza enterocytu odbywa się przez białka nośnikowe symportowe wraz z jonami sodu. Jest to transport czynny, ponieważ źródłem energii do pracy białek nośnikowych jest gradient stężenia jonów sodu po obu stronach błony enterocytu. Gradient ten jest wytwarzany przez pompę sodowo-potasową. Pompa czynnie transportuje jony sodu z wnętrza komórki do płynu zewnątrzkomórkowego. Dzięki temu zwiększa się różnica stężeń tych jonów między wnętrzem komórki a światłem jelita. 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, gdzie otaczają się hydrofilową otoczką zewnętrzną i tworzą wraz z nią chylomikrony (→ s. 131). Chylomikrony są usuwane z komórki do przestrzeni zewnątrzkomórkowej na drodze egzocytozy.



Nabłonek jednowarstwowy walcowaty jelita cienkiego.

Doświadczenie

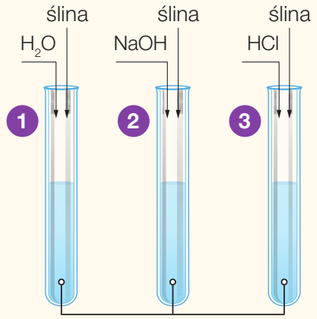
Badanie wpływu pH roztworu na trawienie skrobi przez amylazę ślinową

- **Problem badawczy:** Wpływ pH roztworu na trawienie skrobi przez amylazę ślinową.
- **Hipoteza badawcza:** Trawienie skrobi przez amylazę ślinową zachodzi najintensywniej w roztworze o pH = 7.
- **Przebieg doświadczenia:**

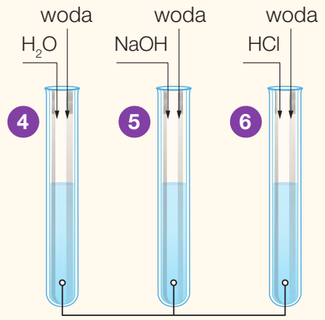
  Przygotuj sześć probówek. Do trzech probówek (1–3) wlej po 5 cm^3 wody destylowanej, po 2 cm^3 kleiku skrobiowego oraz po 3 cm^3 śliny. Następnie:
  - do pierwszej probówki dodaj 1 cm^3 wody destylowanej,
  - do drugiej probówki dodaj 1 cm^3 0,5% roztworu NaOH,
  - do trzeciej probówki dodaj 1 cm^3 0,5% roztworu HCl.

  Kolejne trzy probówki (4–6) przygotuj w ten sam sposób, ale zamiast śliny dodaj po 3 cm^3 wody destylowanej. Za pomocą uniwersalnych papierków wskaźnikowych sprawdź odczyn każdej z prób. Pozostaw próby na 30 min. Po upływie tego czasu do każdej probówki dodaj za pomocą zakraplacza po kilka kropel płynu Lugola. Wykonaj doświadczenie trzy razy.

Próba badawcza: Trzy probówki (1–3) zawierające kleik skrobiowy, wodę destylowaną i ślinę. Do pierwszej probówki dodaj wodę destylowaną, do drugiej – roztwór NaOH, do trzeciej – roztwór HCl. Po upływie 30 min do wszystkich probówek zakropl płyn Lugola.



Próba kontrolna: Trzy probówki (4–6) zawierające kleik skrobiowy i wodę destylowaną. Do pierwszej probówki dodaj wodę destylowaną, do drugiej – roztwór NaOH, do trzeciej – roztwór HCl. Po upływie 30 min do wszystkich probówek zakropl płyn Lugola.



- **Wynik doświadczenia:** Zaobserwuj zmiany, które zaszły w próbach po dodaniu do nich płynu Lugola.
- **Wniosek:** Sformułuj wniosek.

- **Wyjaśnienie:**
  - Amylaza ślinowa hydrolizuje skrobię. Enzym ten jest aktywny w ślinie, która ma odczyn obojętny lub zbliżony do obojętnego.
  - Płyn Lugola barwi skrobię na granatowo, dlatego można go wykorzystać do wykrywania skrobi w materiale biologicznym.
  - Próba kontrolna pozwala określić, czy uzyskany w próbie badawczej rozkład skrobi wynika wyłącznie z działania amylazy ślinowej. Próba kontrolna nie zawiera śliny, dlatego niezależnie od wartości pH w probówkach nie powinno dojść do rozkładu skrobi.
  - Wykonanie kilku powtórzeń doświadczenia jest konieczne – w ten sposób wiadomo, czy efekt uzyskany za pierwszym razem jest powtarzalny czy jest dziełem przypadku.

Regulacja czynności układu pokarmowego

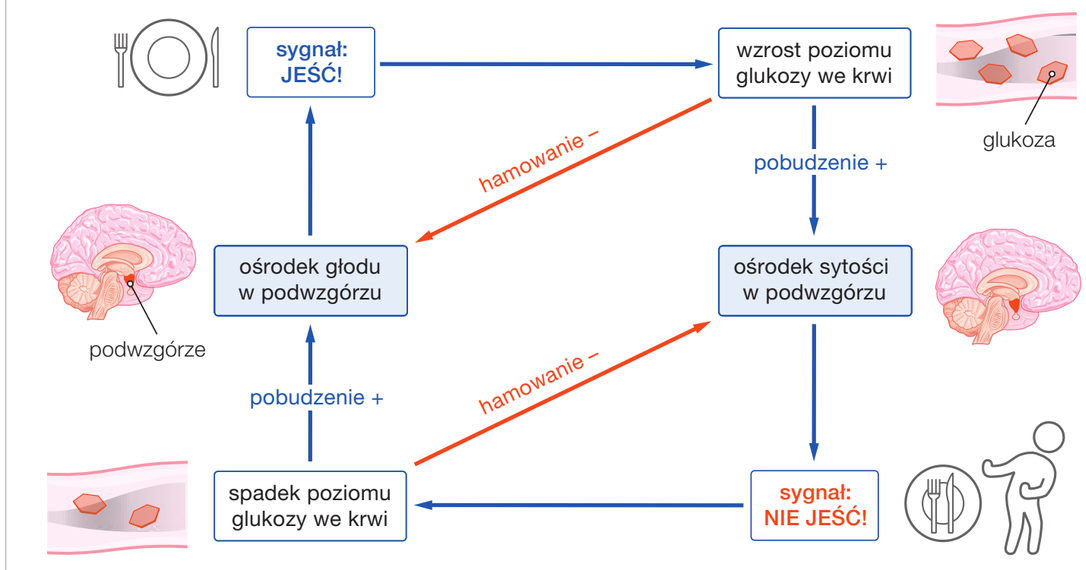
Czynności układu pokarmowego są regulowane przez układ nerwowy i układ hormonalny.

Układ nerwowy reguluje m.in. motorykę przewodu pokarmowego oraz wydzielanie soków trawiennych, np.:
- wydzielanie soków trawiennych w odpowiedzi na pobudzenie chemoreceptorów ściany jelita przez składniki pokarmu,
- wydzielanie soku żołądkowego pod wpływem podrażnienia przez pokarm zakończeń nerwowych zlokalizowanych w jamie ustnej, a także na widok pokarmu lub w reakcji na jego zapach.

Układ hormonalny reguluje pracę układu pokarmowego za pośrednictwem hormonów wytwarzanych w ścianie przewodu pokarmowego. Przykładem takiego hormonu jest **gastryna**, która stymuluje wydzielanie soku żołądkowego. Gastryna jest produkowana przez gruczoły błony śluzowej żołądka w odpowiedzi na pobudzenie chemoreceptorów przez składniki pokarmu.

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. Przedstaw rolę jamy ustnej w procesie trawienia.
2. Podaj trzy cechy jelita cienkiego, które stanowią jego adaptację do trawienia i wchłaniania pokarmu.
3. Opisz przebieg wchłaniania produktów trawienia w układzie pokarmowym.
4. Przedstaw rolę wątroby i trzustki w procesie trawienia pokarmów.

4.6. Wątroba – centrum metaboliczne organizmu

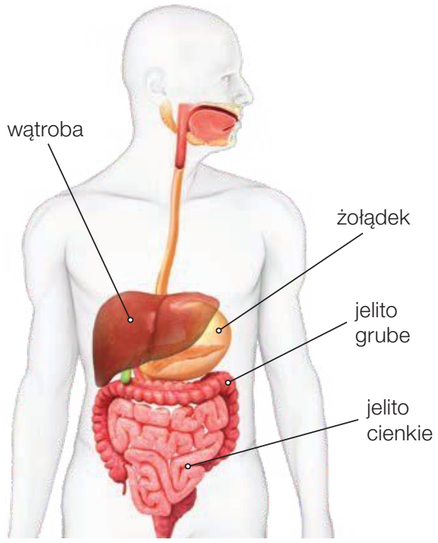
Ważne w tym temacie!

- rola wątroby w przemianach substancji wchłoniętych w przewodzie pokarmowym
- metabolizm glukozy i glikogenu: glukoneogeneza, glikogenoliza

Wątroba to jeden z ważniejszych narządów w ciele człowieka: jest największym gruczołem i największym organem wewnętrznym. Znajduje się ona w górnej części jamy brzusznej – głównie po prawej stronie, tuż pod przeponą. Wątroba jest silnie unaczyniona. Krew dopływa do niej dwiema drogami:

- tętnicą wątrobową dociera krew bogata w tlen,
- żyłą wrotną dociera krew zawierająca składniki odżywcze wchłonięte w przewodzie pokarmowym.

Wątroba odgrywa kluczową rolę w utrzymaniu homeostazy organizmu. Ponadto narząd ten pełni w organizmie wiele ważnych funkcji, m.in. metabolicznych, detoksykacyjnych i magazynujących.



Położenie wątroby w organizmie człowieka.

Główne funkcje wątroby

1. **Produkuje żółć**
   Wątroba produkuje żółć, która umożliwia emulgację tłuszczów w jelicie cienkim.
2. **Neutralizuje toksyny**
   Wątroba neutralizuje toksyczne związki, takie jak alkohol, amoniak i metabolity leków.
3. **Syntetyzuje mocznik**
   W wątrobie zachodzi cykl mocznikowy – proces, podczas którego amoniak (produkt rozpadu białek) jest przekształcany w mocznik.
4. **Reguluje poziom glukozy we krwi**
   Wątroba magazynuje glukozę w postaci glikogenu, przekształca inne związki w glukozę i w razie potrzeby uwalnia glukozę do krwi.
5. **Produkuje białka osocza**
   Wątroba syntetyzuje ok. 85% białek osocza, w tym albuminy, białka krzepnięcia (np. protrombinę) oraz białka odpornościowe.
6. **Magazynuje witaminy i pierwiastki**
   Wątroba magazynuje witaminy A, D_3, K, B_{12} oraz pierwiastki – żelazo i miedź.
7. **Uczestniczy w przemianach aminokwasów i w produkowaniu lipidów**
   Wątroba uczestniczy w syntezie i rozkładzie aminokwasów oraz syntetyzuje lipoproteiny, fosfolipidy i cholesterol.
8. **Uczestniczy w przemianach hemu**
   Wątroba uczestniczy w syntezie hemu i jego rozkładzie na bilirubinę.
9. **Uczestniczy w obronie immunologicznej**
   Wątroba produkuje część białek uczestniczących w procesach odpornościowych.
10. **Reguluje objętość krążącej krwi**
    W razie potrzeby wątroba może uwolnić lub zgromadzić ok. 10–15% krążącej krwi.

Udział wątroby w przemianach produktów trawienia

Produktami trawienia białek są aminokwasy, cukrów – cukry proste (głównie glukoza), a tłuszczów – glicerol i kwasy tłuszczowe (które w komórkach nabłonka jelit służą do resyntezy tłuszczów właściwych). Związki te są wchłaniane w jelicie cienkim. Następnie wraz z krwią lub limfą trafiają m.in. do wątroby, gdzie ulegają dalszym przemianom.

Udział wątroby w przemianach cukrów

Glukoza, która trafia do wątroby, może być wykorzystana do syntezy glikogenu lub przekształcana w tłuszcze. W razie potrzeby wątroba może też uwalniać glukozę do krwi dzięki procesom glikogenolizy lub glukoneogenezy.

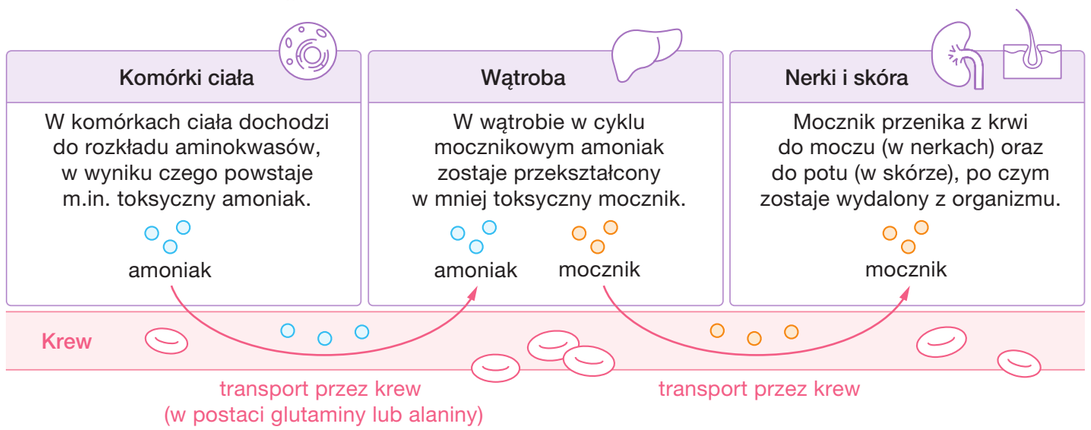
Udział wątroby w przemianach aminokwasów

Aminokwasy są pobierane z krwi przez komórki ciała, w których służą do syntezy białek (np. białek osocza w wątrobie) lub ulegają rozkładowi. Jednym z produktów rozkładu aminokwasów jest silnie toksyczny amoniak. Wątroba uczestniczy w usuwaniu amoniaku – przekształca go w mniej toksyczny mocznik w procesie zwanym cyklem mocznikowym.

Przemiany węglowodanów zachodzące w wątrobie

synteza glikogenu	glikogenoliza	glukoneogeneza
• Proces, podczas którego glukoza jest przekształcana w glikogen – wielocukier, który u zwierząt odgrywa rolę materiału zapasowego.	• Proces, podczas którego glikogen jest rozkładany na cząsteczki glukozy.	• Proces, podczas którego glukoza jest syntetyzowana ze związków innych niż cukry, np. z mleczanu, aminokwasów czy glicerolu.
• Zachodzi wtedy, gdy poziom glukozy we krwi jest zbyt wysoki (np. po posiłku).	• Zachodzi wtedy, gdy poziom glukozy we krwi jest zbyt niski (np. podczas wysiłku).	• Zachodzi w sytuacji długotrwałego głodu lub bardzo intensywnego wysiłku.
• Zachodzi także w mięśniach.	• Zachodzi także w mięśniach, jednak glukoza z mięśni nie jest uwalniana do krwi.	• Zachodzi także w nerkach.

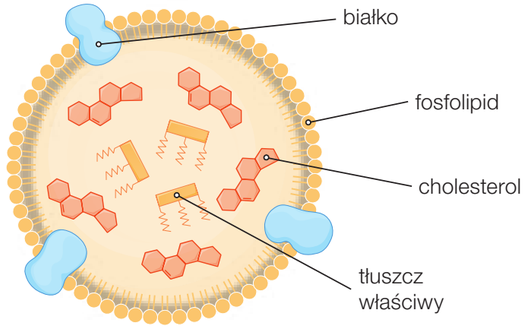
Usuwanie amoniaku z organizmu człowieka



Udział wątroby w przemianach tłuszczów

W wątrobie zachodzą:

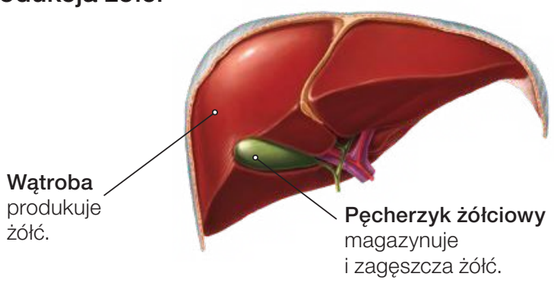
- **synteza kwasów tłuszczowych** w sytuacji nadmiaru glukozy,
- **rozkład kwasów tłuszczowych** w sytuacji niedoboru glukozy, dzięki czemu powstaje m.in. ATP,
- **synteza cholesterolu**, który jest niezbędny do budowy błon komórkowych, hormonów steroidowych i kwasów żółciowych,
- **produkcja lipoprotein**, które transportują tłuszcze we krwi do różnych tkanek.



Lipoproteiny to kompleksy złożone z tłuszczów i białek. Składają się one z hydrofobowego rdzenia i hydrofilowej powłoki. Funkcją lipoprotein jest transport tłuszczów we krwi.

Rola wątroby w trawieniu pokarmu – produkcja żółci

Żółć to żółtozielony płyn, który składa się głównie z: wody, kwasów żółciowych, cholesterolu, lecytyny (jeden z fosfolipidów) i produktów przemiany materii (np. bilirubiny – produkt rozkładu hemoglobiny).



Główne funkcje żółci			
uczestniczy w trawieniu tłuszczów	**usuwa szkodliwe lub zbędne substancje z organizmu**	**uczestniczy we wchłanianiu składników rozpuszczalnych w tłuszczach**	**działa przeciwdrobnoustrojowo i wspomaga perystaltykę**
Żółć powoduje emulgację tłuszczów, co zwiększa dostępność tłuszczów dla enzymów trawiennych (lipaz).	Substancjami usuwanymi z organizmu jako składniki żółci są: • bilirubina – produkt rozpadu hemoglobiny, • nadmiar cholesterolu, • toksyny i leki.	Żółć umożliwia wchłanianie: • witamin A, D_3, E, K, • karotenoidów i innych związków rozpuszczalnych w tłuszczach.	• Składniki żółci ograniczają rozwój szkodliwych bakterii w jelicie cienkim. • Żółć poprawia perystaltykę jelit – wspomaga przemieszczanie się treści pokarmowej i wchłanianie składników odżywczych.

Polecenia kontrolne

1. Przedstaw rolę wątroby w utrzymywaniu prawidłowego poziomu glukozy we krwi.
2. Podaj dwa przykłady szkodliwych lub zbędnych substancji, które są usuwane z organizmu razem z żółcią.

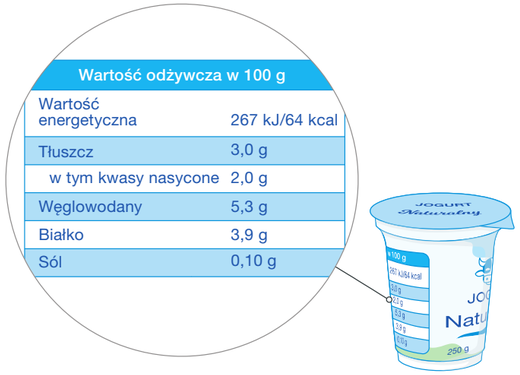
4.7. Zasady racjonalnego odżywiania się

Ważne w tym temacie!

- zasady racjonalnego żywienia (bilans energetyczny organizmu, piramida zdrowego żywienia i stylu życia)
- przyczyny, skutki i profilaktyka otyłości,
- zaburzenia odżywiania: anoreksja i bulimia

Słowo *dieta* najczęściej kojarzy się z odchudzaniem, jednak oznacza ono przede wszystkim sposób odżywiania się. Właściwa dieta polega na dostosowaniu ilości i rodzaju pokarmu do potrzeb organizmu.

Organizm człowieka potrzebuje pokarmu do wzrostu, rozwoju i 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.



Wartość energetyczną produktów spożywczych oraz ilość energii wydatkowanej przez organizm przedstawia się zwykle w kilokaloriach (1 kcal = 1000 cal) lub w kilodżulach (1 kcal = 4,1868 kJ).

Bilans energetyczny

Bilans energetyczny to różnica między ilością energii dostarczanej w pożywieniu a ilością energii, 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. 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.

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 – praca siedząca	2400–2600
Mężczyźni – praca fizyczna	3500–4000
Kobiety – lekka praca	2100–2300
Kobiety – ciężka praca	2900–3200

Przykładowa tabela zużycia energii

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 przedstawia zarówno proporcje poszczególnych grup pokarmów w diecie, jak i zalecenia dotyczące codziennej aktywności fizycznej. Im wyższe piętro piramidy, tym mniej pokarmów z danej grupy należy jeść.

Wybieraj tłuszcze roślinne zamiast tłuszczów zwierzęcych.

Ogranicz spożycie soli.

Jedz chude mięso, ryby, jaja oraz nasiona roślin strączkowych.

Ogranicz spożycie słodyczy.

Codziennie pij mleko lub jedz jogurt naturalny albo ser. Produkty te są źródłem białka oraz wapnia.

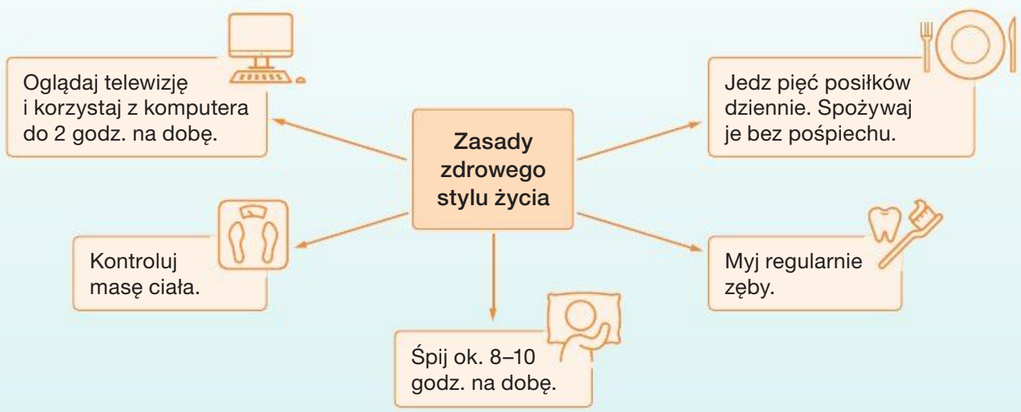
Pij wodę zamiast słodkich napojów.

Wybieraj produkty pełnoziarniste, ponieważ zawierają one wiele niezbędnych witamin, związków mineralnych oraz błonnik.

Jak najczęściej jedz różnorodne warzywa i owoce.

Ruszaj się. Codzienna aktywność fizyczna (ok. 60 min) to podstawa dobrego zdrowia i samopoczucia.

Piramida zdrowego żywienia i stylu życia dzieci i młodzieży (4–18 lat).



Piramidy zdrowego żywienia i stylu życia dla poszczególnych grup wiekowych opracowuje Narodowe Centrum Edukacji Żywieniowej.

Racjonalne planowanie posiłków

Kluczem do zdrowej diety jest właściwe dobranie proporcji i ilości poszczególnych składników pożywienia. Nieracjonalne planowanie posiłków skutkuje przejedzeniem bądź głodem i dojadaniem (np. słodyczami).
Poniżej znajdują się wskazówki, jak racjonalnie planować swoje posiłki.

Produkty skrobiowe 25%

Na przykład porcja makaronu lub kaszy wielkości pięści.

Warzywa 50%

Na przykład sałatka lub surówka warzywna wypełniająca całą otwartą dłoń.

Produkty białkowe 25%

Na przykład kawałek mięsa lub ryby o powierzchni dłoni bez palców.

Przyczyny i skutki otyłości

Otyłość jest powszechnym problemem zdrowotnym. 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 węglowodanów),
- 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, uwarunkowania genetyczne, a niekiedy też czynniki psychiczne.

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.

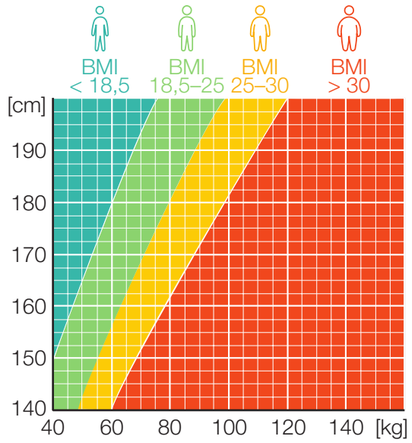
W profilaktyce otyłości ważne jest przestrzeganie podstawowych zasad żywienia, w tym zróżnicowanej i zbilansowanej diety. Niezwykle istotna jest również codzienna aktywność fizyczna.

Zwiększenie aktywności fizycznej, np. przez ćwiczenia rozciągające lub jazdę na rowerze, jest – obok właściwej 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.

$$\text{BMI} = \frac{\text{masa ciała [kg]}}{(\text{wzrost [m]})^2}$$



- niedowaga – zwiększone ryzyko rozwoju chorób
- prawidłowa masa ciała – normalne ryzyko rozwoju chorób
- nadwaga – zwiększone ryzyko rozwoju chorób
- otyłość – wysokie ryzyko rozwoju wielu chorób

Uwaga!

BMI nie jest wiarygodnym wskaźnikiem dla:
- dzieci i młodzieży,
- sportowców i osób o rozbudowanej muskulaturze ciała,
- kobiet w ciąży,
- osób starszych.

Jeżeli po samodzielnym obliczeniu BMI pojawią się wątpliwości, to należy skonsultować się z lekarzem.

Anoreksja – jadłowstręt psychiczny

Anoreksja jest nazywana 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,
- wykonują intensywne ćwiczenia,
- prowokują wymioty lub używają środków przeczyszczających,
- ukrywają przed bliskimi fakt niejedzenia,
- stale kontrolują swój wygląd, np. często się ważą i mierzą.

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 osoba spożywa ogromne porcje jedzenia w krótkim czasie. Obfite posiłki wywołują często poczucie winy i lęk przed przytyciem, dlatego osoby z bulimią mogą wywoływać wymioty, stosować 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.

Polecenia kontrolne

1. Ułóż jednodniowy zestaw posiłków dla nastolatka zgodny z zasadami racjonalnego żywienia.
2. Zaproponuj dwa sposoby, 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 ta osoba ma prawidłową masę ciała.

4.8. Choroby układu pokarmowego

Ważne w tym temacie!
- metody diagnostyki chorób układu pokarmowego
- diagnostyka, profilaktyka oraz leczenie raka żołądka i raka jelita grubego

Przestrzeganie zasad racjonalnego odżywiania się, rezygnacja z używek i regularna aktywność fizyczna wspomagają działanie układu pokarmowego. Pozwalają też 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. W przypadku wystąpienia choroby ważne jest jej szybkie rozpoznanie i rozpoczęcie leczenia.

Diagnostyka chorób układu pokarmowego

Choroby układu pokarmowego często charakteryzują się niespecyficznymi objawami, np. bólem brzucha czy nudnościami. Wykorzystanie odpowiednich metod diagnostycznych, takich jak badanie USG czy endoskopia, pozwala na precyzyjne określenie przyczyn dolegliwości układu pokarmowego i zastosowanie skutecznych metod leczenia.

Badanie USG jamy brzusznej

Badanie ultrasonograficzne (USG) jamy brzusznej umożliwia wykrycie wielu nieprawidłowości w budowie lub funkcjonowaniu narządów układu pokarmowego, m.in. wątroby, pęcherzyka żółciowego czy trzustki. Badanie USG jest bezbolesne i nieinwazyjne.

Na czym polega badanie?

Podczas badania ultrasonograficznego (USG) urządzenie – za pośrednictwem głowicy przyłożonej bezpośrednio do skóry pacjenta – wysyła dźwięki o wysokiej częstotliwości (ultradźwięki). Ultradźwięki odbijają się od narządów jamy brzusznej i są rejestrowane przez odbiornik, dzięki czemu na monitorze powstaje obraz narządów wewnętrznych. Pozwala to na wykrycie ewentualnych nieprawidłowości (np. powiększenie niektórych narządów lub obecność zmian nowotworowych) już w trakcie badania.

Badanie USG, w odróżnieniu od badania RTG, jest całkowicie bezpieczne dla pacjenta – ultradźwięki nie mają działania mutagennego.

Choroby układu pokarmowego

Choroby pasożytnicze

Najbardziej powszechne pasożyty wewnętrzne powodujące choroby to płazińce oraz nicienie. Zarażenie 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.

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

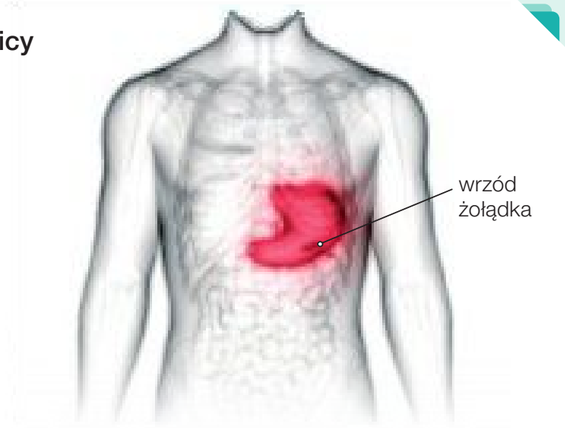
Próchnica

- **Przyczyna:** bakterie występujące na powierzchni zębów i rozkładające cukry.
- **Droga zakażenia:** bakterie powodujące próchnicę, które 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:
- palenie papierosów,
- stosowanie leków przeciwzapalnych i przeciwbólowych,
- stres,
- niewłaściwe odżywianie się.
- **Droga zakażenia:** droga pokarmowa.
- **Profilaktyka:** unikanie stresu, nadmiernego przyjmowania leków przeciwbólowych i przeciwzapalnych oraz niepalenie papierosów.



Bakterie *Helicobacter pylori* wytwarzają enzymy i toksyny, które uszkadzają błonę śluzową żołądka, narażając ją na działanie kwasu solnego, co prowadzi do owrzodzeń.

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. w lodach. Objawy zatrucia to m.in. wymioty, biegunka i bóle brzucha.

Choroba ogólnoustrojowa z objawami ze strony gruczołów układu pokarmowego

Świnka – choroba wirusowa

Ogólnoustrojowa choroba wirusowa, której objawami są m.in. bolesne powiększenie ślinianek przyusznych (gruczołów układu pokarmowego) oraz gorączka. Występuje głównie u niezaszczepionych dzieci w wieku przedszkolnym i wczesnoszkolnym.

- **Przyczyna:** zarażenie wirusem świnki.
- **Droga zakażenia:** droga kropelkowa.
- **Profilaktyka:** szczepienia ochronne, unikanie kontaktu z chorymi oraz przestrzeganie zasad higieny (m.in. częste mycie rąk).

Te choroby warto znać!

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 ważna jest profilaktyka.

- **Przyczyny:** zmiany w materiale genetycznym, powodujące niekontrolowane dzielenie się komórek. Na wystąpienie i rozwój choroby mają też wpływ tzw. **czynniki ryzyka**:

palenie papierosów; czynniki genetyczne; wiek; brak aktywności fizycznej; złe nawyki żywieniowe

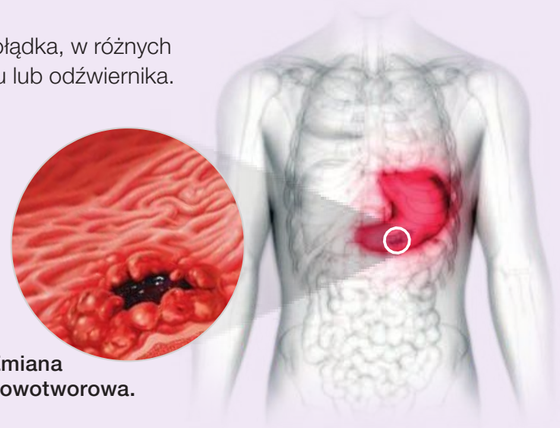
– nadmierne spożycie czerwonego mięsa,
– dieta uboga w błonnik,
– żywność przetworzona chemicznie,
– spożywanie alkoholu.

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, unikanie 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.

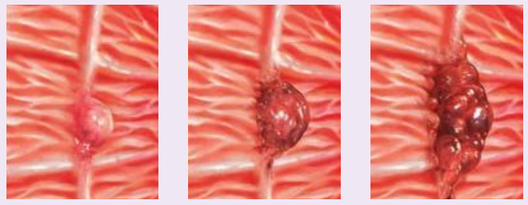
Nieleczone zakażenie bakterią *Helicobacter pylori* zwiększa ryzyko rozwoju raka żołądka.

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.

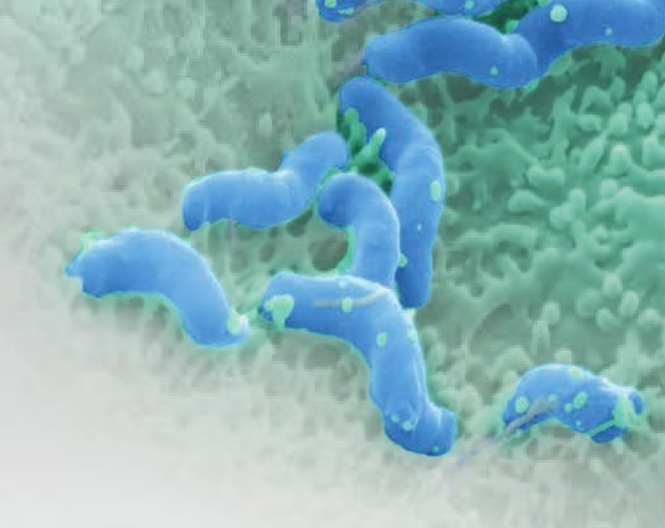
Diagnostyka:
– analiza próbek kału (wykrywanie krwi utajonej),
– badanie *per rectum* (przez odbytnicę),
– zdjęcia rentgenowskie z użyciem kontrastu,
– kolonoskopia i pobieranie próbek tkanek.



Kolejne stadia rozwoju nowotworu w ścianie jelita grubego. Im wcześniej zostanie on wykryty, tym większa szansa na wyleczenie i uniknięcie przerzutów na inne narządy.

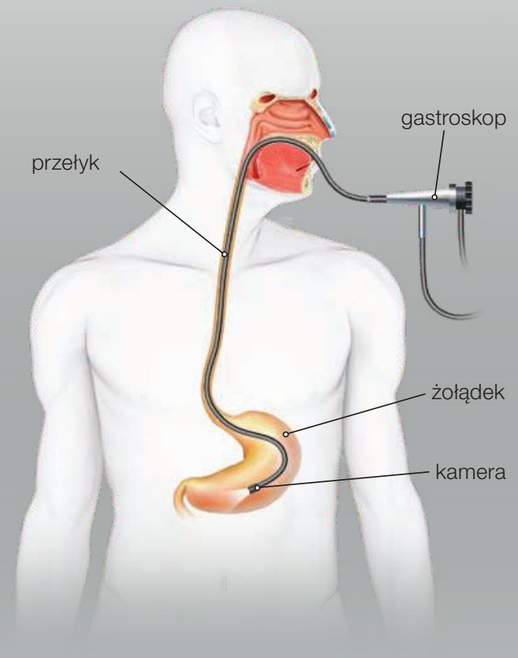
Badania endoskopowe

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**.



Zakażenie bakteriami *Helicobacter pylori* (obraz spod SEM), które prowadzi do choroby wrzodowej żołądka i dwunastnicy, można wykryć m.in. dzięki pobraniu wycinka błony śluzowej żołądka podczas endoskopii.

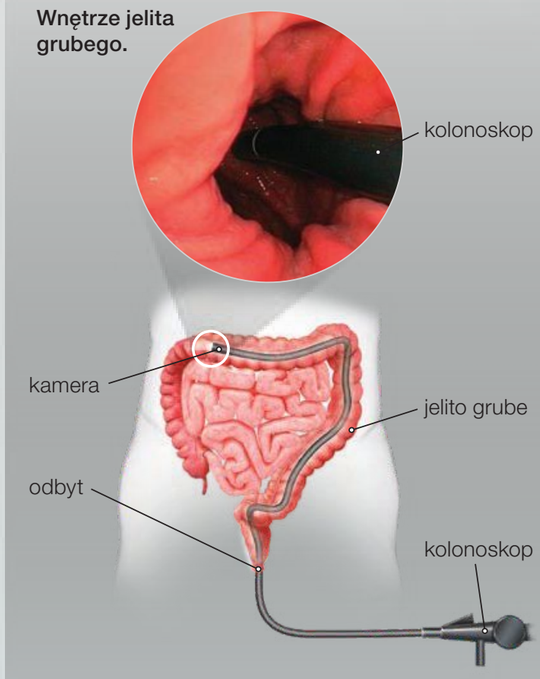
Gastroskopia



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 i nowotworu żołądka.

Kolonoskopia

Wnętrze jelita grubego.



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.

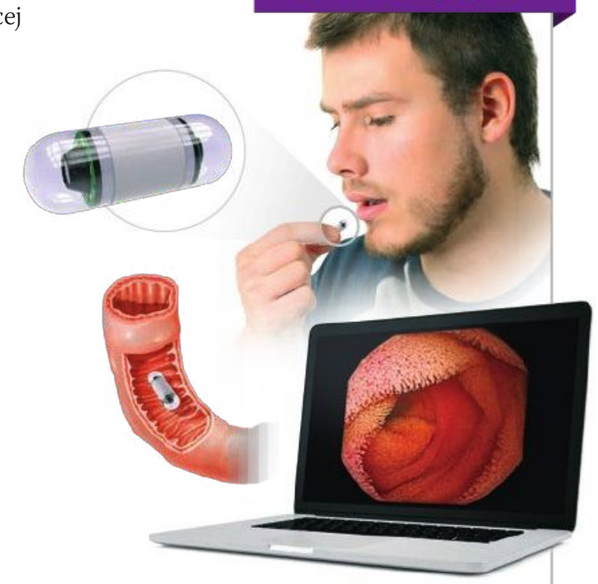
Nowoczesne metody endoskopii

Biologia w medycynie

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.



Endoskopia kapsułkowa może być wykorzystana m.in. do zdiagnozowania choroby Crohna.

Laparoskopia

Pozwala na zbadanie wnętrza jamy brzusznej przez wykonanie niewielkich nacięć w skórze i wprowadzenie do jej wnętrza laparoskopu, składającego się z kamery i ze źródła światła, a także z innych potrzebnych narzędzi chirurgicznych. Wyróżnia się **dwa rodzaje laparoskopii**: **laparoskopię diagnostyczną**, która umożliwia m.in. ocenę stopnia zaawansowania chorób nowotworowych i pobranie wycinków tkanek, oraz **laparoskopię 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 brzusznej wprowadza się narzędzia pozwalające na wykonanie zabiegu – w tym także kamerę, dzięki której pole operacyjne jest widoczne na monitorze.

Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij, na czym polega badanie USG.
2. Podaj cztery przykłady czynników ryzyka, które sprzyjają rozwojowi nowotworów układu pokarmowego.
3. Podaj przykład badania endoskopowego oraz wyjaśnij, na czym ono polega.

Podsumowanie

1 Składniki organiczne pokarmu

Sacharydy	Białka	Lipidy
• Budowa: cząsteczki cukrów prostych lub cząsteczki powstałe na skutek połączenia się dwóch lub wielu cząsteczek cukrów prostych. • Główna funkcja: energetyczna (stanowią najważniejsze źródło energii). • Występowanie: kasze, makarony, pieczywo, ziemniaki.	• Budowa: są polimerami 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 produkty z mąki pełnoziarnistej.

Błonnik pełni wiele funkcji, m.in.:

- wzmaga ruchy jelit, co przyspiesza wędrówkę pokarmu przez przewód pokarmowy i zapobiega zaparciom,
- chłonie dużą ilość wody i pęcznieje, co zapewnia uczucie sytości,
- 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.

6 Charakterystyka wybranych witamin

• Witaminy rozpuszczalne w tłuszczach

Witamina	Funkcje	Skutki niedoboru	Występowanie
A	Jest niezbędna do prawidłowego widzenia oraz do funkcjonowania nabłonków, wpływa na wzrost i rozwój organizmu.	kurza ślepota, łuszczenie się nabłonków, zaburzenia wzrostu	nabiał, pomarańczowe warzywa i owoce, ciemnozielone warzywa, wątroba, tran
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, awokado, 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 – witaminy z grupy B

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

Witamina	Funkcje	Skutki niedoboru
B_1	Uczestniczy w oddychaniu tlenowym.	choroba beri-beri, objawiająca się m.in. osłabieniem mięśni, obrzękami i zaburzeniami neurologicznymi
B_2	Uczestniczy w oddychaniu tlenowym i syntezie hemoglobiny, przyspiesza gojenie się ran.	zajady w kącikach ust, łojotok, zapalenie języka, łysienie
B_3 (PP)	Uczestniczy w oddychaniu tlenowym oraz przemianach białek, tłuszczów i węglowodanów. Odpowiada za prawidłowe funkcjonowanie układów nerwowego i pokarmowego.	pelagra, objawiająca się zapaleniem skóry, zaburzeniami psychicznymi i biegunką
B_6	Uczestniczy w produkcji hemoglobiny i czerwonych krwinek, jest niezbędna do syntezy niektórych hormonów i neuroprzekaźników.	drgawki, drażliwość, obniżenie nastroju, zmiany skórne, drętwienie kończyn, niedokrwistość
Biotyna (H)	Bierze udział w metabolizmie tłuszczów, węglowodanów i białek. Jest potrzebna do syntezy kwasów tłuszczowych.	wypadanie włosów, łuszczenie się skóry, bóle mięśni, brak łaknienia
Kwas foliowy	Uczestniczy m.in. w syntezie nukleotydów i kwasów nukleinowych. Jest niezbędny do prawidłowego rozwoju komórek i cewy nerwowej u płodu.	niedokrwistość, zaburzenia w działaniu układów pokarmowego i nerwowego, zaburzenia w rozwoju płodu
B_{12}	Bierze udział w tworzeniu erytrocytów i leukocytów oraz w syntezie kwasów nukleinowych, aminokwasów i białek.	niedokrwistość, zaburzenia czynności układu pokarmowego, zwyrodnienia rdzenia kręgowego i nerwów obwodowych

• Witamina rozpuszczalna w wodzie – witamina C

Występowanie: owoce cytrusowe i jagodowe, nać pietruszki, warzywa kapustne, ziemniaki, chrzan.

Witamina	Funkcje	Skutki niedoboru
C	Bierze udział w syntezie hormonów steroidowych i kolagenu, ułatwia wchłanianie żelaza, wzmacnia odporność oraz chroni m.in. przed działaniem wolnych rodników.	szybkie męczenie się, brak apetytu, bóle mięśniowo-stawowe oraz krwawienia z dziąseł; długotrwały niedobór może prowadzić do niedokrwistości i rozwoju szkorbutu

7 Podział składników mineralnych

Składniki mineralne

makroelementy

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).

mikroelementy

Pierwiastki, których ilość w organizmie jest niższa niż 0,01% suchej masy ciała. Zalicza się do nich m.in. żelazo (Fe), jod (I) oraz fluor (F).

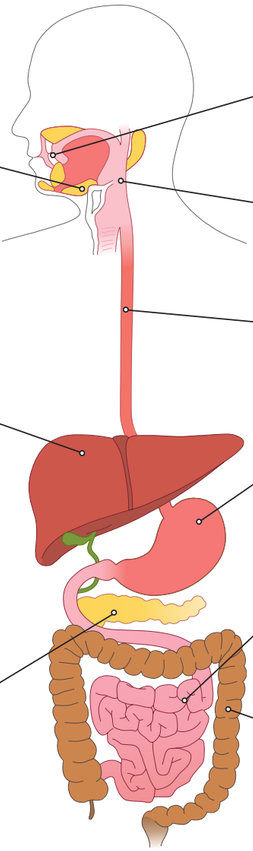
8 Funkcje narządów układu pokarmowego

Gruczoły trawienne:

Ślinianki
- wydzielanie śliny, która nawilża pokarm, działa bakteriobójczo oraz zawiera enzym rozpoczynający trawienie wielocukrów

Wątroba
- produkowanie żółci
- magazynowanie glikogenu
- magazynowanie witamin rozpuszczalnych w tłuszczach
- przekształcanie amoniaku w mocznik
- wytwarzanie białek osocza krwi
- rozkładanie hemoglobiny
- odtruwanie organizmu

Trzustka
- produkowanie soku trzustkowego, który zawiera enzymy trawiące cukry, białka i tłuszcze
- produkowanie hormonów: insuliny i glukagonu



Przewód pokarmowy:

Jama ustna
- pobieranie, rozdrabnianie i nawilżanie pokarmu
- wstępne trawienie cukrów

Gardło
- transportowanie pokarmu do przełyku

Przełyk
- transportowanie pokarmu do żołądka

Żołądek
- odkażanie i magazynowanie pokarmu
- częściowe trawienie białek

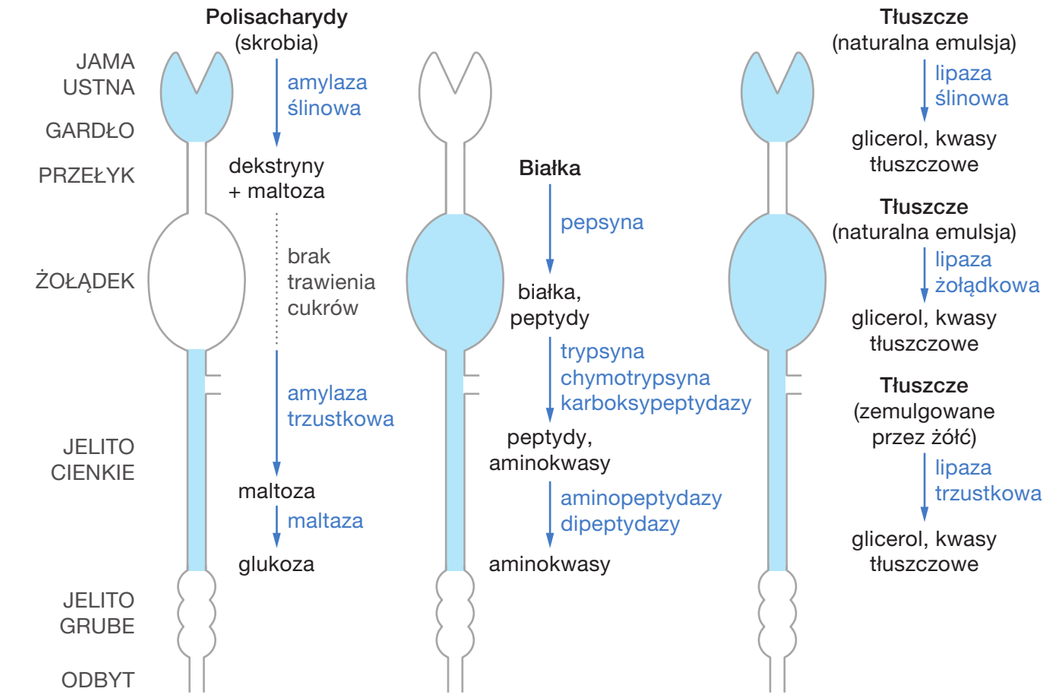
Jelito cienkie
- trawienie cukrów, białek i tłuszczów
- wchłanianie składników odżywczych

Jelito grube
- wchłanianie wody i soli mineralnych, formowanie kału

9 Główne enzymy trawienne działające w przewodzie pokarmowym

Enzymy	Substraty	Produkty	Miejsce działania	Narządy/ komórki produkujące enzym
Trawienie sacharydów				
Amylaza ślinowa	polisacharydy, głównie 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
Laktaza	laktoza	glukoza, galaktoza	rąbek szczotecz-kowy 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

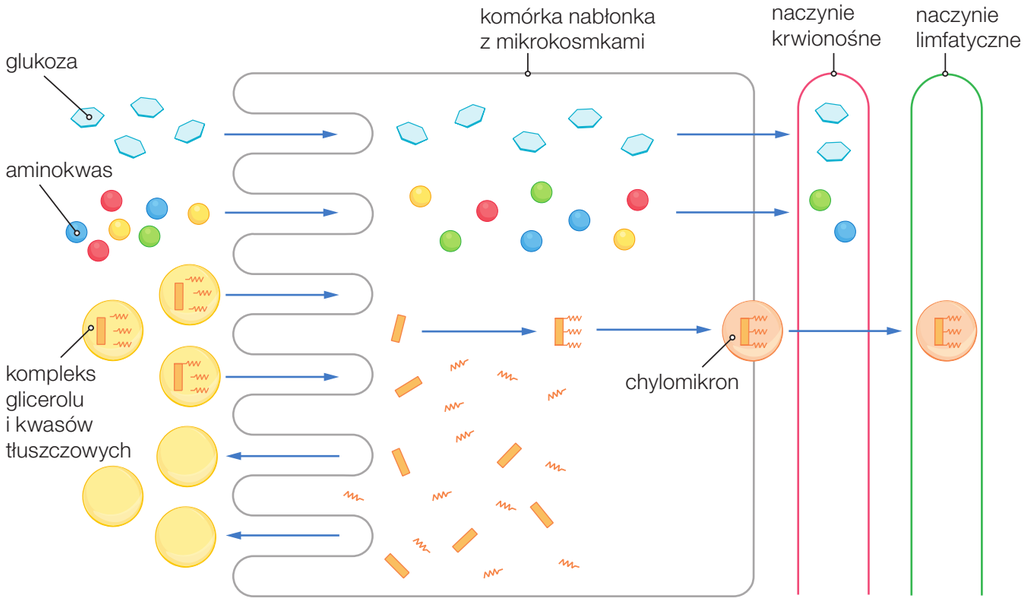
10 Trawienie i wchłanianie związków organicznych



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 odżywczych w kosmkach jelitowych.

11 Zaburzenia odżywiania 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 wywoływanie wymiotów, odwodnienie, zaparcia, osłabienie pracy serca i wątroby, obrzęk ślinianek, uszkodzenia nabłonka przełyku i szkliwa zębów
Otyłość	niewłaściwe dieta i styl życia, stres, uwarunkowania genetyczne	zbyt duża masa ciała w stosunku do wzrostu
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

12 Wybrane metody diagnostyczne chorób układu pokarmowego

Metoda diagnostyczna	Opis	Zastosowanie
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	Pozwala wykryć choroby górnych odcinków przewodu pokarmowego, np. wrzody żołądka, nowotwory.
Kolonoskopia	wprowadzenie kolonoskopu do jelita grubego	Pozwala wykryć choroby końcowych odcinków przewodu pokarmowego, np. nowotwór jelita grubego.

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

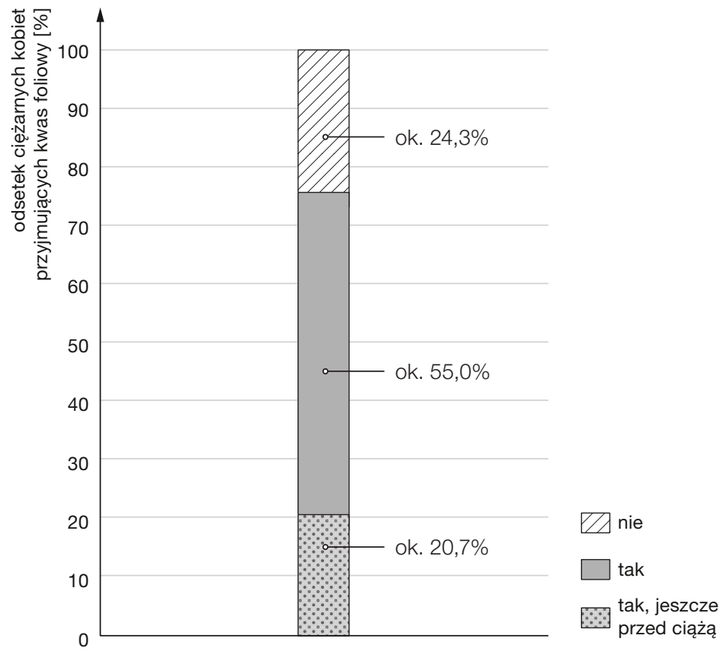
Źródło: M. Godala, K. Pietrzak, M. Łaszek, A. Gawron-Skarbek, F. Szatko, *Zachowania zdrowotne łódzkich kobiet w ciąży. Cz. I: Sposób żywienia i suplementacja witaminowo-mineralna*, „Problemy Higieny i Epidemiologii" 2012, 93 (1), s. 38–42.

Na wykresie jednosłupkowym oś Y powinna być podpisana i kończyć się na wartości 100%. Na słupku warto zapisać poszczególne wartości procentowe. Do wykresu należy dodać legendę.

Przeanalizuj tabelę. Zastanów się, które z zawartych w niej danych powinny być przedstawione na wykresie.

a) Skonstruuj wykres jednosłupkowy przedstawiający udział procentowy ciężarnych mieszkanek Łodzi, które: przyjmowały kwas foliowy przed ciążą, przyjmowały kwas foliowy w czasie ciąży, w ogóle nie przyjmowały kwasu foliowego.

Rozwiązanie:



Przypomnij sobie funkcje kwasu foliowego w organizmie. Zwróć uwagę, że w odpowiedzi musisz podać znaczenie tej witaminy wyłącznie dla prawidłowego rozwoju płodu.

b) Podaj znaczenie kwasu foliowego dla prawidłowego rozwoju płodu.

Rozwiązanie:
Kwas foliowy jest niezbędny dla prawidłowego rozwoju układu nerwowego płodu.

Jod to pierwiastek potrzebny do produkcji hormonów tarczycy.

c) Podaj jeden skutek niedoboru jodu – mikroelementu, który jest składnikiem preparatów witaminowo-mineralnych przeznaczonych dla ciężarnych kobiet.

Rozwiązanie:
zaburzenia funkcjonowania tarczycy

Zadanie analogiczne

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 W tabeli przedstawiono dane dotyczące częstotliwości przyjmowania suplementów diety przez kobiety w ciąży lub kobiety planujące ciążę. Wśród najczęściej suplementowanych substancji wymieniono kwas foliowy, witaminę D_3 oraz magnez.

Częstotliwość suplementacji	Udział kobiet w ciąży lub kobiet planujących ciążę [%]
1–2 razy w tygodniu	8,17
3–4 razy w tygodniu	10,20
5–6 razy w tygodniu	16,33
Codziennie	34,69
Brak	30,61

Na podstawie: T. Grzelak, K. Suliga, M. Sperling, M. Pelczyńska, K. Czyżewska, *Ocena stosowania suplementów diety wśród kobiet ciężarnych lub planujących ciążę*, „Forum Zaburzeń Metabolicznych" 2016, 7(1), s. 8–15.

a) Skonstruuj wykres jednosłupkowy przedstawiający udział procentowy kobiet w ciąży lub kobiet planujących ciążę, które: przyjmowały suplementy 1–2 razy w tygodniu, przyjmowały suplementy 3–4 razy w tygodniu, przyjmowały suplementy 5–6 razy w tygodniu, przyjmowały suplementy codziennie, w ogóle nie przyjmowały suplementów.

b) Podaj skutek niedoboru magnezu w organizmie.

c) Wyjaśnij, w jaki sposób niedobór witaminy D_3 u ciężarnych kobiet może wpływać na rozwój układu szkieletowego płodu.

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 [...]".

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) Spośród podanych niżej nazw substancji wybierz te, które wchodzą w skład błonnika pokarmowego.

celuloza, *fruktoza*, *galaktoza*, *pektyny*, *sacharoza*, *hemiceluloza*, *maltoza*

b) Określ, czy grzyby stanowią źródło błonnika pokarmowego. Odpowiedź uzasadnij, uwzględniając budowę chemiczną ich ścian komórkowych.

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 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 i funkcję witaminy rozpuszczalnej w tłuszczach, która jest wytwarzana przez bakterie jelitowe.

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 tłuszcze zawarte 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.

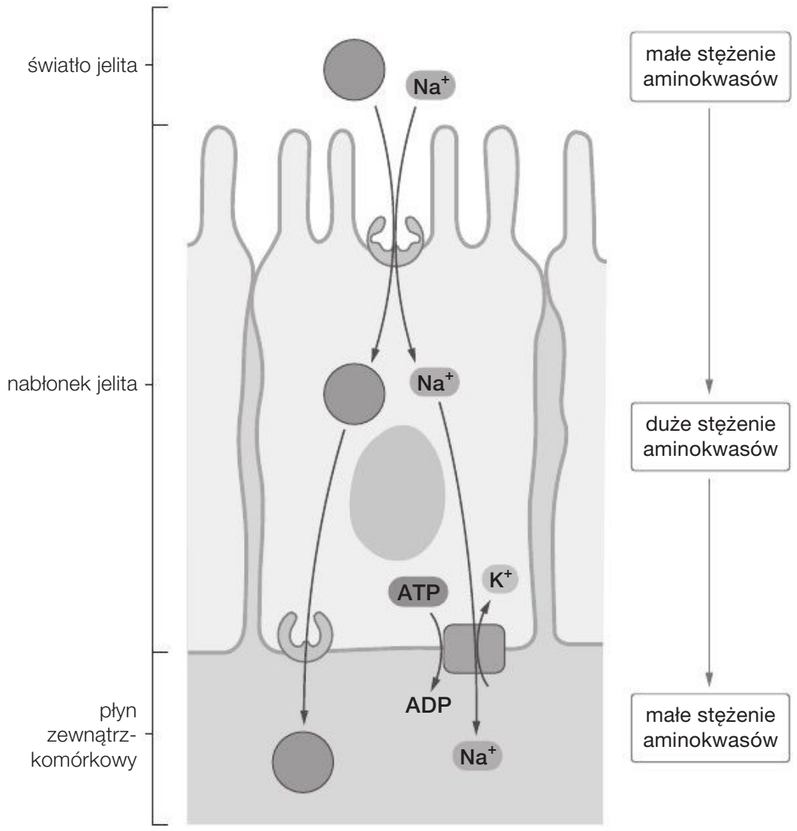
c) Określ, jaki odczyn środowiska – kwasowy, zasadowy czy obojętny – jest niezbędny, aby lipaza żołądkowa efektywnie trawiła tłuszcze.

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 enzymów wydzielanych w postaci proenzymu jest trypsyna, która w soku trzustkowym ma postać nieaktywnego trypsynogenu.

a) Określ, która 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 znaczne zwiększenie wydajności wchłaniania ostatecznych produktów trawienia składników pokarmu.

5. Układ oddechowy

Fot. Nabłonek migawkowy tchawicy (obraz spod SEM).

5.1. Układ oddechowy u zwierząt

Ważne w tym temacie!

- 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
- budowa płuc kręgowców

Oddychanie to jedna z podstawowych czynności życiowych organizmów. W ogólnym znaczeniu są to wszystkie procesy, które prowadzą do uwolnienia energii ze związków organicznych. Energia ta jest niezbędna organizmom do życia. U zwierząt na oddychanie składają się m.in.:

- **oddychanie komórkowe** – proces kataboliczny, podczas którego złożone związki organiczne są rozkładane i utleniane do związków prostszych, czemu towarzyszy uwalnianie energii. U większości zwierząt energia jest uwalniana na drodze **oddychania tlenowego**, które polega na utlenieniu związków organicznych do wody i dwutlenku węgla. W procesie tym część energii zostaje zmagazynowana w postaci ATP;
- **wymiana gazowa** – proces, który polega na pobieraniu przez organizm tlenu (substratu oddychania tlenowego) i usuwaniu z organizmu dwutlenku węgla (produktu oddychania tlenowego). Wymiana gazowa u zwierząt zachodzi całą powierzchnią ciała lub przez narządy oddechowe.

Warunki wymiany gazowej

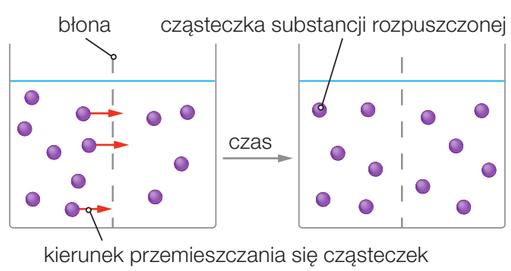
Wymiana gazowa zachodzi dzięki **dyfuzji** tlenu i dwutlenku węgla przez błonę komórkową – dyfuzja ta przebiega zgodnie z różnicą ciśnień parcjalnych po obu stronach błony. **Ciśnienie parcjalne** to ciśnienie gazu wchodzącego w skład mieszaniny gazów (np. tlenu w powietrzu). Jest ono proporcjonalne do zawartości tego gazu w mieszaninie[1].

Aby dyfuzja gazów mogła zachodzić stale, po obu stronach błony komórkowej musi być utrzymywana różnica ciśnień parcjalnych tlenu i dwutlenku węgla. Jest to możliwe dzięki **wentylacji**, czyli przepływowi gazów między środowiskiem zewnętrznym a środowiskiem wewnętrznym organizmu. Dyfuzja zachodzi tym efektywniej, im większa jest różnica ciśnień parcjalnych gazów po obu stronach błony oraz im większa jest powierzchnia wymiany gazowej. Ponadto powierzchnia wymiany gazowej musi być stale wilgotna, ponieważ gazy oddechowe dyfundują przez błony wyłącznie w środowisku wodnym lub wilgotnym.

Przypomnij sobie

Dyfuzja prosta

Dyfuzja prosta to swobodne przenikanie różnych substancji, np. tlenu i dwutlenku węgla, przez błonę biologiczną (błonę półprzepuszczalną). Proces ten zachodzi zgodnie z gradientem stężeń lub zgodnie z gradientem ciśnień parcjalnych (w przypadku gazów).



[1] Udział tlenu w powietrzu wynosi ok. 21%. Dlatego jeśli ciśnienie atmosferyczne wynosi 1000 hPa, to ciśnienie parcjalne tlenu ≈ 21% × 1000 ≈ 210 hPa.

Etapy wymiany gazowej

U większości zwierząt wymiana gazowa przebiega dwuetapowo:

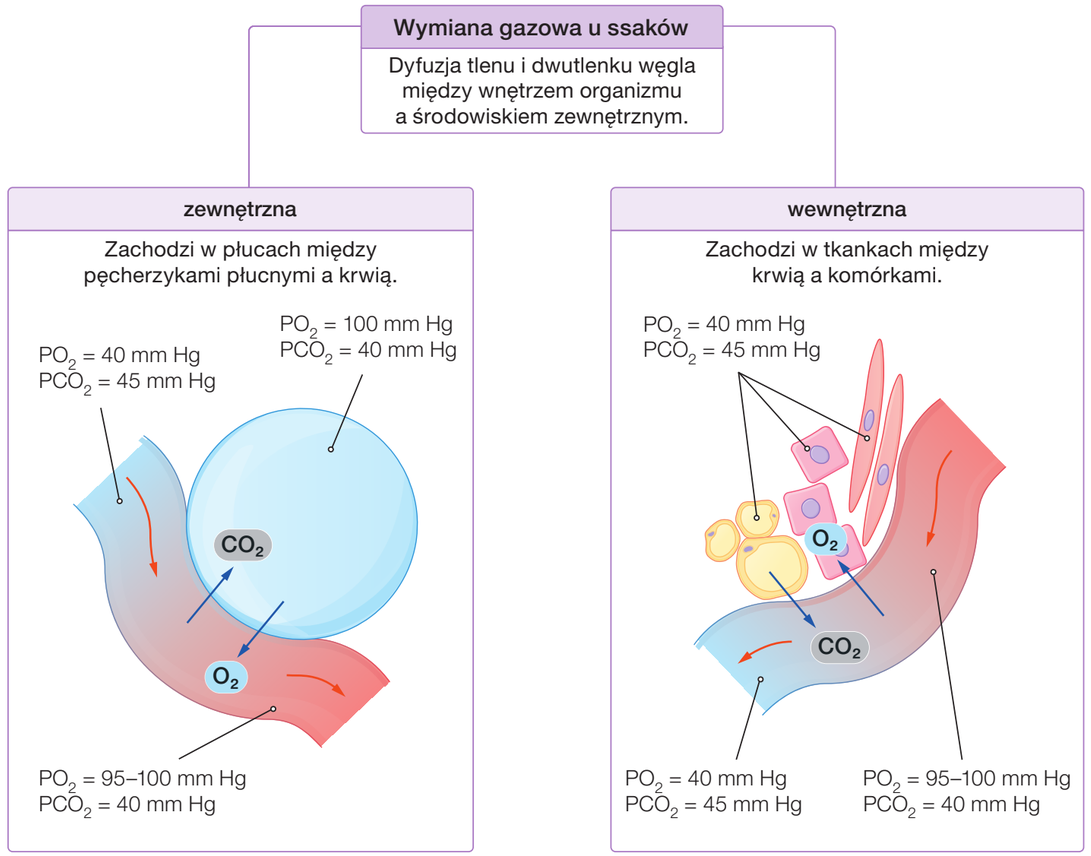
- pierwszym etapem jest **wymiana gazowa zewnętrzna**, która polega na pobraniu tlenu ze środowiska zewnętrznego do płynów ustrojowych oraz oddaniu dwutlenku węgla z płynów ustrojowych do środowiska zewnętrznego. U przeważającej części zwierząt wymiana gazowa zewnętrzna zachodzi dzięki narządom wymiany gazowej;
- drugim etapem jest **wymiana gazowa wewnętrzna**, która zachodzi między płynami ustrojowymi a komórkami ciała. Komórki pobierają tlen z płynów ustrojowych oraz oddają dwutlenek węgla do płynów ustrojowych.

Wymiana gazowa zewnętrzna i wymiana gazowa wewnętrzna zachodzą dzięki dyfuzji.

Ciśnienie parcjalne tlenu (PO_2) i dwutlenku (PCO_2) 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

Dzięki różnicy ciśnień parcjalnych tlenu i dwutlenku węgla w poszczególnych ośrodkach możliwe są transport tlenu z powietrza do komórek oraz transport dwutlenku węgla z komórek do powietrza.



Sposoby wymiany gazowej

Wymiana gazowa u zwierząt zachodzi całą powierzchnią ciała lub przez narządy oddechowe:

- w wodzie – przez skrzela lub skrzelotchawki,
- na lądzie – przez płucotchawki, tchawki lub płuca.

Całą powierzchnią ciała wymianę gazową prowadzą zazwyczaj:

- gatunki o powolnym tempie przemiany materii, a więc i niewielkim zapotrzebowaniu na tlen;
- organizmy, u których odległość między powierzchnią ciała a położonymi wewnątrz komórkami jest niewielka. Taka sytuacja występuje głównie u małych zwierząt, u których stosunek powierzchni ciała do jego objętości jest duży, oraz u zwierząt płaskich i wydłużonych.

Wśród bezkręgowców wymianę gazową całą powierzchnią ciała prowadzą parzydełkowce, wolno żyjące płazińce i nicienie, a także skąposzczety oraz pijawki. U kręgowców wymiana gazowa za pośrednictwem skóry występuje wyjątkowo, a największe znaczenie ma ona w przypadku płazów.

Wymianę gazową **przez narządy oddechowe** prowadzą zwykle zwierzęta aktywne. Wśród bezkręgowców są to stawonogi, mięczaki i część szkarłupni, a wśród kręgowców – prawie wszystkie gatunki. Zwierzęta aktywne mają wysokie zapotrzebowanie na tlen, dlatego

U niektórych płazów, np. salamander bezpłucnych, wymiana gazowa przez skórę pokrywa całe zapotrzebowanie na tlen, dlatego nie mają one płuc.

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 położonych w głębi ciała 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 struktur, kiedy dociera do płuc. Transport tlenu i dwutlenku węgla między narządami oddechowymi a komórkami ciała odbywa się za pośrednictwem układu krwionośnego.

Porównanie warunków wymiany gazowej w wodzie i na lądzie

Cecha	Woda	Ląd
Gęstość	duża (ok. 1 g/cm^3)	mała (ok. 0,0012 g/cm^3)
Zawartość tlenu	mała (ok.0,5–1%) i zmniejsza się wraz ze wzrostem temperatury, zasolenia i głębokości	duża (ok. 21%) i stała
Wahania zawartości tlenu	duże, zależą m.in. od temperatury, występowania roślinności (produkcja tlenu) i intensywności procesów rozkładu na dnie (zużycie tlenu)	nie występują
Zawartość dwutlenku węgla	większa niż w powietrzu i rośnie wraz z głębokością	mała (ok. 0,04%) i stała
Prędkość dyfuzji gazów	mała	duża (ok. 10 tys. razy większa niż w wodzie)

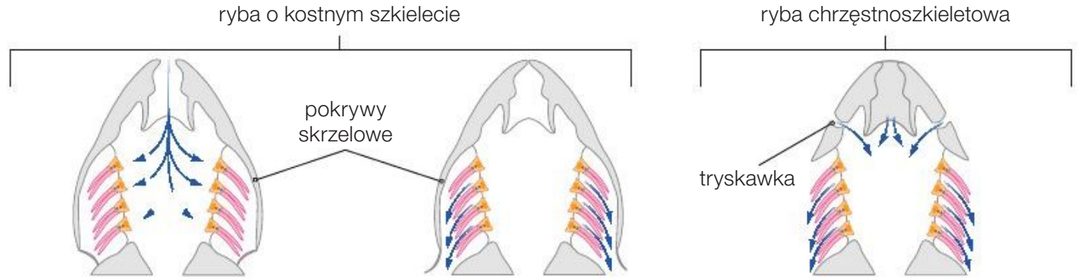
Przypomnij sobie

Mechanizmy wspomagające wymianę gazową u ryb

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 wspomaga wymianę gazową.



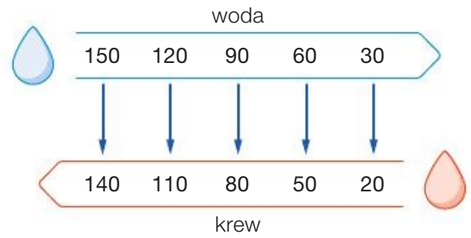
Podczas otwierania pyska pokrywy skrzelowe przylegają do ciała ryby i zamykają szczeliny skrzelowe. Dzięki temu woda wpływa do pyska, a następnie obmywa skrzela.

Pysk pozostaje zamknięty, a pokrywy skrzelowe się unoszą. Dzięki temu woda wypływa na zewnątrz ciała.

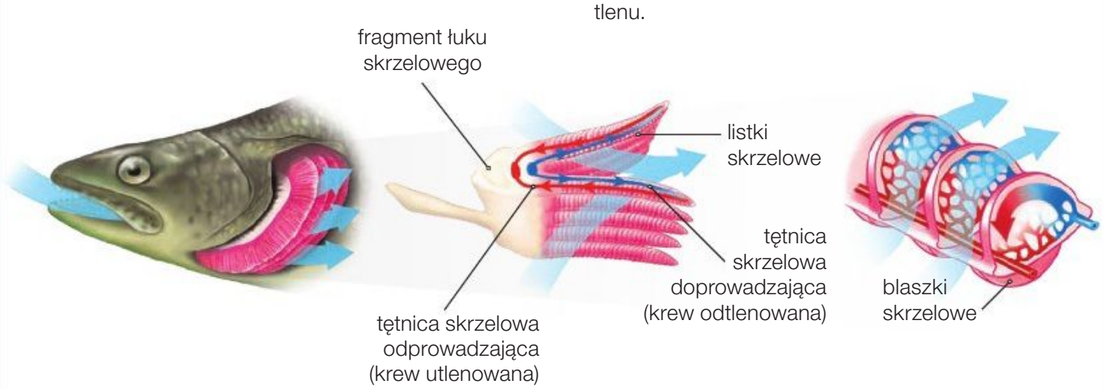
U ryb przydennych, np. płaszczek, tryskawka znajduje się po grzbietowej stronie ciała. Przez otwór tryskawki do skrzeli jest wciągana woda pozbawiona zanieczyszczeń z dna.

Mechanizm przeciwprądów

W mechanizmie przeciwprądów krew przepływa przez blaszkę skrzelową w odwrotnym kierunku niż obmywająca tę blaszkę woda. W rezultacie ciśnienie parcjalne tlenu we krwi stopniowo rośnie, chociaż zawsze jest ono nieco niższe niż ciśnienie parcjalne tlenu w wodzie. Dzięki temu do płynącej przez skrzela krwi nieustannie jest dostarczany tlen.



Wymiana gazowa zachodzi dzięki różnicom ciśnień parcjalnych tlenu między krwią a wodą. Liczby na schemacie oznaczają wartości ciśnienia parcjalnego tlenu.



Narządy wymiany gazowej 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.

Skrzela zewnętrzne

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** (przedstawicieli pierścienic) skrzela tworzą kielichowatą lub spiralną koronę skrzelową.

Ślimaki nagoskrzelne mają skrzela w postaci listkowatych wyrostków ściany ciała.

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

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 poruszające się odnóża.

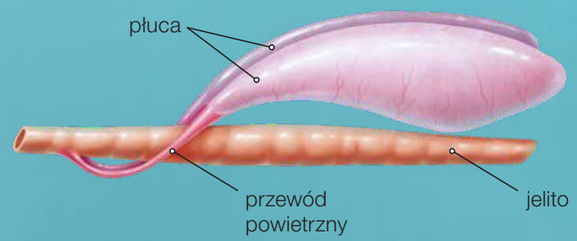
Skrzela **małży** znajdują się w jamie płaszczowej. Woda wpływa do jamy płaszczowej przez syfon wpustowy, a wypływa przez syfon wyrzutowy.

U **ryb** skrzela są zbudowane z łuków skrzelowych i osadzonych na nich listków skrzelowych. Poprzeczne fałdy listków skrzelowych noszą nazwę blaszek skrzelowych.

Ryby dwudyszne

W toku ewolucji ryby dwudyszne wykształciły płuca, dzięki którym mogą przeprowadzać wymianę gazową także na lądzie. Większość ryb nie ma takiej zdolności – na lądzie ich blaszki skrzelowe opadają pod wpływem siły ciążenia, sklejają się i wysychają, co znacząco zmniejsza powierzchnię wymiany gazowej. To dlatego ryby wyjęte z wody się duszą.

Płuca ryb dwudysznych rozwijają się jako uchyłki jelita i są z nim połączone przewodem powietrznym. Ze względu na rozwój płuc oddychanie skrzelowe u większości dwudysznych jest bardzo ograniczone. Płuca ryb dwudysznych dały początek płucom kręgowców lądowych.



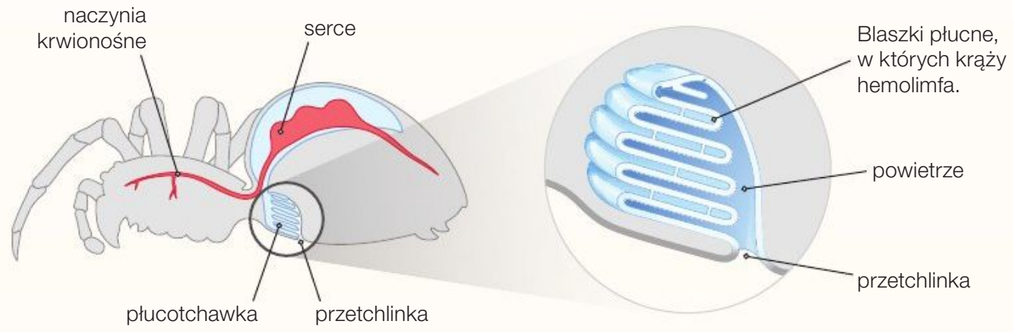
Narządy wymiany gazowej u zwierząt lądowych

Na lądzie największym zagrożeniem dla wymiany gazowej jest wyschnięcie powierzchni narządów, w których ona zachodzi. Dlatego w toku ewolucji u zwierząt lądowych wykształciły się narządy oddechowe ukryte głęboko wewnątrz ciała.

Narządy wymiany gazowej bezkręgowców

Płucotchawki

Płucotchawki to komory w odwłoku, które zawierają cienkie, ułożone równolegle blaszki płucne. Prowadzą do nich otwory – tzw. przetchlinki. W blaszkach płucnych krąży hemolimfa, a między blaszkami przepływa powietrze. Wymiana gazów w płucotchawkach zachodzi dzięki dyfuzji. Płucotchawki występują u skorpionów i części pająków.

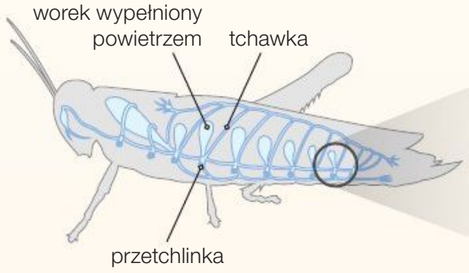


Lokalizacja płucotchawek u pająków.

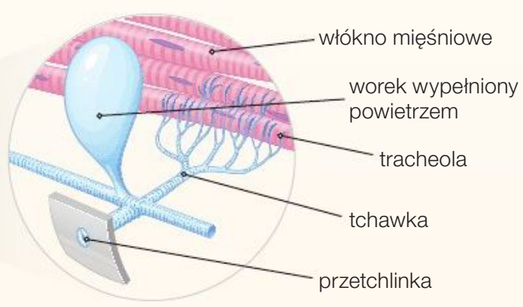
Budowa płucotchawki.

Tchawki

Tchawki to silnie rozgałęzione rurki docierające do wszystkich komórek ciała. Prowadzą do nich parzyste otwory znajdujące się po bokach ciała (przetchlinki). Ścianki tchawek są wzmocnione od wewnątrz chitynowymi spiralami, które utrzymują drożność systemu tchawkowego. Najcieńsze rozgałęzienia tchawek – tracheole – wypełnia płyn, w którym rozpuszczają się gazy oddechowe. Tchawki występują u części pajęczaków (np. u zaleszczotków, kosarzy, niektórych pająków i roztoczy), a także u owadów. U dużych i aktywnych owadów ruch powietrza w obrębie systemu tchawkowego wspomagają skurcze mięśni ciała.



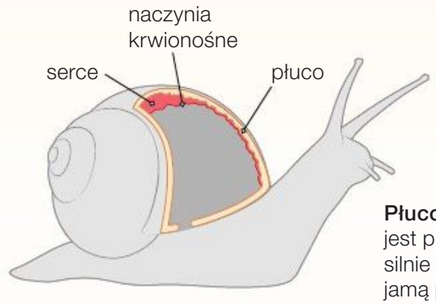
Tchawki występują m.in. u owadów. Zwierzęta te mają też worki wypełnione powietrzem znajdujące się w sąsiedztwie narządów wymagających dużej ilości tlenu.



Budowa tchawek.

Płuca ślimaków

Płuca ślimaków to ukrwiona ściana jamy płaszczowej, do której prowadzi pojedynczy otwór. Występują one u ślimaków płucodysznych, czyli u ślimaków lądowych i większości ślimaków słodkowodnych. Płuca ślimaków nie mają złożonych mechanizmów wentylacji – wymiana powietrza odbywa się głównie dzięki dyfuzji.



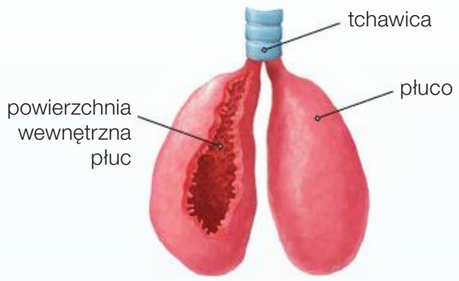
Płuco ślimaka jest przekształconą, silnie ukrwioną jamą płaszczową.

Narządy wymiany gazowej kręgowców – płuca wentylowane

Wymiana gazowa u kręgowców, podobnie jak u innych zwierząt, zachodzi na drodze dyfuzji. Zapotrzebowanie kręgowców na tlen jest jednak tak duże, że pojawiły się u nich różne mechanizmy służące do wentylacji płuc (→ s. 170–171).

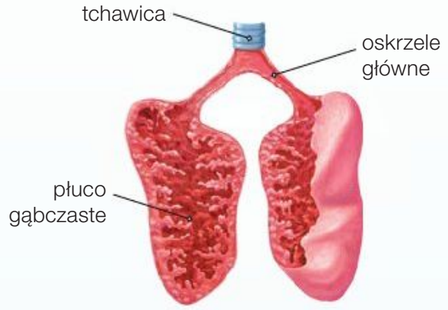
Płazy

Płuca płazów to cienkościenne, silnie ukrwione worki o delikatnie pofałdowanej powierzchni wewnętrznej. Ich wentylacja zachodzi dzięki ruchom dna jamy gębowej.



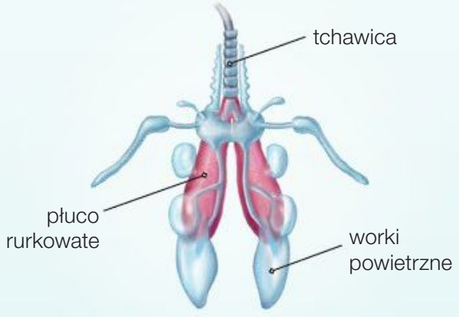
Gady

Płuca gadów mają budowę gąbczastą, a ich wentylacja zachodzi dzięki pracy mięśni międzyżebrowych.



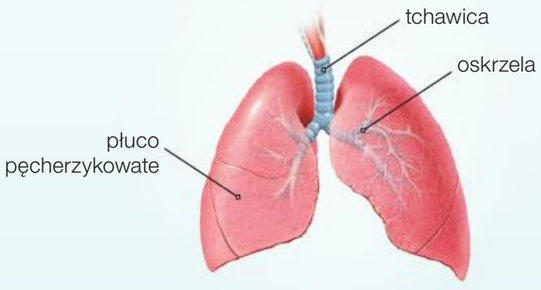
Ptaki

Płuca ptaków są rurkowate i nie zmieniają objętości. Świeże 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.



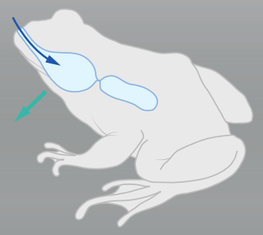
Mechanizmy wentylacji płuc u kręgowców

U kręgowców powietrze dociera do płuc przez drogi oddechowe. Wymiana powietrza w płucach odbywa się dzięki działaniu mechanizmów wentylacji.

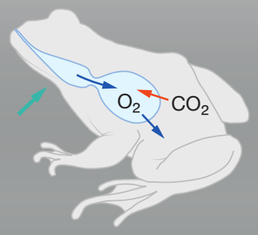
Wentylacja płuc u płazów

Płazy nie mają klatki piersiowej, dlatego wentylacja płuc odbywa się u nich m.in. dzięki ruchom dna jamy gębowej.

Wdech

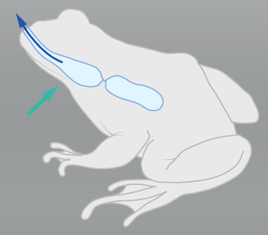


1 Dno jamy gębowej się obniża, co powoduje zassanie świeżego powietrza przez nozdrza do jamy gębowej.



2 Nozdrza się zamykają, dno jamy gębowej się podnosi, a powietrze jest wtłaczane do płuc. W płucach zachodzi wymiana gazowa.

Wydech

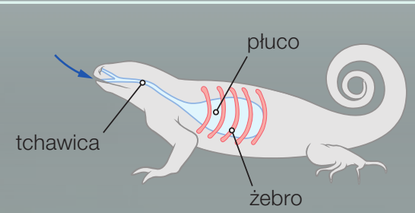


3 Zużyte powietrze jest usuwane z płuc i trafia do jamy gębowej. Dno jamy gębowej się unosi, co powoduje wypchnięcie powietrza przez otwarte nozdrza na zewnątrz.

Wentylacja płuc u gadów

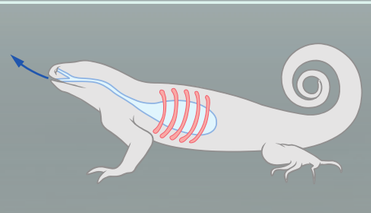
Wentylacja płuc u gadów odbywa się dzięki ruchom klatki piersiowej.

Wdech



Skurcz mięśni międzyżebrowych prowadzi do zwiększenia objętości klatki piersiowej i napływu powietrza do płuc.

Wydech



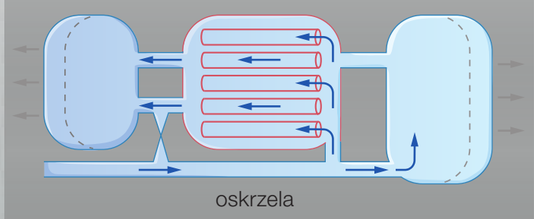
Rozkurcz mięśni międzyżebrowych prowadzi do zmniejszenia objętości klatki piersiowej i odpływu powietrza z płuc.

Jaszczurka żyworodna.

Wentylacja płuc u ptaków

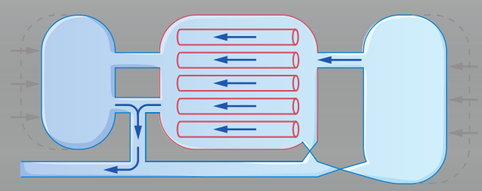
Wentylacja płuc u ptaków nosi nazwę podwójnego oddychania. Polega ona na przepływie świeżego powietrza przez płuca zarówno w czasie wdechu, jak i w czasie wydechu. Podczas spoczynku wentylacja płuc u ptaków odbywa się dzięki skurczom mięśni międzyżebrowych, a podczas lotu – dzięki ruchom skrzydeł. W obu przypadkach w wentylacji płuc uczestniczą worki powietrzne.

Wdech



- Droga z oskrzeli do worków przednich jest zamknięta.
- Część świeżego powietrza przepływa do worków tylnych, a pozostała część przepływa przez płuca.
- Zużyte powietrze przepływa z płuc do worków przednich.

Wydech

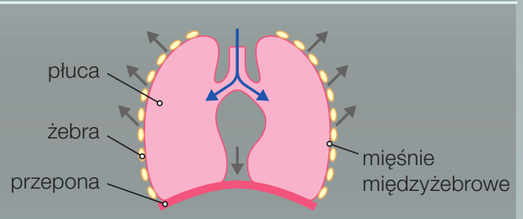


- Droga z oskrzeli do worków przednich jest otwarta.
- Zużyte powietrze z worków przednich jest usuwane na zewnątrz.
- Świeże powietrze przepływa z worków tylnych przez płuca na zewnątrz.

Wentylacja płuc u ssaków

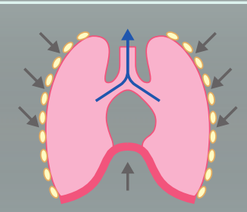
Wentylacja płuc u ssaków odbywa się dzięki ruchom klatki piersiowej oraz skurczom przepony.

Wdech



Skurcz przepony i mięśni międzyżebrowych prowadzi do zwiększenia objętości klatki piersiowej. Powietrze napływa do płuc.

Wydech



Rozkurcz przepony i mięśni międzyżebrowych prowadzi do zmniejszenia objętości klatki piersiowej. Powietrze wypływa z płuc.

Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij, czym różni się wymiana gazowa zewnętrzna od wymiany gazowej wewnętrznej.
2. Podaj nazwy narządów wymiany gazowej zwierząt wodnych.
3. Podaj różnicę między sposobem wentylacji płuc gadów a sposobem wentylacji płuc ssaków.

5.2. Budowa i funkcje układu oddechowego

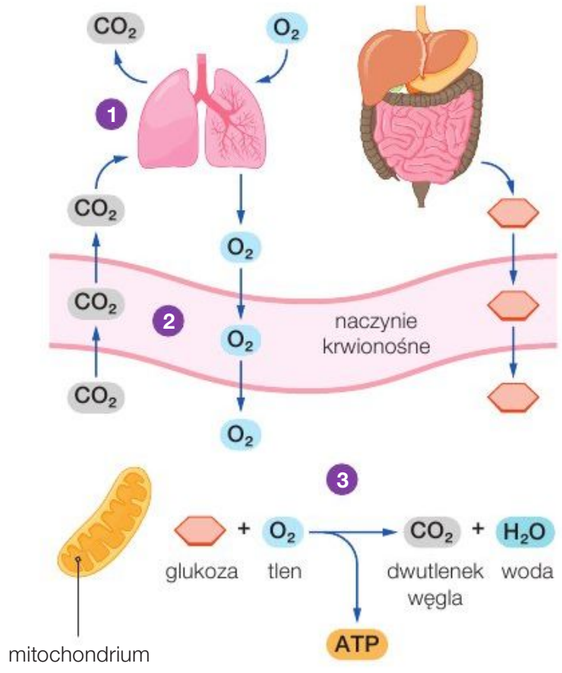
Ważne w tym temacie!

- budowa układu oddechowego
- funkcje układu oddechowego
- związek między budową a funkcjami elementów układu oddechowego

Człowiek uzyskuje energię w procesie **oddychania tlenowego**. W trakcie tego procesu złożone związki organiczne są rozkładane i utleniane do związków prostszych, czemu towarzyszy uwolnienie energii. Część uwolnionej energii rozprasza się w postaci ciepła, a część zostaje użyta do syntezy ATP. ATP musi być stale wytwarzany, ponieważ czerpana z niego energia jest nieustannie zużywana podczas czynności życiowych. Jednym z substratów oddychania tlenowego jest tlen, a jednym z produktów ubocznych – dwutlenek węgla. Z tego powodu oddychanie tlenowe 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.

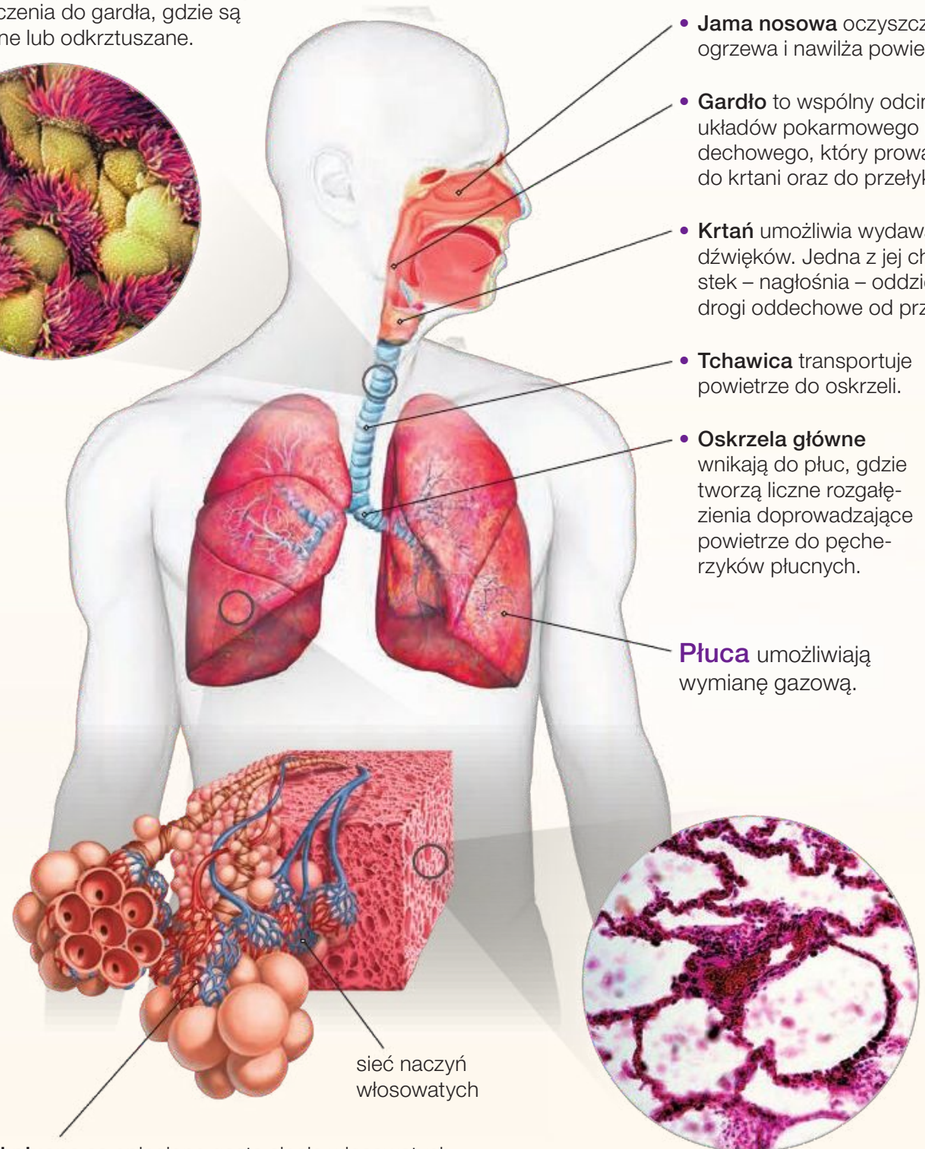


1. Naprzemienne wdechy i wydechy zapewniają transport gazów oddechowych między środowiskiem zewnętrznym a płucami. Tlen z płuc przenika do krwiobiegu, natomiast dwutlenek węgla wędruje w kierunku przeciwnym.
2. Oba gazy oddechowe są transportowane przez krew, dzięki czemu tlen dociera do komórek ciała, a dwutlenek węgla jest z nich odbierany.
3. W komórkach tlen jest wykorzystywany do utleniania składników odżywczych. 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 jest wyścielana przez nabłonek migawkowy (obraz spod SEM). 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.

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. Wyścielają je silnie ukrwiona 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

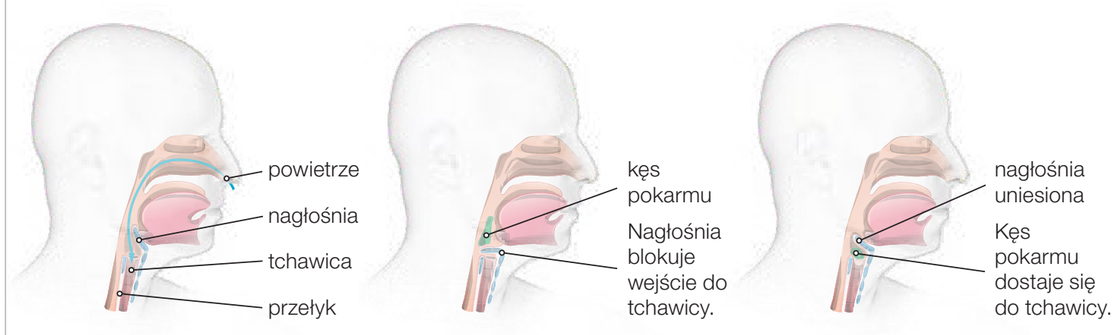
Jama nosowa kontaktuje się ze środowiskiem zewnętrznym za pośrednictwem nozdrzy przednich. Jest ona podzielona na dwie części przez przegrodę nosa. Błona śluzowa jamy nosowej jest dobrze unaczyniona i zawiera liczne gruczoły śluzowe. Dzięki temu powietrze zostaje w niej ogrzane oraz nawilżone. Z kolei 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 – określa się ją mianem wyniosłości krtaniowej, a potocznie grdyką lub jabłkiem Adama.

Nagłośnia

Za zamykanie dróg oddechowych podczas jedzenia odpowiada nagłośnia. W trakcie przełykania pokarmu chrząstka się odgina, dzięki czemu blokuje ona wejście do tchawicy. W ten sposób 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. Jednym z głównych składników budujących chrząstki tchawicy jest kolagen. 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.

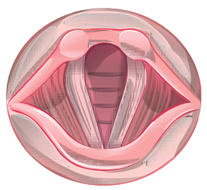
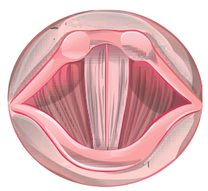
Oskrzela główne są parzystymi przewodami, które wnikają do płuc, gdzie tworzą drzewo oskrzelowe. Drzewo oskrzelowe to system rozgałęzień o coraz mniejszej średnicy, który stanowi rusztowanie dla pęcherzyków płucnych. W systemie tym oskrzela rozgałęziają się na oskrzela niższych rzędów. Oskrzela najniższego rzędu przechodzą w jeszcze węższe oskrzeliki, które wielokrotnie się rozgałęziają. Drzewo oskrzelowe kończą oskrzeliki oddechowe.

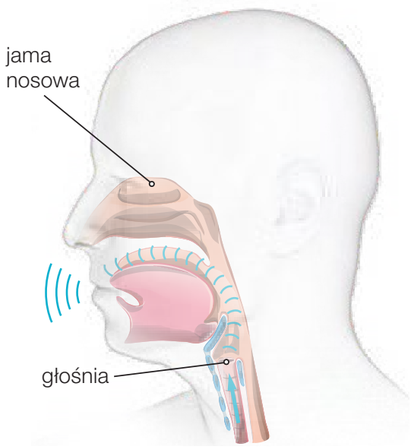
Oskrzela wyższych rzędów mają budowę podobną do budowy tchawicy – wyścieła je nabłonek wielorzędowy migawkowy, a w ścianach znajdują się mięśnie gładkie oraz chrząstki połączone tkanką łączną właściwą. W mniejszych oskrzelach i oskrzelikach nabłonek stopniowo traci rzęski, a ich ściany nie mają chrząstek. W porównaniu z resztą dróg oddechowych przewody te zawierają więcej komórek mięśniowych.

Drzewo oskrzelowe człowieka.

Powstawanie głosu

Głos powstaje w części krtani zwanej głośnią. Znajdują się w niej fałdy głosowe (potocznie nazywane strunami głosowymi), które wibrują pod wpływem przepływającego powietrza.

Milczenie	Wydawanie głosu
	
Podczas milczenia i spokojnego oddechu fałdy głosowe są rozluźnione. Powietrze może swobodnie przepływać przez krtań w czasie wdechów i wydechów, co nie powoduje powstawania dźwięków.	Podczas mówienia czy śpiewania fałdy głosowe są napięte i zbliżone do siebie. Przepływające przez nie powietrze powoduje ich drgania, co prowadzi do wytworzenia dźwięków.



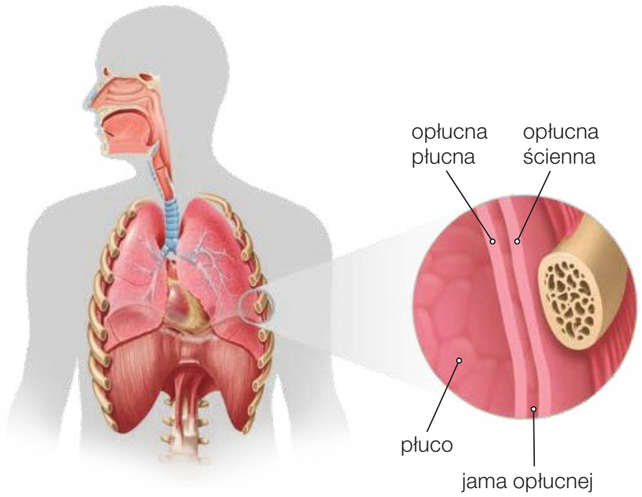
Wysokość głosu zależy od napięcia, długości i grubości fałdów głosowych. Natomiast na barwę głosu wpływają puste przestrzenie w kościach, np. jama nosowa i zatoki, które działają jak rezonatory.

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. 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. Znajdujące się w nich oskrzeliki oddechowe 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.

Opłucna

Płuca okrywa z zewnątrz błona surowicza, zwana **opłucną**. Opłucna składa się z blaszki wewnętrznej (opłucnej płucnej) oraz blaszki zewnętrznej (opłucnej ściennej). Opłucna płucna przylega ściśle do tkanki płuc, natomiast opłucna ścienna wyścieła wewnętrzną ścianę klatki piersiowej. Między blaszkami znajduje się jama opłucnej wypełniona płynem surowiczym. Płyn ten umożliwia swobodne przemieszczanie obu blaszek opłucnej względem siebie podczas ruchów oddechowych.



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.

Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij rolę układu oddechowego w funkcjonowaniu organizmu.
2. Wymień nazwy kolejnych odcinków dróg oddechowych oraz podaj ich funkcje.
3. Opisz, w jaki sposób powstaje ludzki głos, oraz podaj, od czego zależą jego wysokość i barwa.
4. Przedstaw cechy budowy płuc, które stanowią przystosowanie do wymiany gazowej.
5. Opisz budowę opłucnej i podaj jej funkcje.

5.3. Wentylacja płuc i wymiana gazowa

Ważne w tym temacie!

- mechanizm wentylacji płuc
- wymiana gazowa w płucach i w tkankach
- budowa i funkcja hemoglobiny oraz jej powinowactwo do tlenu w różnych warunkach

U człowieka na czynność życiową nazywaną oddychaniem 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 gazów 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.

Podczas wentylacji płuc mogą przeważać ruchy żeber (oddychanie piersiowe) lub ruchy przepony (oddychanie brzuszne). Oddychanie piersiowe jest dominujące u kobiet, a oddychanie brzuszne – u mężczyzn i osób z chorobami płuc.

Wydechy aktywne występują rzadko, np. podczas kichania czy kaszlu. Wymagają one pracy mięśni międzyżebrowych i przepony, a czasem również mięśni brzucha i grzbietu.

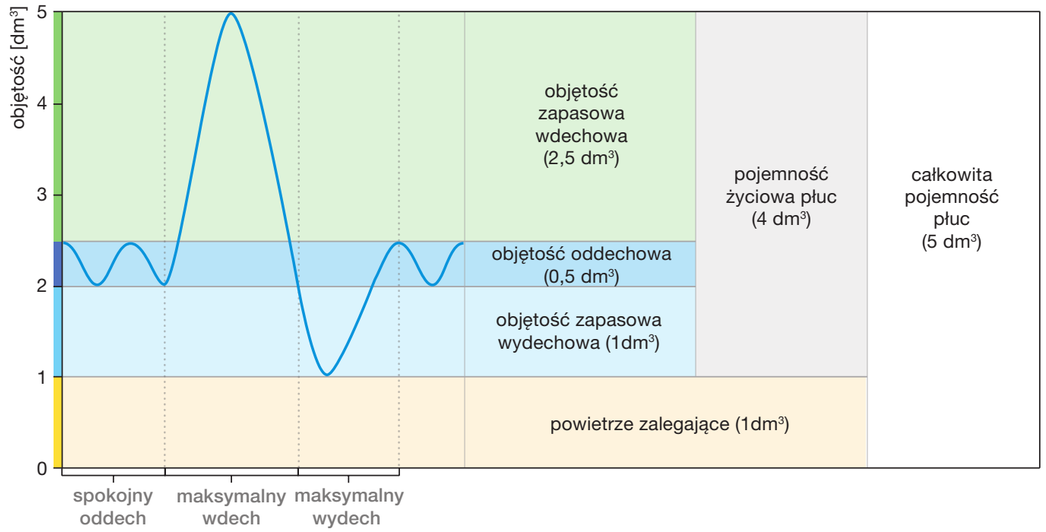
Pojemność płuc

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. Na całkowitą pojemność płuc składają się:

- **pojemność życiowa płuc** – objętość powietrza wprowadzonego do płuc przy maksymalnym wdechu poprzedzonym maksymalnym wydechem. Wynosi ona ok. 4 dm^3 i obejmuje:
  - **objętość oddechową** – objętość powietrza, które dostaje się do płuc podczas spokojnego wdechu lub zostaje usunięte podczas spokojnego wydechu (ok. 0,5 dm^3),
  - **objętość zapasową wdechową** – objętość powietrza, które może zmieścić się w płucach podczas pogłębionego wdechu (ok. 2,5 dm^3),
  - **objętość zapasową wydechową** – objętość powietrza, które można wypchnąć z płuc podczas pogłębionego wydechu (ok. 1 dm^3);
- **powietrze zalegające** w pęcherzykach płucnych (ok. 1 dm^3).

<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>

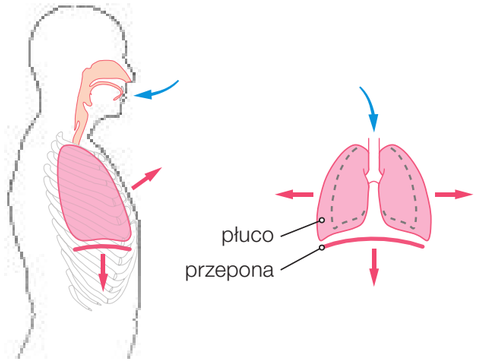
Pojemność płuc



Mechanizm wentylacji płuc

Na mechanizm wentylacji płuc składają się wdechy i wydechy.

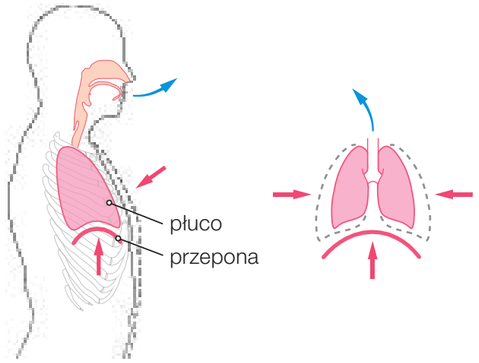
Wdech



Wdech jest aktem czynnym, ponieważ odbywa się dzięki pracy mięśni oddechowych. W jego trakcie:

1. przepona się kurczy, co powoduje jej obniżenie oraz spłaszczenie;
2. skurcz mięśni międzyżebrowych przesuwa żebra w przód oraz do góry;
3. zwiększa się objętość klatki piersiowej, co skutkuje wzrostem objętości płuc – pęcherzyki płucne się rozciągają, a ciśnienie w ich wnętrzu spada poniżej wartości ciśnienia atmosferycznego. Powstająca różnica ciśnień wywołuje napływ powietrza z dróg oddechowych do płuc.

Wydech



Wydech jest zwykle aktem biernym, który odbywa się bez udziału pracy mięśni. W jego trakcie:

1. przepona się rozkurcza, unosi i uwypukla;
2. rozkurcz mięśni międzyżebrowych przesuwa żebra w tył oraz w dół;
3. zmniejsza się objętość klatki piersiowej i objętość płuc – pęcherzyki płucne się zwężają, a ciśnienie w ich wnętrzu rośnie powyżej wartości ciśnienia atmosferycznego. Powstająca różnica ciśnień wywołuje odpływ powietrza z płuc do dróg oddechowych.

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.

Ośrodek oddechowy reaguje przede wszystkim na wzrost stężenia dwutlenku węgla we krwi. Gaz ten wchodzi w reakcję z wodą zawartą w osoczu krwi, tworząc jony wodorowe (H^+) i jony wodorowęglanowe (HCO_3^-). Reakcję tę katalizuje enzym – anhydraza węglanowa (→ s. 182).

Zwiększenie stężenia jonów wodorowych obniża pH krwi poniżej tolerowanej wartości (pH = 7,35). Rejestrują to 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 także wpływa na ośrodek oddechowy, ponieważ zwiększa wentylację płuc.

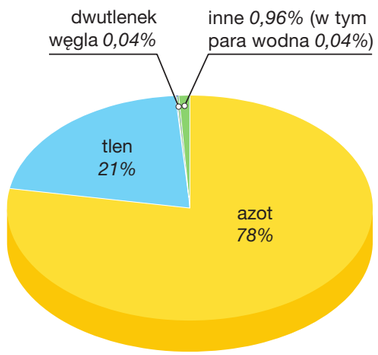
Wymiana gazowa w płucach i tkankach

Wymiana gazowa to proces, który polega na pobieraniu przez organizm tlenu i usuwaniu z organizmu dwutlenku węgla. Wymiana gazowa 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.

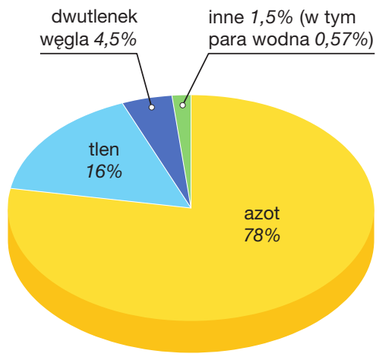
Wymiana gazowa zewnętrzna odbywa się między pęcherzykami płucnymi a krwią. Tlen dyfunduje z powietrza znajdującego się w pęcherzykach płucnych do krwi, która przepływa przez naczynia włosowate. Dwutlenek węgla dyfunduje w przeciwnym kierunku.

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. Z kolei ubocznym produktem oddychania komórkowego jest dwutlenek węgla. Gazy dyfundują więc ponownie zgodnie z różnicą ciśnień parcjalnych: tlen z krwi do komórek, a dwutlenek węgla z komórek do krwi.

Skład powietrza wdychanego i wydychanego



Powietrze wdychane.



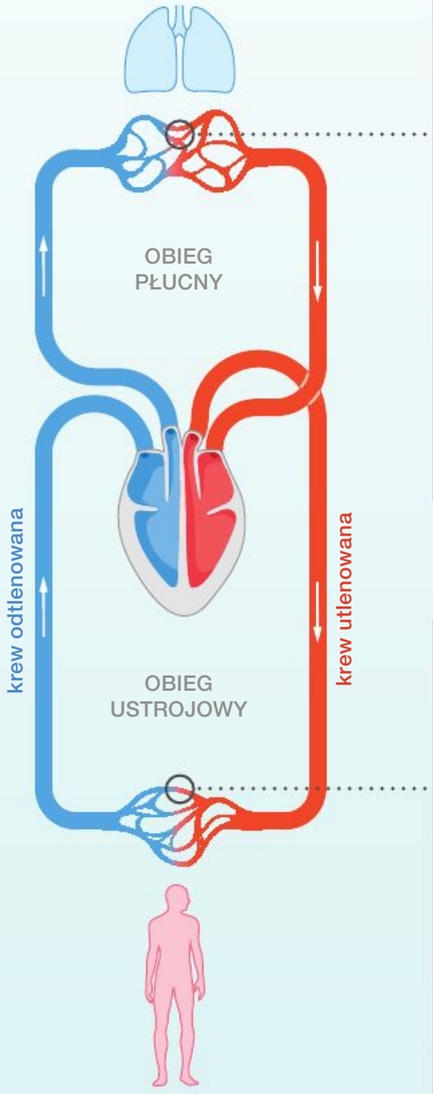
Powietrze wydychane.

Wymiana gazowa

Wymiana gazowa to dyfuzja tlenu i dwutlenku węgla między wnętrzem organizmu a środowiskiem zewnętrznym. Przebiega ona w dwóch etapach:

1. **wymiana gazowa zewnętrzna** – odbywa się w płucach,
2. **wymiana gazowa wewnętrzna** – zachodzi w tkankach organizmu.

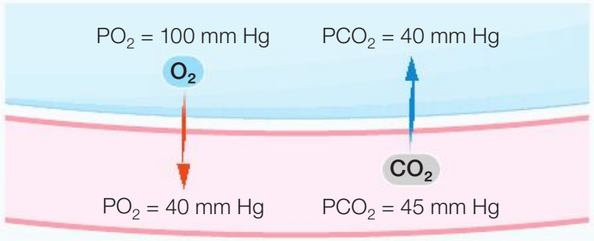
Wymiana gazowa jest związana z obecnością dwóch obiegów krwi: obiegu płucnego i obiegu ustrojowego (→ s. 230). Kierunek przepływu tlenu i dwutlenku węgla w płucach i w tkankach jest zgodny z gradientem ciśnień parcjalnych gazów oddechowych.



1 Wymiana gazowa zewnętrzna

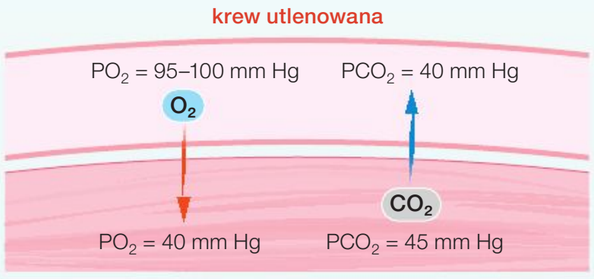
- Zachodzi między pęcherzykami płucnymi a krwią.
- Tlen dyfunduje z pęcherzyków płucnych do krwi.
- Dwutlenek węgla dyfunduje z krwi do pęcherzyków płucnych.

wnętrze pęcherzyka płucnego



2 Wymiana gazowa wewnętrzna

- Zachodzi między krwią a tkankami ciała.
- Tlen dyfunduje z krwi do komórek.
- Dwutlenek węgla dyfunduje z komórek do krwi.



Udział krwi w transporcie 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. Kierunek reakcji zależy głównie od ciśnienia parcjalnego tlenu (PO_2), ciśnienia parcjalnego dwutlenku węgla (PCO_2), pH i temperatury.

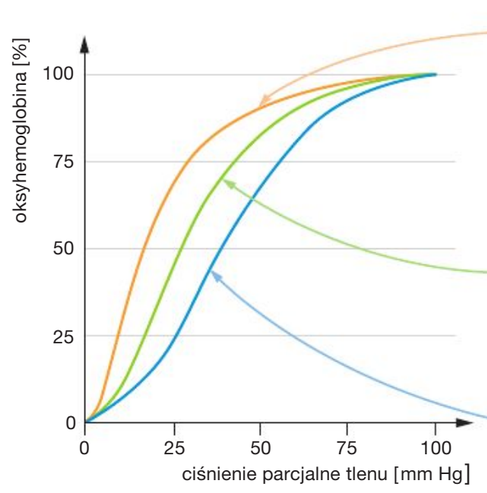
Reakcja łączenia hemoglobiny z tlenem:

$$Hb_4 + 4\ O_2 \Leftrightarrow Hb_4O_8$$

Czynniki wpływające na łączenie się tlenu z hemoglobiną i odłączanie tlenu od oksyhemoglobiny

Czynnik	Wysoka wartość	Niska wartość
Wartość pH	Ułatwia wiązanie hemoglobiny z tlenem.	Przyspiesza uwalnianie tlenu przez oksyhemoglobinę.
Temperatura	Przyspiesza uwalnianie tlenu przez oksyhemoglobinę.	Sprzyja wiązaniu się tlenu z hemoglobiną.
Ciśnienie parcjalne CO_2	Przyspiesza uwalnianie tlenu przez oksyhemoglobinę.	Sprzyja wiązaniu się tlenu z hemoglobiną.
Ciśnienie parcjalne O_2	Przyspiesza łączenie tlenu z hemoglobiną.	Przyspiesza uwalnianie tlenu przez oksyhemoglobinę.

Powinowactwo hemoglobiny do tlenu w różnych warunkach



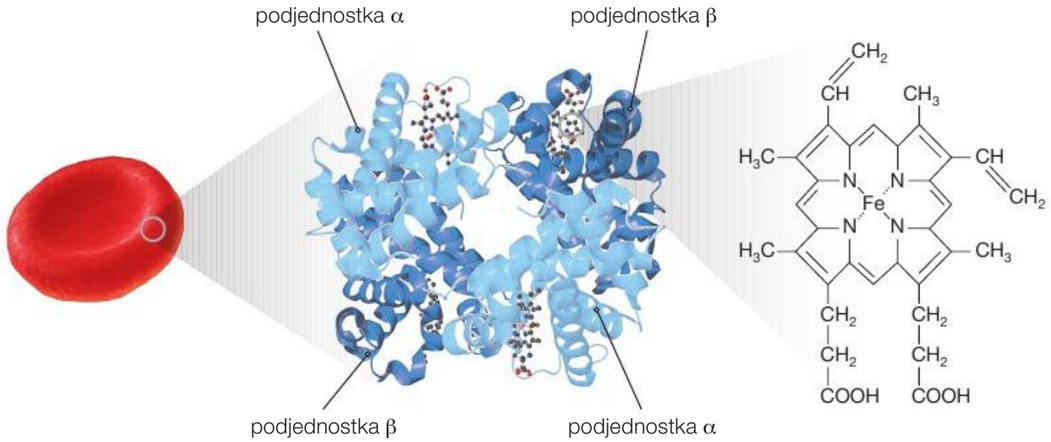
Krzywa powinowactwa hemoglobiny do tlenu **w warunkach sprzyjających wiązaniu tlenu** przez hemoglobinę (wyższe pH, niższa temperatura, niskie ciśnienie parcjalne CO_2).

Krzywa powinowactwa hemoglobiny do tlenu **w warunkach normalnych**.

Krzywa powinowactwa hemoglobiny do tlenu **w warunkach sprzyjających uwalnianiu tlenu** przez oksyhemoglobinę (niższe pH, wyższa temperatura, wyższe ciśnienie parcjalne CO_2).

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.

Udział krwi w transporcie dwutlenku węgla

Dwutlenek węgla dyfunduje z tkanek, gdzie jego ciśnienie parcjalne jest wyższe, do krwi, gdzie jego ciśnienie parcjalne jest niższe. Dwutlenek węgla jest transportowany przez krew w formie:

- fizycznie rozpuszczonej w osoczu – ok. 10%,
- związanej z hemoglobiną – jako karbaminohemoglobina ($HbCO_2$) – ok. 20%,
- jonów wodorowęglanowych (HCO_3^-) – ok. 70%.

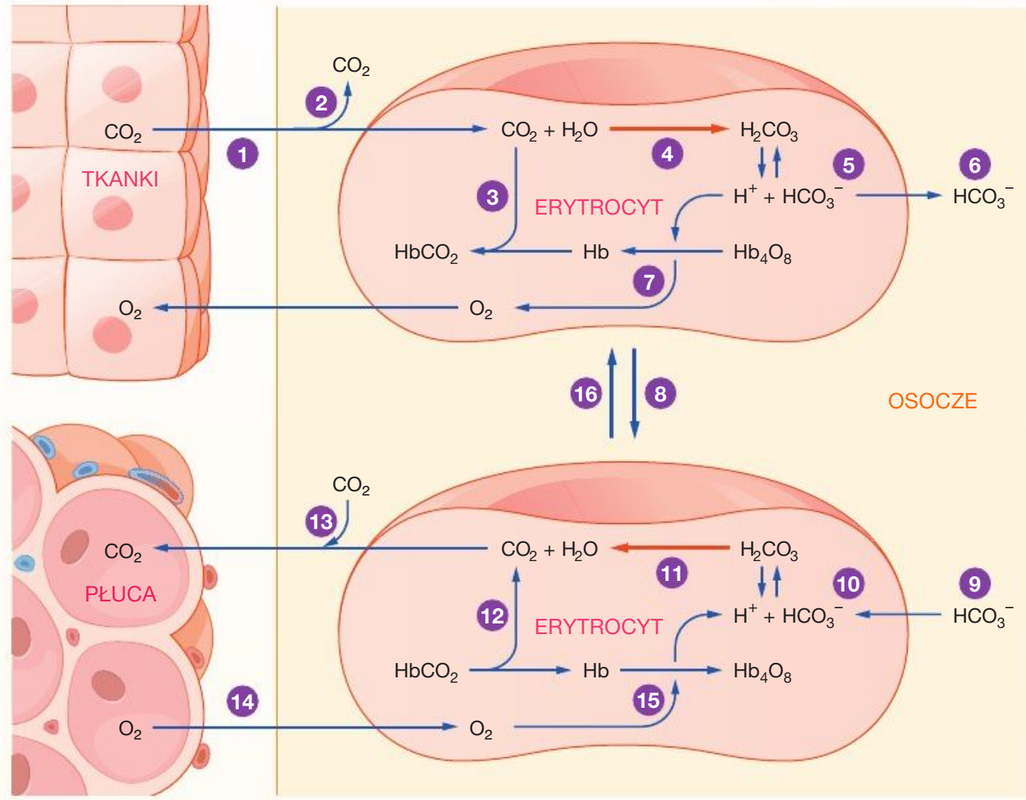
Jony wodorowęglanowe powstają w erytrocytach. Dzieje się to podczas odwracalnej reakcji, która jest katalizowana przez występujący w erytrocytach enzym – anhydrazę węglanową:

$$CO_2 + H_2O \xrightleftharpoons{\text{anhydraza węglanowa}} H^+ + HCO_3^-$$

We krwi obwodowej stężenie dwutlenku węgla jest stosunkowo wysokie, dlatego reakcja katalizowana w erytrocytach przez anhydrazę węglanową przebiega w kierunku powstawania jonów wodorowęglanowych. Większość jonów wodorowęglanowych dyfunduje z erytrocytów do osocza krwi i w tej formie jest transportowana do płuc.

W naczyniach płucnych stężenie tlenu jest wysokie, a dwutlenku węgla – niskie. W takich warunkach anhydraza węglanowa katalizuje odwrotną reakcję, w efekcie której powstają woda i dwutlenek węgla. Równocześnie zachodzi odłączanie dwutlenku węgla od karbaminohemoglobiny. Powstały gaz dyfunduje z erytrocytów do osocza i wraz z transportowanym przez osocze dwutlenkiem węgla jest uwalniany do wnętrza pęcherzyków płucnych.

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% dwutlenku węgla rozpuszcza się fizycznie w osoczu, a 90% dyfunduje do erytrocytów.
3. W erytrocytach 20% dwutlenku węgla łączy się z hemoglobiną, tworząc karbaminohemoglobinę ($HbCO_2$).
4. Pozostałe 70% dwutlenku węgla reaguje w erytrocytach z wodą, tworząc kwas węglowy.
5. Kwas węglowy dysocjuje na jony wodorowęglanowe oraz jony wodorowe.
6. Część jonów wodorowęglanowych jest transportowana 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.

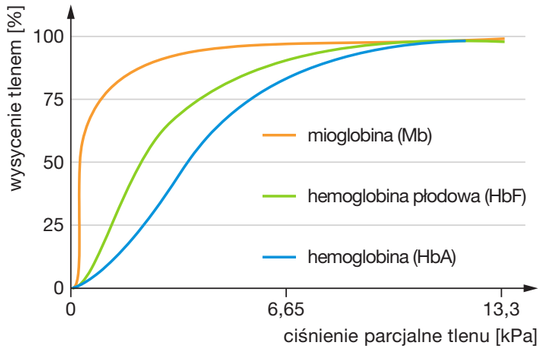
Wymiana gazowa w płucach

9. Jony wodorowęglanowe są transportowane z osocza krwi do erytrocytów.
10. Jony wodorowęglanowe tworzą z jonami wodorowymi kwas węglowy.
11. Kwas węglowy ulega rozkładowi na wodę i dwutlenek 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. Procesowi temu sprzyja zmniejszone stężenie jonów H^+.
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 powinowactwa do tlenu mioglobiny oraz dwóch form hemoglobiny (HbA i HbF).

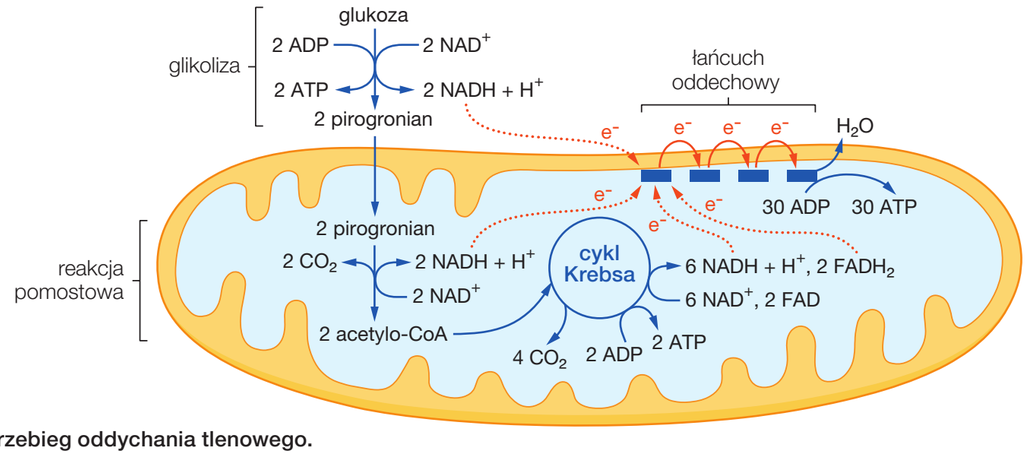
Przypomnij sobie

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 matriks mitochondrialnej,
- **cyklu Krebsa**, który zachodzi w matriks mitochondrialnej,
- **łańcucha oddechowego**, który zachodzi w wewnętrznej błonie mitochondrium.



Przebieg oddychania tlenowego.

Współczynnik oddechowy

Współczynnik oddechowy (RQ) to stosunek objętości wydalanego z organizmu dwutlenku węgla do objętości pobranego tlenu. Wartości współczynnika oddechowego są różne dla różnych substratów oddechowych, np. dla glukozy RQ = 1 ($RQ_{glukoza} = 6\ CO_2 / 6\ O_2 = 1$), z kolei dla kwasu palmitynowego RQ = 0,707.

Wartość współczynnika oddechowego zależy również od kierunku przemian metabolicznych. Jeśli w organizmie występuje przewaga przemian anabolicznych, to wartość współczynnika oddechowego wzrasta. Natomiast jeśli w organizmie występuje przewaga przemian katabolicznych, to wartość współczynnika oddechowego spada.

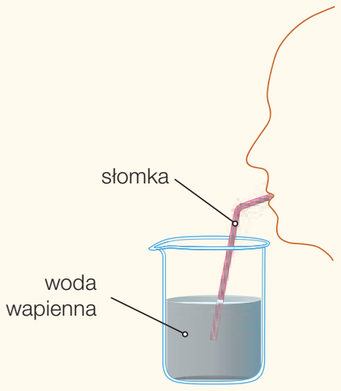
Doświadczenie

Badanie zawartości dwutlenku węgla w powietrzu wdychanym i wydychanym

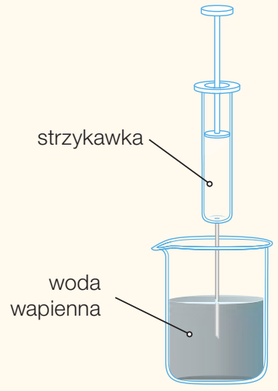
1. **Problem badawczy:** Które powietrze – powietrze wdychane czy wydychane – zwiera większą ilość dwutlenku węgla?
2. **Hipoteza badawcza:** Powietrze wydychane zawiera więcej dwutlenku węgla niż powietrze wdychane.
3. **Przebieg doświadczenia:**

   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. Wykonaj doświadczenie trzy razy.

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.



4. **Wynik:** Porównaj stopień zmętnienia wody wapiennej w obu zlewkach.
5. **Wniosek:** Sformułuj wniosek.

Wyjaśnienie: Wszystkie zasady pochłaniają CO_2 z powietrza. Woda wapienna zawiera wodorotlenek wapnia – $Ca(OH)_2$. 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 wspinaczka wysokogórska wpływa na wymianę gazową?

W górach, gdzie ciśnienie atmosferyczne maleje wraz ze wzrostem wysokości, zmniejsza się 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.

Dowiedz się więcej

Wpływ nurkowania głębinowego na wymianę gazową

Podczas nurkowania z każdym metrem głębokości rośnie ciśnienie zewnętrzne. Wzrost ciśnienia zewnętrznego powoduje, że w płynach ustrojowych i w tkankach rozpuszcza się większa ilość gazów, które są zawarte w powietrzu wypełniającym płuca. Szczególnie istotny jest azot, ponieważ jego zawartość w powietrzu jest największa.

Wpływ zmian ciśnienia zewnętrznego na organizm

podczas nurkowania	podczas wynurzania się
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.	Gazy (głównie azot) wydzielają się do przestrzeni międzykomórkowych oraz do krwi. Jeśli wynurzanie się przebiega zbyt szybko, to gromadzące się pęcherzyki tworzą zatory gazowe, które blokują przepływ krwi w naczyniach krwionośnych oraz uszkadzają tkanki.

Podczas nurkowania głębinowego stosuje się powolne, wieloetapowe wynurzanie. Pozwala ono na stopniowe usuwanie azotu przez układ oddechowy, co zapobiega tworzeniu się zatorów gazowych w organizmie.

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.

Skutki zbyt szybkiego wynurzana się z wody leczy się za pomocą komory hiperbarycznej, która stopniowo adaptuje chorego do zmian ciśnienia. W komorze tej do oddychania stosuje się czysty tlen, który wspomaga leczenie.

Walenie – płucodyszni ekstremalni nurkowie

Walenie to ssaki wtórnie wodne, które są 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 przenikaniu azotu do tkanek.

Mózg jest bogaty w neuroglobinę – białko podobne do mioglobiny, którego funkcją jest magazynowanie tlenu w tkance nerwowej.

kanały nosowe

otwór oddechowy

serce

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

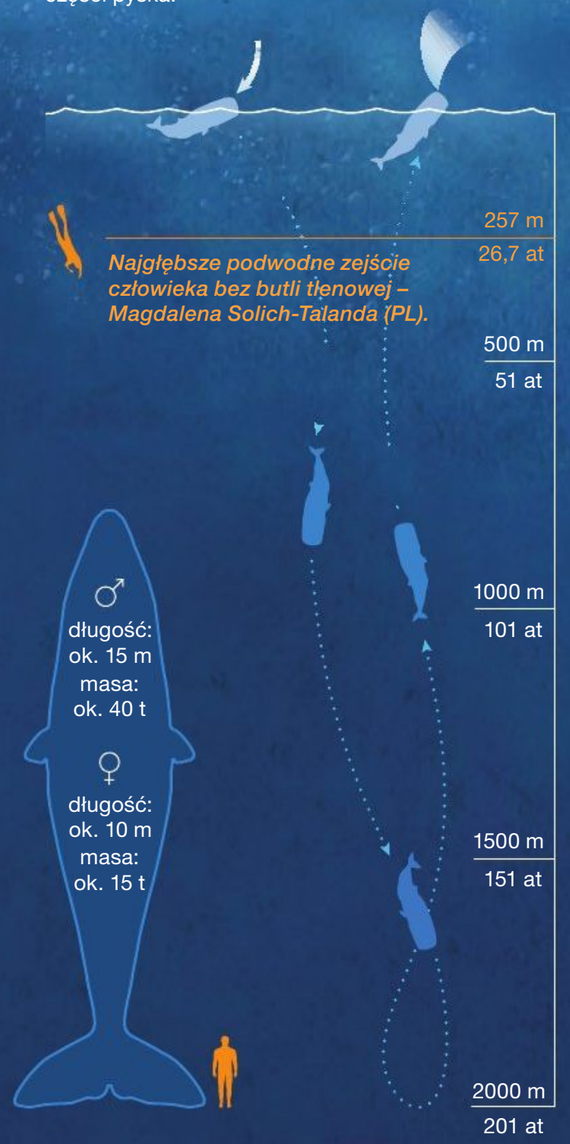
Płuca są stosunkowo małe, ale bardzo wydajne – podczas wdechu napełniają się powietrzem w 90% (u człowieka w ok. 15–20%) i wykorzystują połowę zawartego w nich tlenu (u człowieka ok. 6%).

Napełnienie płuc powietrzem

Wykorzystanie tlenu zawartego w płucach

Dowiedz się więcej

Kaszalot pobiera i usuwa powietrze za pomocą otworu oddechowego, zlokalizowanego w przedniej części pyska.



Polecenia kontrolne

1. Przedstaw zależność między oddychaniem, wentylacją płuc i wymianą gazową.
2. Podaj dwie różnice między mechanizmem wdechu a mechanizmem wydechu.
3. Podaj dwa 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.

5.4. Zaburzenia funkcjonowania układu oddechowego

Ważne w tym temacie!

- 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.

Do głównych źródeł zanieczyszczeń powietrza należą domowe piece grzewcze, transport samochodowy oraz duże zakłady przemysłowe i energetyczne.

Wpływ zanieczyszczeń powietrza na organizm człowieka

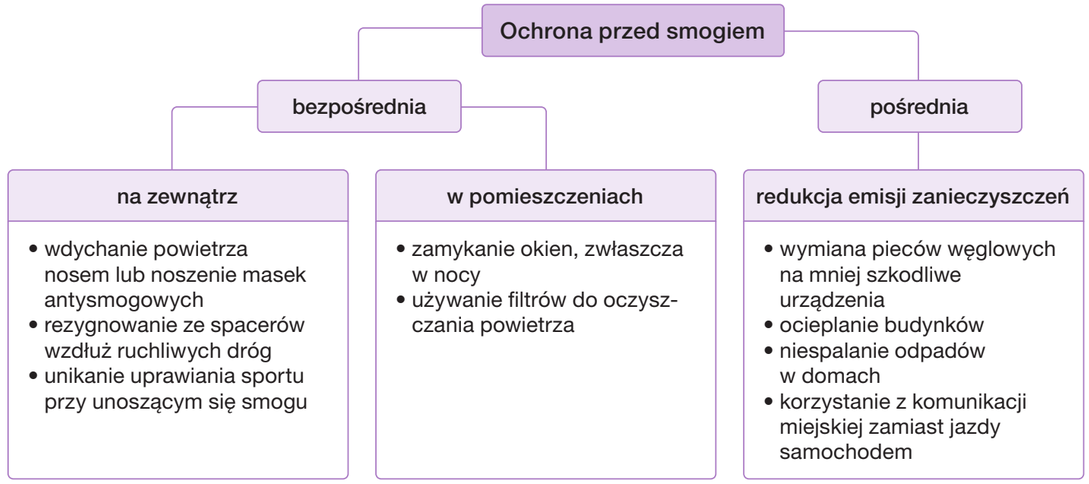
Zanieczyszczenia powietrza to wszystkie gazy, ciecze i ciała stałe, które znajdują się w powietrzu atmosferycznym, ale nie są jego naturalnymi składnikami. Wdychanie zanieczyszczonego powietrza wywiera niekorzystny wpływ na zdrowie człowieka. Może powodować m.in.:

- 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 stanowić zagrożenie dla zdrowia i życia człowieka. Główną przyczyną smogu w Polsce – poza przemysłem – są kotły węglowe, które nie odpowiadają obowiązującym standardom emisyjnym. Dlatego aktualne przepisy prawne nakazują ich wymianę.

Najbardziej szkodliwe dla człowieka zanieczyszczenia powietrza

tlenki azotu i tlenki siarki	benzopiren	pyły zawieszone (drobne cząstki stałe zawieszone w powietrzu, w tym toksyczne)	
Reagują z parą wodną obecną w atmosferze, co powoduje powstawanie kwaśnych opadów.	Jest silnie rakotwórczy; składnik m.in. spalin samochodowych.	pyły PM10 (średnica cząstek do 10 µm)	pyły PM2,5 (średnica cząstek do 2,5 µm)
		Osadzają się na powierzchni płuc.	Przenikają przez powierzchnię pęcherzyków płucnych do krwi.

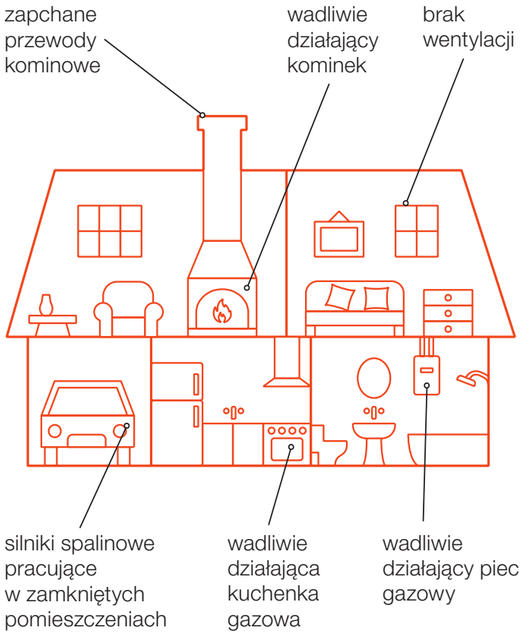


Zatrucie tlenkiem węgla

Tlenek węgla(II) – CO – powstaje podczas spalania węgla i innych paliw w niedostatecznej ilości tlenu. Jego potoczna nazwa to czad. 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 trwale się z nią łączy, 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 przypadku 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.

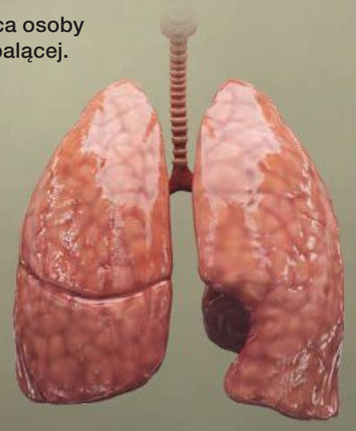
Kadm – silnie toksyczny pierwiastek powodujący m.in. uszkodzenia nerek.

Formaldehyd – związek chemiczny niszczący nabłonek migawkowy w drogach oddechowych.

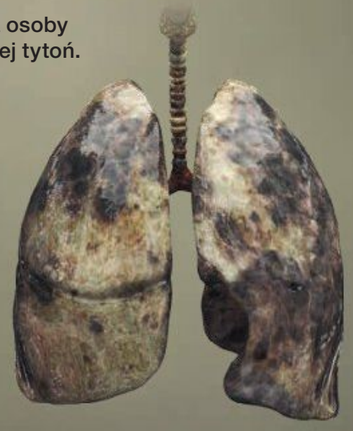
Wpływ palenia papierosów na organizm człowieka

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 (→ s. 196),
- 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.



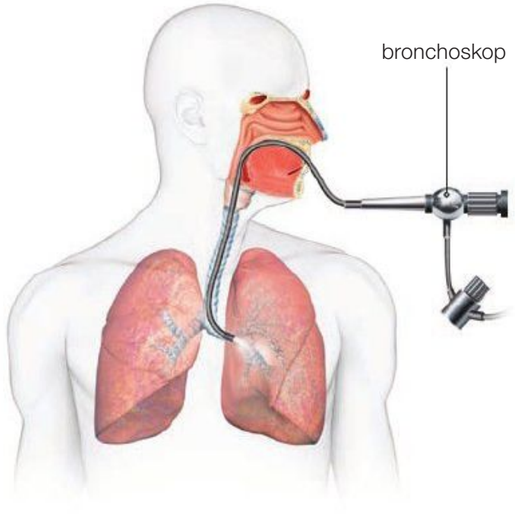
Płuca osoby palącej tytoń.

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 zalicza się: 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 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.

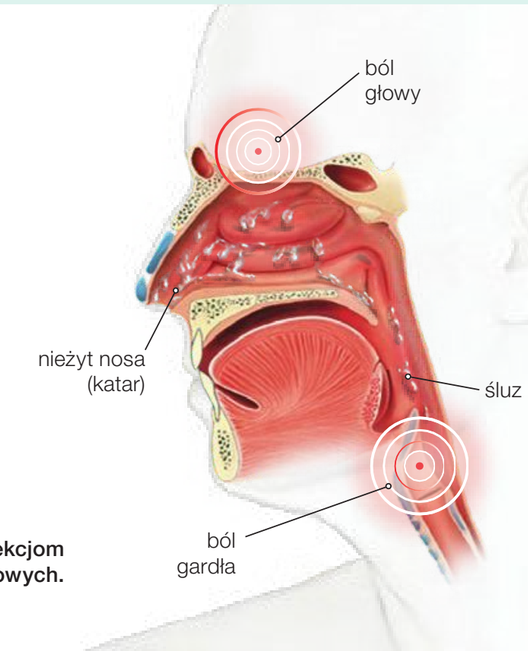
Choroby układu oddechowego

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.

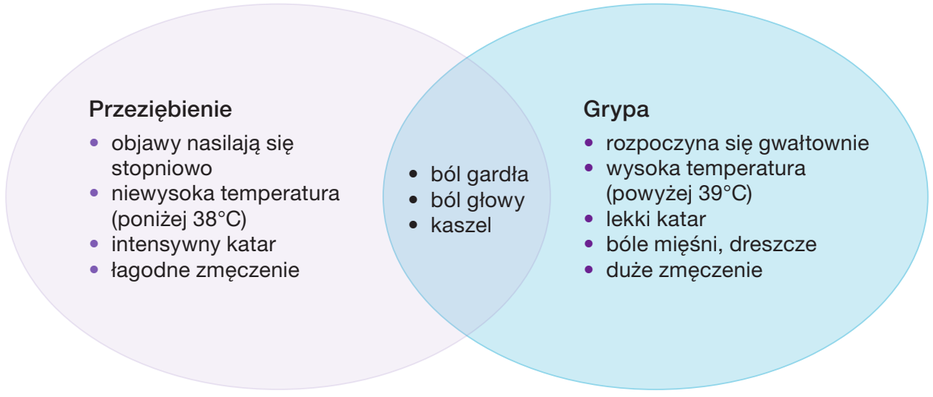
Przeziębienie

- **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

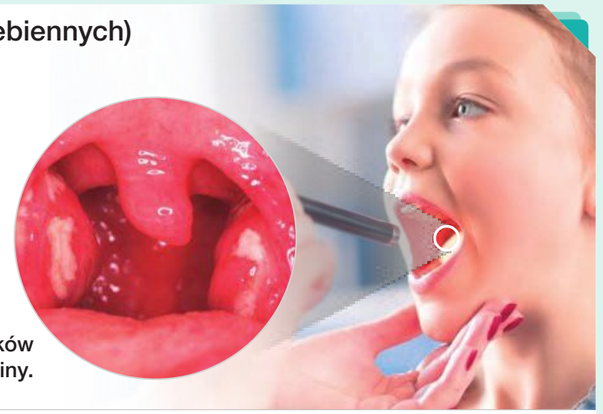
- **Przyczyna:** zakażenie różnymi odmianami wirusa grypy, mające niekiedy ostry przebieg. Co kilka lat występują fale zachorowania na grypę – epidemie.
- **Drogi zakażenia:** głównie droga kropelkowa.
- **Profilaktyka:** szczepienia ochronne, unikanie kontaktu z chorymi.

Porównanie objawów przeziębienia z objawami grypy



Angina (zapalenie migdałków podniebiennych)

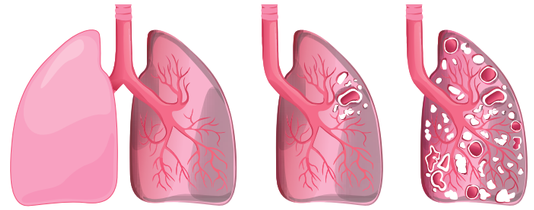
- **Przyczyna:** zakażenie bakteriami (najczęściej paciorkowcami), rzadziej wirusami lub grzybami.
- **Drogi zakażenia:** głównie droga kropelkowa.
- **Profilaktyka:** unikanie kontaktu z chorymi, leczenie chorych zębów i uszu, odpowiedubiór, np. osłonięcie szyi w chłodne dni, unikanie spożywania zimnych 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.

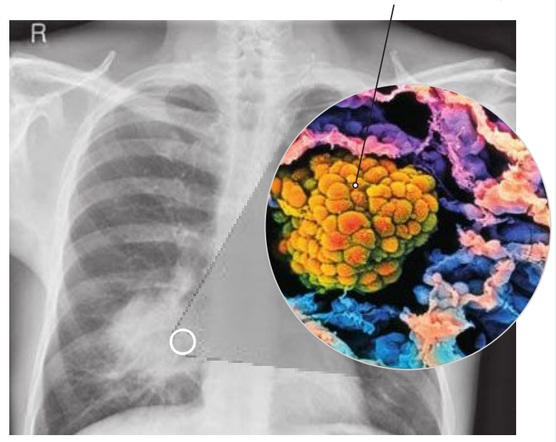


Stadia rozwoju gruźlicy płuc.

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 którym stadium zostanie wykryta choroba, oraz od kondycji fizycznej pacjenta.

- **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.

Dowiedz się więcej

Astma i POChP – częste choroby układu oddechowego

Do częstych chorób układu oddechowego należą m.in. astma i przewlekła obturacyjna choroba płuc (POChP).

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.

- **Przyczyny:** czynniki genetyczne oraz czynniki środowiskowe, np. zanieczyszczenia środowiska, dym tytoniowy, alergie.

Diagnostyka:
– badanie osłuchowe,
– spirometria,
– bronchoskopia,
– RTG klatki piersiowej,
– badanie przeciwciał we krwi,
– testy alergiczne w celu stwierdzenia przyczyn astmy.

Drogi oddechowe u osoby zdrowej i u osoby z astmą

Prawidłowe oskrzela. **Astma.** **Napad astmy.**

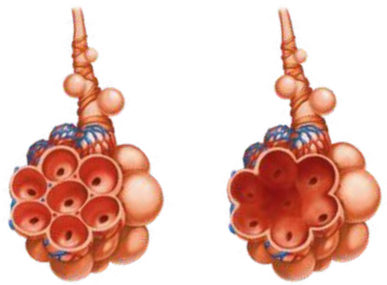
1. U osoby zdrowej światło oskrzeli jest duże i powietrze może przepływać swobodnie.
2. U osoby chorej na astmę ściany oskrzeli są pogrubione, występuje też stan zapalny – przepływ powietrza jest utrudniony.
3. W czasie napadu astmy mięśnie oskrzeli się kurczą, a błona śluzowa wydziela więcej śluzu, co prowadzi do zwężenia światła oskrzeli.

- **Profilaktyka:** unikanie alergenów, niepalenie papierosów, unikanie silnie zanieczyszczonego powietrza, 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.

- **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.



Pęcherzyki płucne osoby zdrowej. **Pęcherzyki płucne osoby chorej.**

Diagnostyka:
– spirometria,
– bronchoskopia,
– RTG klatki piersiowej,
– tomografia komputerowa.

Obserwacja

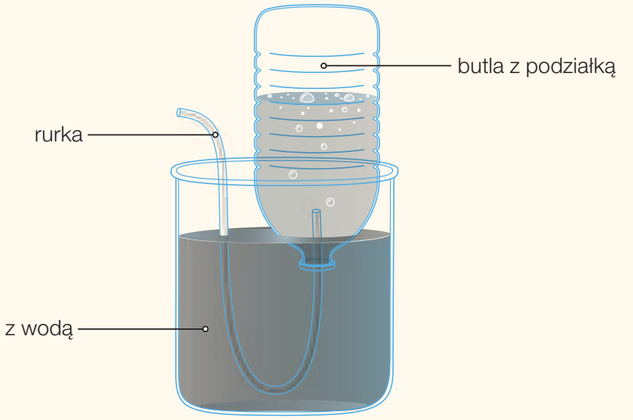
Pomiar objętości płuc

Objętość płuc można zmierzyć 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.

1 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 trzy działania, które mogą ograniczyć tworzenie się smogu w miastach.
2. Wyjaśnij, jaka jest różnica między gastroskopią a bronchoskopią. W odpowiedzi uwzględnij element budowy krtani, który należy unieść podczas wykonywania bronchoskopii, aby dostać się do tchawicy.
3. Podaj trzy czynniki ryzyka, które zwiększają prawdopodobieństwo rozwoju chorób układu oddechowego.
4. Wyjaśnij, dlaczego w wyniku zatrucia tlenkiem węgla może dojść do niedotlenienia organizmu.
5. Na podstawie podręcznika i wiarygodnych źródeł omów wpływ palenia papierosów na funkcjonowanie układu oddechowego.

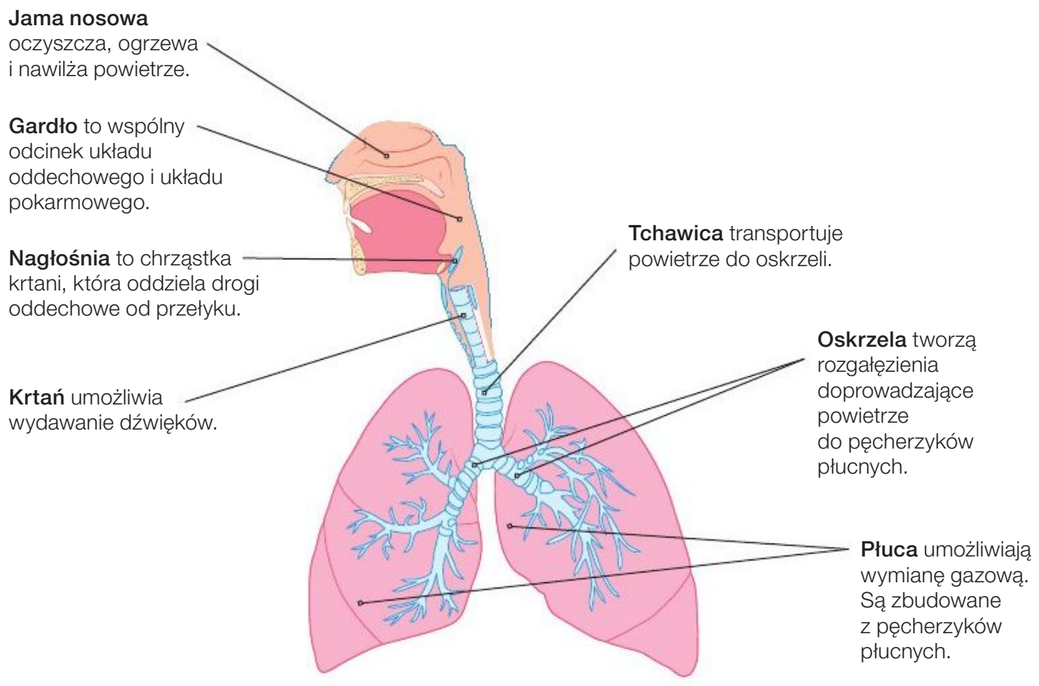
Podsumowanie

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.



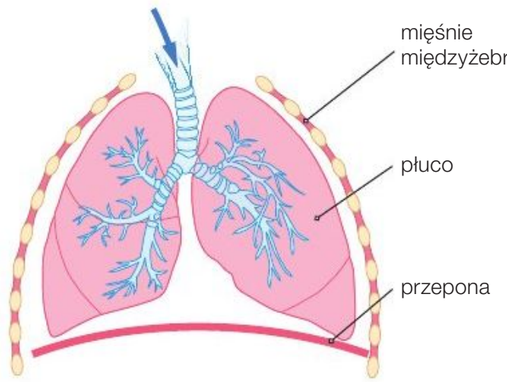
3 Skład powietrza wdychanego i wydychanego

Powietrze	
wdychane	**wydychane**
• tlen – 21% • dwutlenek węgla – 0,04% • azot – 78% • inne – 0,96% (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

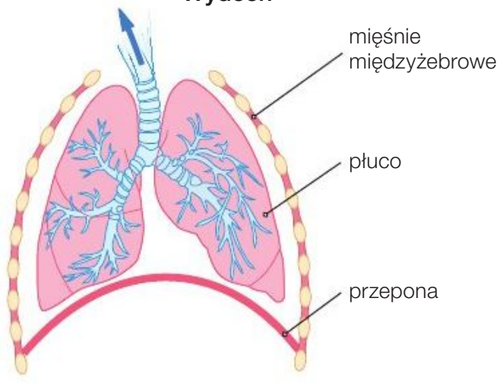
Wentylacja płuc – wymiana powietrza w płucach, zachodząca dzięki rytmicznym wdechom i wydechom.

Wdech



- Mięśnie międzyżebrowe się kurczą.
- Przepona kurczy się i obniża.
- Objętość klatki piersiowej się zwiększa, a ciśnienie w płucach spada poniżej wartości ciśnienia atmosferycznego. Powstająca różnica ciśnień wywołuje napływ powietrza z dróg oddechowych do płuc.

Wydech



- Mięśnie międzyżebrowe się rozluźniają.
- Przepona rozkurcza się i podnosi.
- Objętość klatki piersiowej się zmniejsza, a ciśnienie w płucach rośnie powyżej wartości ciśnienia atmosferycznego. Powstająca różnica ciśnień wywołuje odpływ powietrza z płuc do dróg oddechowych.

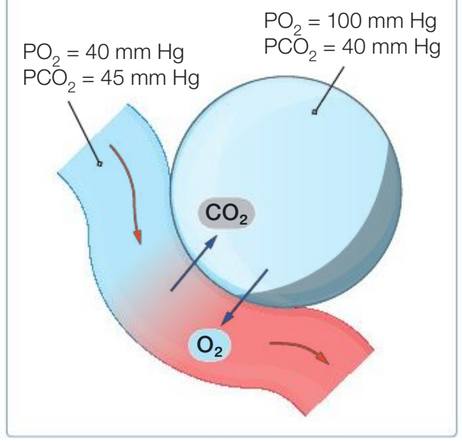
5 Wymiana gazowa

Wymiana gazowa

Dyfuzja tlenu i dwutlenku węgla między wnętrzem organizmu a środowiskiem zewnętrznym.

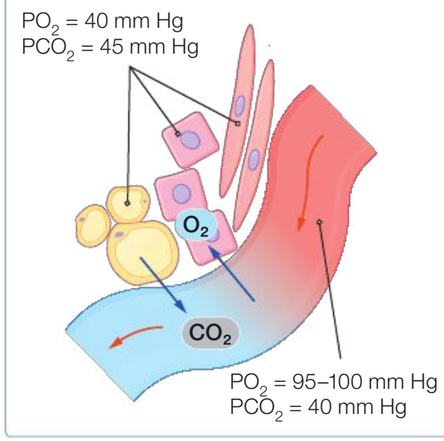
zewnętrzna

Zachodzi **w płucach** między krwią a pęcherzykami płucnymi.

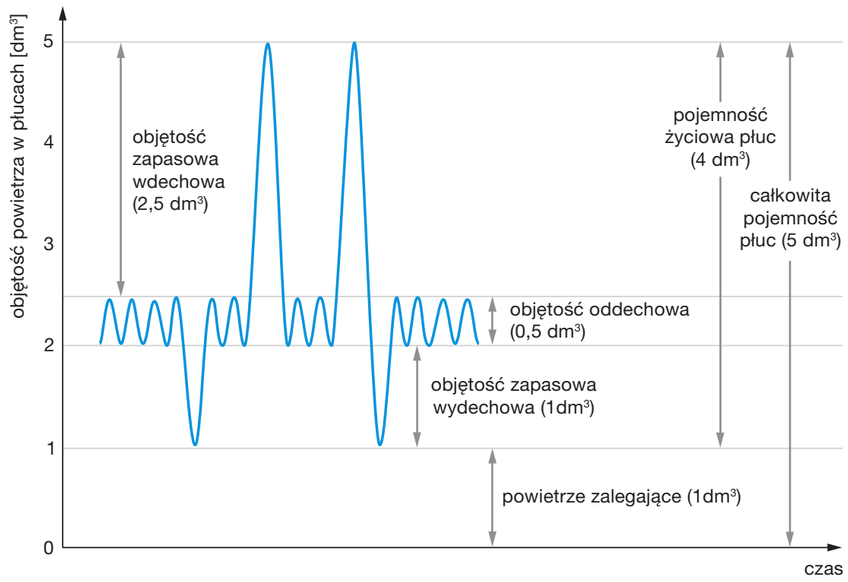


wewnętrzna

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**.	• Ok. 70% CO_2: transportowany jako jony wodorowęglanowe (HCO_3^-) w osoczu (powstają z CO_2 i H_2O dzięki anhydrazie węglanowej). • Ok. 20% CO_2: związany z hemoglobiną w krwinkach czerwonych (karbaminohemoglobina). • Ok. 10% CO_2: transportowany w formie rozpuszczonej fizycznie w osoczu.

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 zwiększają 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 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 tkanki.

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, którego objawami są mdłości, ból i zawroty głowy. Poważniejsze zatrucia prowadzą do utraty przytomności, a nawet do śmierci.

11 Badania diagnostyczne w profilaktyce chorób układu oddechowego to bronchoskopia, spirometria i RTG klatki piersiowej.

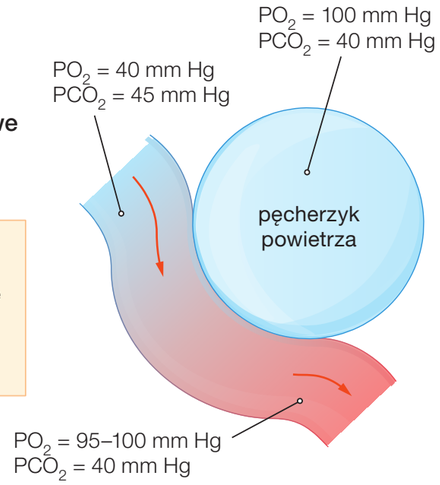
Badania diagnostyczne w profilaktyce chorób układu oddechowego

bronchoskopia	spirometria	RTG klatki piersiowej
Badanie endoskopowe wykonywane za pomocą bronchoskopu – urządzenia składającego się m.in. z giętkiego przewodu wyposażonego w kamerę i źródło światła.	Badanie, 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 powietrza.	Badanie, które polega na prześwietleniu klatki piersiowej kontrolowanymi dawkami promieniowania rentgenowskiego.

Sposób na zadania

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Rysunek przedstawia wymianę gazową zewnętrzną. Czerwone strzałki oznaczają kierunek przepływu krwi w naczyniu włosowatym.



Uzupełnij poniższe zdania tak, aby zawierały prawdziwe informacje dotyczące wymiany gazowej zewnętrznej. Wybierz właściwe określenia spośród podanych.

Wymiana gazowa zachodzi dzięki dyfuzji tlenu i dwutlenku węgla przez błonę komórkową. Dyfuzja zachodzi zgodnie z różnicą ciśnień parcjalnych po obu stronach błony. Przyjrzyj się wartościom ciśnienia parcjalnego przedstawionym na rysunku. Następnie zastanów się, w którym kierunku będzie przebiegać dyfuzja tlenu i dwutlenku węgla.

Podczas wymiany gazowej zewnętrznej tlen dyfunduje z (*pęcherzyków płucnych* / *krwi*) do (*pęcherzyków płucnych* / *krwi*), ponieważ ciśnienie parcjalne tlenu w pęcherzykach płucnych jest (*wyższe* / *niższe*) niż we krwi. Z kolei dwutlenek węgla dyfunduje z (*pęcherzyków płucnych* / *krwi*) do (*pęcherzyków płucnych* / *krwi*), ponieważ ciśnienie parcjalne dwutlenku węgla w pęcherzykach płucnych jest (*wyższe* / *niższe*) niż we krwi.

Rozwiązanie:

Podczas wymiany gazowej zewnętrznej tlen dyfunduje z (*pęcherzyków płucnych* / *krwi*) do (*pęcherzyków płucnych* / *krwi*), ponieważ ciśnienie parcjalne tlenu w pęcherzykach płucnych jest (*wyższe* / *niższe*) niż we krwi. Z kolei dwutlenek węgla dyfunduje z (*pęcherzyków płucnych* / *krwi*) do (*pęcherzyków płucnych* / *krwi*), ponieważ ciśnienie parcjalne dwutlenku węgla w pęcherzykach płucnych jest (*wyższe* / *niższe*) niż we krwi.

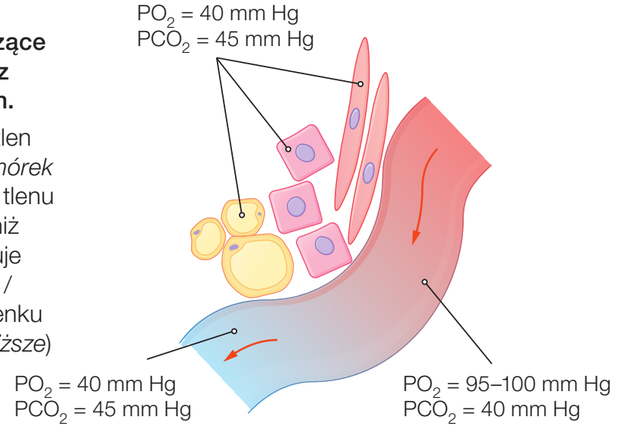
Zadanie analogiczne

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Rysunek przedstawia wymianę gazową wewnętrzną. Czerwone strzałki oznaczają kierunek przepływu krwi w naczyniu włosowatym.

Uzupełnij poniższe zdania tak, aby zawierały prawdziwe informacje dotyczące wymiany gazowej zewnętrznej. Wybierz właściwe określenia spośród podanych.

Podczas wymiany gazowej wewnętrznej tlen dyfunduje z (*komórek ciała* / *krwi*) do (*komórek ciała* / *krwi*), ponieważ ciśnienie parcjalne tlenu w komórkach ciała jest (*wyższe* / *niższe*) niż we krwi. Z kolei dwutlenek węgla dyfunduje z (*komórek ciała* / *krwi*) do (*komórek ciała* / *krwi*), ponieważ ciśnienie parcjalne dwutlenku węgla w komórkach ciała jest (*wyższe* / *niższe*) niż we krwi.



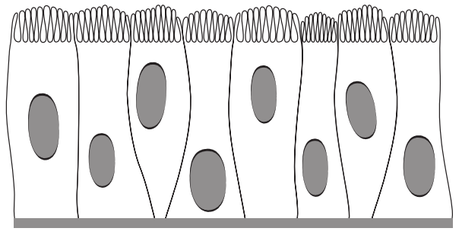
Zadania powtórzeniowe

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Ilustracje przedstawiają dwa typy nabłonków jednowarstwowych (A i B), które występują w układzie oddechowym człowieka.

A.

B.

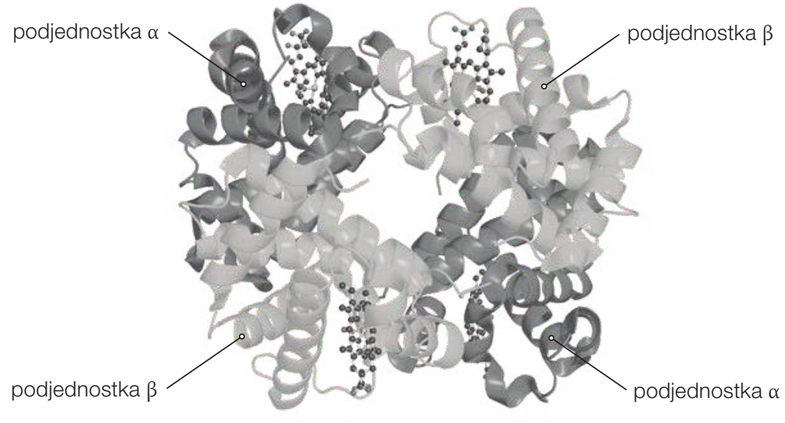


a) Określ, który nabłonek – A czy B – wyścieła tchawicę człowieka. Odpowiedź uzasadnij, uwzględniając nazwę wybranego nabłonka oraz jedną widoczną na ilustracji cechę budowy, która umożliwia mu właściwe pełnienie swojej funkcji.

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 tkanka nabłonkowa – 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 to białko, którego maksymalnym stopniem organizacji jest struktura

A.	drugorzędowa,	ponieważ	1.	jest ono zbudowane z czterech podjednostek białkowych.
B.	trzeciorzędowa,		2.	zawiera ono w cząsteczce łańcuchy polipeptydowe sfałdowane przestrzennie w α-helisę stabilizowaną wiązaniami wodorowymi.
C.	czwartorzędowa,		3.	zawiera ono 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 (*soki owocowe* / *zielone warzywa*).

c) Wyjaśnij, jakie znaczenie dla dostarczania tlenu do organizmu płodu 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 nad poziomem morza są prawdziwe. Wybierz P, jeśli stwierdzenie jest prawdziwe, albo F – jeśli jest fałszywe.

1.	Na dużych wysokościach wzrasta częstość oddechów, ale ich głębokość pozostaje bez zmian.	P	F
2.	We krwi tętniczej osoby przebywającej na dużych wysokościach jest więcej jonów wodorowych niż we krwi tętniczej osoby przebywającej na nizinach.	P	F
3.	Niska temperatura panująca na dużych wysokościach sprzyja wiązaniu tlenu przez hemoglobinę.	P	F

c) Podaj nazwę ośrodka występującego w mózgowiu człowieka, który to ośrodek decyduje o częstości wykonywanych oddechów.

6. Układ krążenia

Fot. Skrzep z widocznymi erytrocytami (obraz spod SEM).

6.1. Układ krążenia u zwierząt

Ważne w tym temacie!

- rodzaje układów krążenia
- związek między budową układu krążenia a jego funkcją u różnych grup zwierząt
- tendencje ewolucyjne w budowie serca kręgowców

Zwierzęta potrzebują do funkcjonowania wydajnego systemu transportu, który odpowiada za zaopatrywanie komórek w substancje odżywcze i tlen oraz za odprowadzanie zbędnych i szkodliwych produktów przemiany materii. U większości zwierząt funkcję tę pełni **układ krążenia**. Jedynie zwierzęta o małych rozmiarach ciała lub wolnym tempie metabolizmu nie mają układu krążenia – transport substancji odbywa się u nich dzięki **dyfuzji**.

Elementy układu krążenia

Na układ krążenia składają się:

- **układ krwionośny** – występuje u większości bezkręgowców i wszystkich kręgowców. Jest zbudowany zwykle z serca oraz systemu naczyń krwionośnych;
- **układ limfatyczny** – występuje tylko u kręgowców. Jest zbudowany z narządów limfatycznych oraz naczyń limfatycznych.

Płyny ustrojowe

Płyny ustrojowe to wodne roztwory różnych substancji występujące u zwierząt. Ich funkcją jest m.in. utrzymywanie homeostazy. Jednym z płynów ustrojowych jest **płyn tkankowy**, który wypełnia przestrzenie między komórkami narządów i pośredniczy w przekazywaniu substancji między komórkami a układem krążenia. Z kolei **krew**, **limfa** oraz **hemolimfa** to płyny ustrojowe, które są nośnikami substancji transportowanych przez układ krążenia.

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.

Parzydełkowce nie mają układu krążenia. Substancje odżywcze są u nich rozprowadzane przez układ chłonno-trawiący.

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 u nich przenoszone za pomocą systemu tchawek.

Płyny układu krążenia

krew	limfa	hemolimfa
• Krąży w zamkniętym układzie krwionośnym. • Występuje u kręgowców i części bezkręgowców.	• Krąży w otwartym układzie limfatycznym. • Występuje u kręgowców.	• Krąży w otwartym układzie krwionośnym. • Występuje u części bezkręgowców.

Funkcje układu krwionośnego

Układ krwionośny pełni w organizmach zwierząt następujące funkcje:

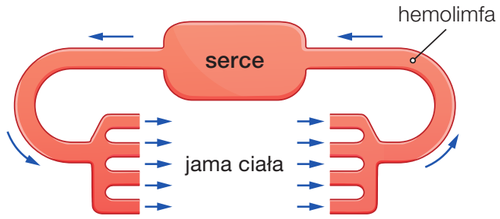
- transportuje substancje, m.in. tlen i dwutlenek węgla, substancje odżywcze, zbędne produkty przemiany materii, hormony,
- bierze udział w reakcjach obronnych,
- u zwierząt zmiennocieplnych transportuje ciepło pochłaniane przez powłoki ciała ze środowiska zewnętrznego do narządów wewnętrznych, co umożliwia 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,
- zapewnia optymalne pH i optymalne stężenie jonów we wszystkich tkankach.

Otwarty i zamknięty układ krwionośny

Wyróżnia się dwa podstawowe typy układu krwionośnego: układ otwarty i układ zamknięty.

Otwarty układ krwionośny

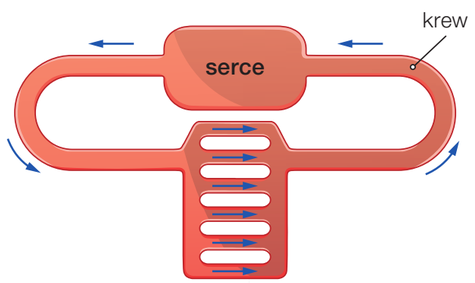
- W **otwartym układzie krwionośnym** hemolimfa płynie tylko częściowo w obrębie naczyń krwionośnych. W wielu miejscach wylewa się ona do jamy ciała, obmywa znajdujące się tam narządy, a następnie powraca do naczyń. Ciśnienie hemolimfy jest zwykle niskie, a jej przepływ – powolny.
- Otwarty układ krwionośny jest charakterystyczny dla bezkręgowców. Występuje m.in. u stawonogów, mięczaków i szkarłupni.



Hemolimfa, która jest tłoczona przez serce (lub tętniące naczynia krwionośne), płynie częściowo systemem naczyń krwionośnych, a częściowo – w obrębie jamy ciała.

Zamknięty układ krwionośny

- 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.
- Zamknięty układ krwionośny jest charakterystyczny dla kręgowców. Wśród bezkręgowców taki układ mają nieliczne zwierzęta, m.in. pierścienice.



Krew, która jest tłoczona przez serce (lub tętniące naczynia krwionośne), płynie wyłącznie zamkniętym systemem naczyń krwionośnych.

Układ krwionośny u bezkręgowców

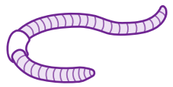
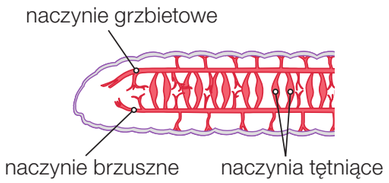
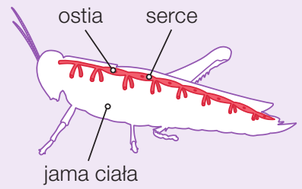
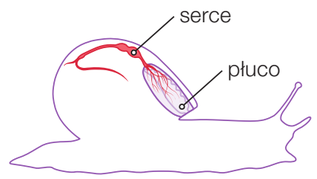
Wiele zwierząt bezkręgowych nie ma układu krwionośnego, np.:

- u parzydełkowców transport substancji odbywa się za pomocą układu pokarmowo-naczyniowego, czyli systemu kanałów jamy gastralnej,
- u płazińców substancje są transportowane w obrębie ciała za pośrednictwem parenchymy oraz (u niektórych gatunków) za pośrednictwem rozgałęzionego jelita,
- u nicieni substancje transportuje płyn wypełniający jamę ciała.

U bezkręgowców występują dwa typy układu krwionośnego. **Zamknięty układ krwionośny** jest charakterystyczny dla pierścienic. Krąży w nim krew. Natomiast **otwarty układ krwionośny** jest typowy dla stawonogów, mięczaków i szkarłupni. Płynąca w nim hemolimfa krąży tym szybciej, im większa jest aktywność metaboliczna zwierzęcia.

U niektórych zwierząt bezkręgowych, np. owadów, układ krwionośny nie uczestniczy w transporcie gazów oddechowych. Funkcję tę pełni rozgałęziony system tchawek układu oddechowego.

Układy krwionośne bezkręgowców

Grupa zwierząt	Typ układu	Opis	Ilustracja
Pierścienice 	zamknięty	• Brak serca, jego funkcję pełnią kurczliwe odcinki niektórych naczyń krwionośnych.	 Układ krwionośny dżdżownicy.
Stawonogi	otwarty	• Serce z ostiami, otoczone workiem osierdziowym.	 Układ krwionośny owadów.
Mięczaki	otwarty	• Serce zbudowane z komory i przedsionków, otoczone workiem osierdziowym. • U głowonogów występują dodatkowe serca skrzelowe i zachodzi silna redukcja zatok jamy ciała.	 Układ krwionośny ślimaków.
Szkarłupnie	otwarty	• Brak serca. • Układ krwionośny (zwany hemalnym) składa się z kanału okrężnego oraz z systemu zatok i kanałów, które rozgałęziają się do pozostałych narządów ciała. • W transporcie substancji uczestniczy również układ wodny.	Układ krwionośny (hemalny) rozgwiazdy.

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:

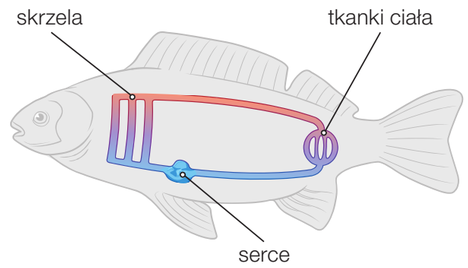
- **tętnice** – odprowadzają krew z serca,
- **żyły** – doprowadzają krew do serca,
- **naczynia włosowate** – najdrobniejsze rozgałęzienia tętnic i żył oplatające tkanki i narządy.

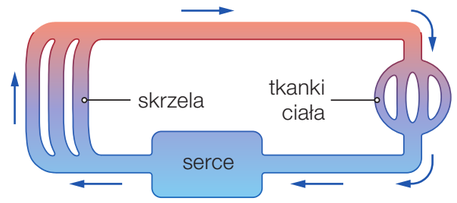
Układy krwionośne ryb, płazów, gadów, ptaków i ssaków wykazują istotne różnice, dotyczące m.in. sposobu krążenia krwi. Kręgowce, u których narządem wymiany gazowej są skrzela (ryby), mają **jeden obieg krwi**. Natomiast kręgowce, u których narządem wymiany gazowej są płuca (płazy, gady, ptaki, ssaki), mają **dwa obiegi krwi**:

- **płucny** (mały) – odpowiada za zaopatrywanie krwi w tlen,
- **ustrojowy** (duży) – dostarcza krew z tlenem do tkanek i narządów ciała.

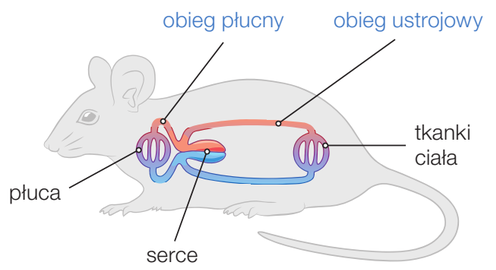
Układy krwionośne: jednoobiegowy i dwuobiegowy

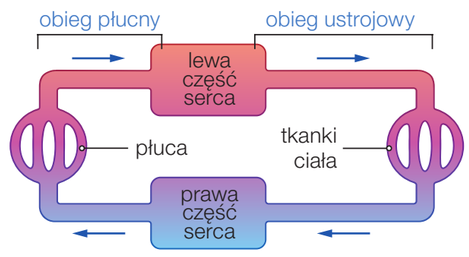
Różnice w budowie układu krwionośnego kręgowców są związane ze środowiskiem życia i z rodzajem narządów wymiany gazowej.





Ryby to kręgowce oddychające skrzelami. Mają 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.





Kręgowce lądowe oddychają płucami. Mają 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.

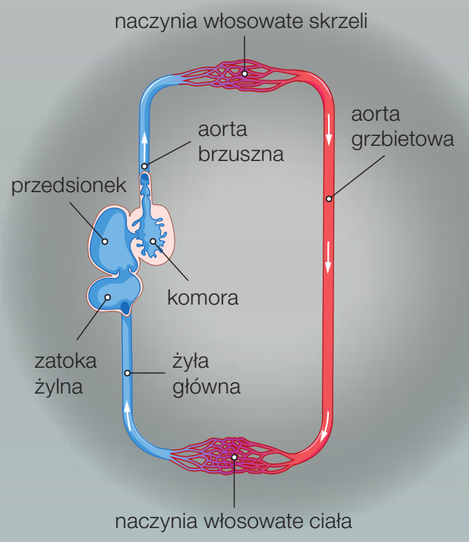
Porównanie budowy układów krwionośnych kręgowców

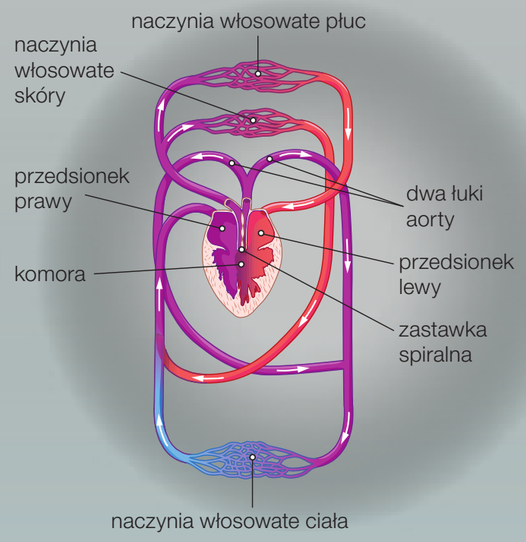
Ryby

- **Serce** ryb składa się z czterech części: z **zatoki żylnej**, **przedsionka**, **komory** i ze **stożka tętniczego**. Między tymi częściami znajdują się zastawki uniemożliwiające cofanie się krwi. Dzięki temu krew płynie w jednym kierunku. Serce ryb (z wyjątkiem ryb dwudysznych) jest wyłącznie żylne, co oznacza, że płynie przez nie krew odtlenowana.
- **Jeden obieg krwi.** 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** i **komory** oraz ze **stożka tętniczego** i z **zatoki żylnej**. W komorze krew utlenowana miesza się częściowo z krwią odtlenowaną, co zmniejsza wydajność wymiany gazowej. Mieszanie się krwi zostaje częściowo ograniczone dzięki temu, że przepływ krwi z przedsionków do komory jest nierównomierny.
- **Dwa obiegi krwi.** Krew z komory przepływa do stożka tętniczego, podzielonego podłużną **zastawką spiralną** na dwa kanały. Jednym kanałem krew utlenowana wpływa do aorty (**obieg obwodowy**), natomiast drugim kanałem krew odtlenowana wpływa do tętnicy płucnej, która prowadzi do płuc oraz skóry (**obieg płucny**).



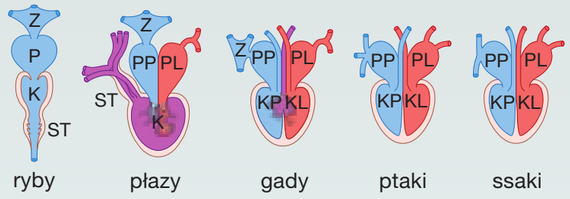


Tendencje ewolucyjne w budowie serca kręgowców

Główną tendencją ewolucyjną w budowie serca kręgowców jest rozdzielenie go na dwie funkcjonalne części:

- część zawierającą krew utlenowaną (tzw. tętniczą),
- część zawierającą krew odtlenowaną (tzw. żylną).

Dzięki temu, że krew utlenowana nie miesza się z krwią odtlenowaną, zwiększa się wydajność wymiany gazowej. To z kolei umożliwia zwiększenie tempa metabolizmu, co jest niezbędne np. do utrzymania stałej temperatury ciała u ptaków i ssaków.



Schematy budowy serca poszczególnych gromad kręgowców.
Z – zatoka żylna, ST – stożek tętniczy, K – komora, KP – komora prawa, KL – komora lewa, P – przedsionek, PP – przedsionek prawy, PL – przedsionek lewy.

Gady

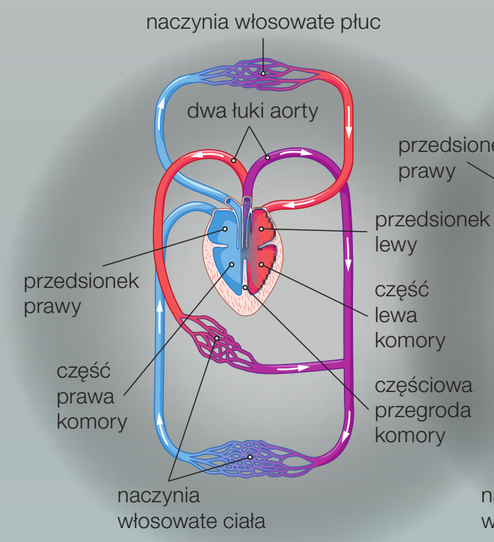
- **Serce** gadów składa się z **dwóch przedsionków** oraz **komory z częściową przegrodą** (wyjątkiem są krokodyle, u których występuje całkowita przegroda). Przegroda ogranicza mieszanie się krwi utlenowanej z krwią utlenowaną, a tym samym – zwiększa wydajność wymiany gazowej.
- **Dwa obiegi krwi:** obwodowy i płucny.

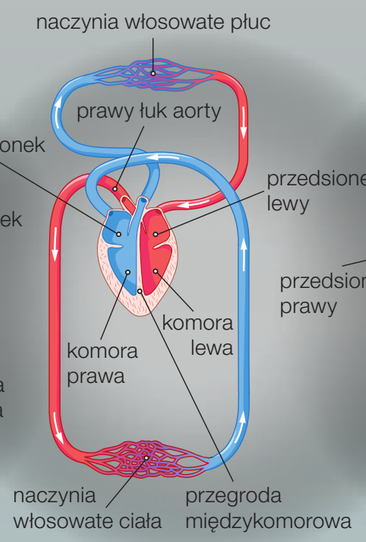
Ptaki

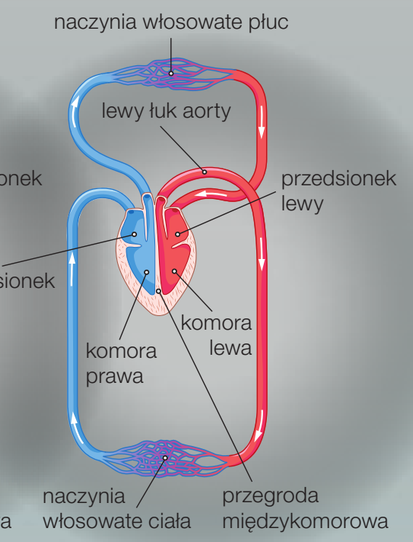
- **Serce** ptaków składa się z **dwóch przedsionków** oraz **dwóch komór rozdzielonych całkowitą przegrodą międzykomorową**. Dzięki takiej budowie krew odtlenowana nie miesza się z krwią utlenowaną, co powoduje bardzo dużą wydajność wymiany gazowej, a w rezultacie – wysokie tempo metabolizmu i stałocieplność.
- **Dwa obiegi krwi:** obwodowy i płucny. U ptaków funkcjonuje tylko prawy łuk aorty.

Ssaki

- **Serce** ssaków, składa się z **dwóch przedsionków** oraz **dwóch komór z całkowitą przegrodą**, 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.
- **Dwa obiegi krwi:** obwodowy i płucny. U ssaków funkcjonuje tylko lewy łuk aorty.







Polecenia kontrolne

1. Podaj funkcje układu krwionośnego.
2. Podaj różnice między krwią a hemolimfą.
3. Podaj funkcję barwników oddechowych.
4. Skonstruuj tabelę, w której porównasz otwarty układ krwionośny z zamkniętym układem krwionośnym pod względem dwóch wybranych cech.
5. Omów różnice w budowie układu krwionośnego u różnych gromad kręgowców.
6. Opisz korzyści wynikające z obecności całkowitej przegrody międzykomorowej w sercu ptaków i ssaków.
7. Porównaj budowę serca u poszczególnych gromad kręgowców.
8. Wyjaśnij, jaką funkcję w sercu płazów pełni zastawka spiralna.

6.2. Skład i funkcje krwi

Ważne w tym temacie!

- skład i funkcje krwi
- znaczenie krzepnięcia krwi dla zachowania homeostazy organizmu

Krew jest tkanką łączną płynną, która u człowieka krąży w zamkniętym systemie naczyń krwionośnych.

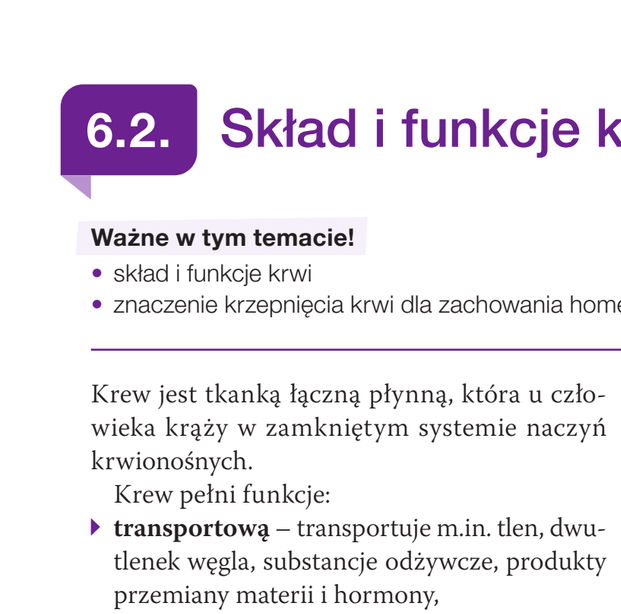
Krew pełni funkcje:

- **transportową** – transportuje m.in. tlen, dwutlenek węgla, substancje odżywcze, produkty przemiany materii i hormony,
- **regulacyjną** – utrzymuje odpowiedni poziom uwodnienia organizmu, optymalne pH i stałą temperaturę ciała,
- **obronną** – bierze udział w reakcjach odpornościowych organizmu.

Całkowita objętość krwi w organizmie dorosłej osoby wynosi ok. 5,5 dm^3.

Charakterystyka składników krwi

Krew składa się ze składników komórkowych, zwanych **elementami morfotycznymi**, oraz z substancji międzykomórkowej, którą stanowi **osocze**.



ERYTROCYTY
Erytrocyty są najliczniejsze wśród elementów morfotycznych krwi. Ich funkcją jest transport tlenu i częściowo dwutlenku węgla. Żyją ok. 120 dni.

OSOCZE
Osocze stanowi ok. 55% objętości krwi. Składa się głównie z wody (ok. 90%) oraz ze związków nieorganicznych (ok. 1%), m.in. kationów sodu, anionów chlorkowych i anionów wodorowęglanowych, które są ważne w utrzymywaniu ciśnienia osmotycznego i pH krwi. Około 9% osocza to związki organiczne – przede wszystkim białka (albuminy, globuliny – w tym przeciwciała, fibrynogen), a także m.in. glukoza, aminokwasy, witaminy, hormony i produkty przemiany materii (np. mocznik).

ELEMENTY MORFOTYCZNE
Elementy morfotyczne stanowią ok. 45% objętości krwi. Należą do nich erytrocyty (krwinki czerwone), leukocyty (krwinki białe) oraz płytki krwi (trombocyty).

PŁYTKI KRWI
Płytki krwi biorą udział w procesie krzepnięcia krwi. Nie są one komórkami, lecz otoczonymi błoną fragmentami cytoplazmy megakariocytów – dużych komórek występujących w szpiku kostnym. Żyją znacznie krócej niż erytrocyty (ok. 8–10 dni).

Powstawanie elementów krwi

Wszystkie elementy morfotyczne krwi powstają w czerwonym szpiku kostnym. Z kolei osocze krwi jest wodnym roztworem różnych substancji organicznych i nieorganicznych. Część z nich jest wchłaniana z przewodu pokarmowego, a część jest wytwarzana przez różne narządy ciała, np. wątrobę i gruczoły dokrewne.

Przystosowane erytrocytów do transportu gazów oddechowych

Transport gazów oddechowych jest możliwy dzięki **hemoglobinie** – barwnikowi znajdującemu się w erytrocytach, który stanowi 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 erytrocytów powoduje także, że komórki te łatwo się odkształcają, co umożliwia im przemieszczanie się przez naczynia włosowate o bardzo małej średnicy.

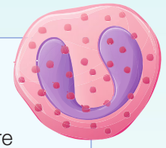
Dojrzałe erytrocyty nie mają również mitochondriów, nie zużywają więc tlenu na własne potrzeby metaboliczne, a energię uzyskują z fermentacji mleczanowej.

LEUKOCYTY
Leukocyty biorą udział w reakcjach odpornościowych organizmu. Krwinki te są większe od erytrocytów, zawierają jądra komórkowe i mogą się aktywnie poruszać ruchem pełzakowatym. Część z nich ma właściwości żerne – oznacza to, że leukocyty fagocytują, czyli pochłaniają cząstki stałe, np. bakterie. W zależności od rodzaju leukocyty żyją od kilkudziesięciu godzin do ponad 10 lat.

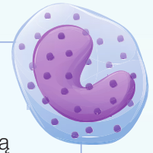
Granulocyty to leukocyty z ziarnistościami w cytoplazmie. Dzieli się je ze względu na różne reakcje ziarnistości z barwnikami.

Neutrofile (obojętnochłonne) mają właściwości żerne: niszczą drobnoustroje na drodze fagocytozy i wytwarzają substancje bakteriobójcze. Biorą udział w reakcjach zapalnych.

Eozynofile (kwasochłonne) mają właściwości żerne, niszczą bakterie, wirusy i niektóre pasożyty. Regulują też przebieg reakcji alergicznych.

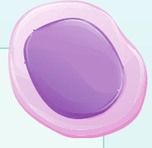


Bazofile (zasadochłonne) mają właściwości żerne. Uczestniczą w reakcjach alergicznych i zapalnych.

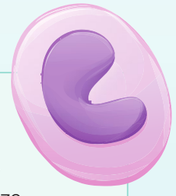


Agranulocyty to leukocyty bez ziarnistości.

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 między tkankami. Przekształcają się w makrofagi, które mają właściwości żerne – niszczą na drodze fagocytozy bakterie, wirusy, a także uszkodzone komórki.



Znaczenie krzepnięcia krwi dla zachowania homeostazy organizmu

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 krwionośnego 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

Zaburzenia procesu krzepnięcia krwi są przyczyną chorób określanych mianem skaz krwotocznych. Do najbardziej znanych skaz należy **hemofilia**, która jest chorobą dziedziczną.

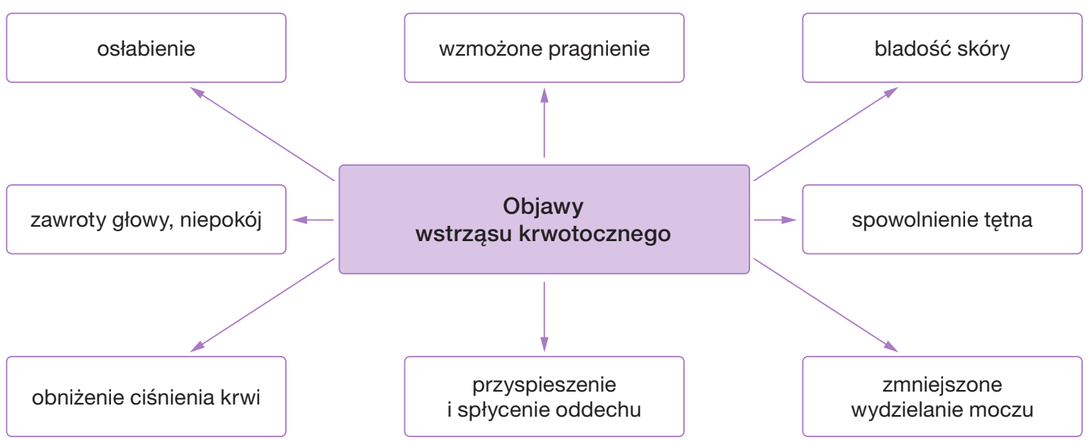
Innym zjawiskiem patologicznym, niezwykle niebezpiecznym dla życia, jest krzepnięcie krwi wewnątrz naczyń krwionośnych. Zaczopowanie naczynia przez tzw. **zakrzep** prowadzi do martwicy tkanek pozbawionych stałego dopływu krwi. Zakrzepy mogą być także przyczyną wzrostu ciśnienia krwi w naczyniu, co w 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**.

Krwotoki

Ogólna ilość krwi w organizmie człowieka jest wielkością stałą (wynosi ok. 5,5 dm^3 u dorosłego człowieka) 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, wylewa się do jamy ciała (krwotok wewnętrzny) lub na zewnątrz (krwotok zewnętrzny).

Utrata 30% lub większej ilości krwi wywołuje groźne dla życia następstwa. Jednym z nich jest **wstrząs krwotoczny**. Polega on na tym, że 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**.

Przykładowe objawy wstrząsu krwotocznego



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 (→ s. 259).

Antygeny powierzchniowe krwinek czerwonych warunkują układy grupowe krwi. Obecnie znanych jest ok. 30 takich układów, m.in. układy Rh oraz AB0 (ABO).

Układ grupowy Rh

W skład układu grupowego Rh wchodzi kilkadziesiąt antygenów o budowie białkowej. Najważniejszy z nich to **antygen D**.

Ze względu na obecność tego antygenu wyróżnia się:

- **grupę krwi Rh+** – antygen D jest obecny w błonach erytrocytów,
- **grupę krwi Rh–** – antygen D nie jest obecny. Ta grupa krwi występuje w Polsce jedynie u ok. 15% ludzi.

Układ grupowy AB0 (ABO)

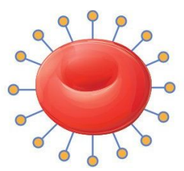
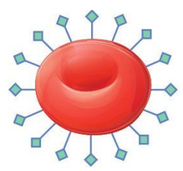
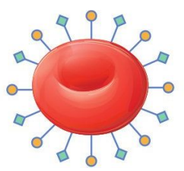
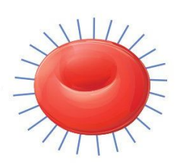
W skład układu grupowego AB0 wchodzą glikoproteiny i glikolipidy błonowe. Ich funkcjonalną częścią są łańcuchy cukrowe o różnej budowie.

W zależności od struktury łańcucha cukrowego wyróżnia się trzy antygeny: A, B oraz H (→ s. 216). Grupa krwi zależy od obecności na powierzchni erytrocytów odpowiedniego układu tych antygenów. W osoczu krwi występują natomiast przeciwciała (izoaglutyniny) skierowane przeciw określonym antygenom.

Na tej podstawie wyróżnia się cztery grupy krwi:

- **grupa A** – ma tylko antygeny A lub antygeny A i H; w osoczu występują przeciwciała skierowane przeciwko antygenom B (anty-B),
- **grupa B** – ma antygeny B lub antygeny B i H; w osoczu występują przeciwciała skierowane przeciwko antygenom A (anty-A),
- **grupa AB** – ma antygeny A i B; w osoczu nie występują przeciwciała anty-A i anty-B,
- **grupa 0 (grupa krwi O)** – zawiera tylko antygeny H; w osoczu występują przeciwciała anty-A i anty-B.

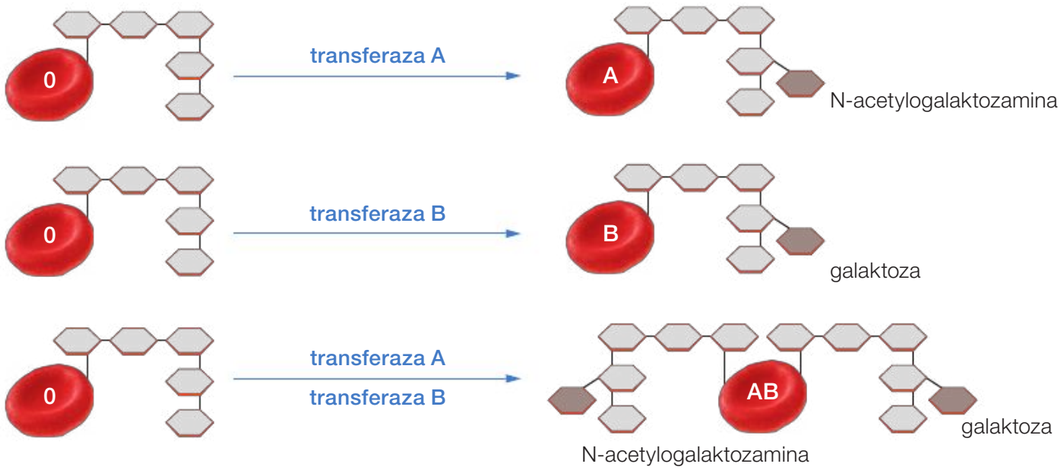
Przeciwciała i antygeny w grupach krwi A, B, AB, 0

	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

Dowiedz się więcej

Antygen H

Antygen H jest cząsteczką prekursorową do syntezy antygenów A i B. W syntezie tej uczestniczą dwa enzymy. Jeden z nich – transferaza A – przenosi na antygen H cząsteczkę N-acetylogalaktozaminy. 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.



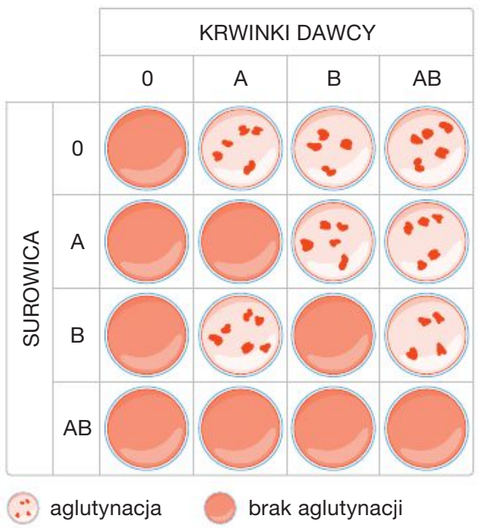
Transfuzje krwi – dawcy i biorcy

Kontakt krwinek zawierających określony antygen (np. A) ze skierowanymi przeciwko niemu przeciwciałami (w tym przypadku anty-A) powoduje **aglutynację** (zlepianie się) erytrocytów, co w konsekwencji prowadzi do poważnych zaburzeń i zagrożenia życia. Oznacza to, że we krwi jednego człowieka nie mogą znajdować się jednocześnie antygen i skierowane przeciwko niemu przeciwciało.

Aby ustalić, czy nie ma przeciwwskazań do przetaczania krwi między dawcą a biorcą, wykonuje się próbę krzyżową (próbę zgodności serologicznej biorcy i dawcy krwi). Polega ona na zmieszaniu krwinek dawcy z surowicą biorcy. Jeżeli dojdzie do aglutynacji, to nie można przetoczyć krwi. Dlatego w praktyce klinicznej przetacza się tę samą grupę krwi, gdyż taka metoda jest najbezpieczniejsza.

Dawcy i biorcy dla grup krwi układu AB0

Grupa krwi	A	B	AB	0
Grupy krwi dawców	A, 0	B,0	A, B, AB, 0	0
Grupy krwi biorców	A, AB	B, AB	AB	A, B, AB, 0



W oznaczaniu grup krwi stosuje się test aglutynacji.

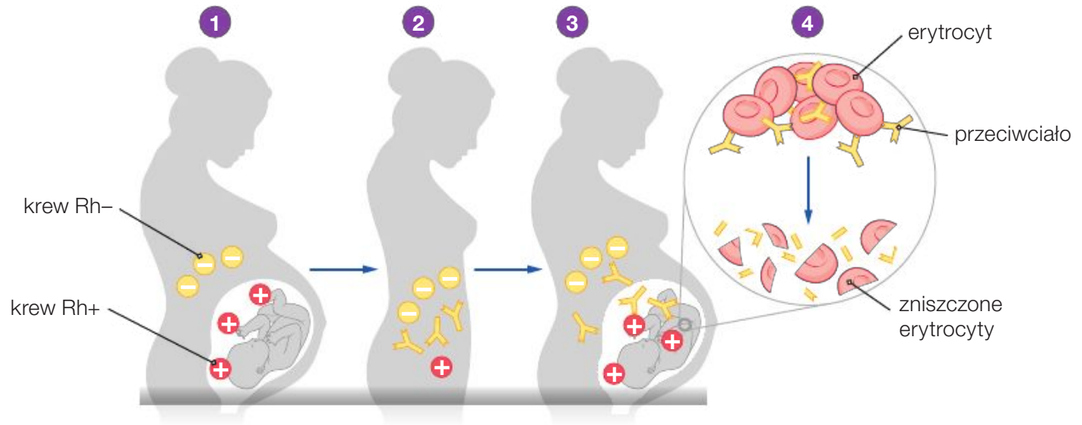
Konflikt serologiczny w zakresie Rh

Konflikt serologiczny w zakresie Rh występuje wtedy, gdy matka ma grupę Rh–, a dziecko odziedziczyło po ojcu grupę krwi Rh+. W takiej sytuacji przeciwciała matki mogą niszczyć erytrocyty płodu. 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. Jednak 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. po porodzie podaje się przeciwciała anty-RhD. Przeciwciała anty-RhD wiążą krwinki płodu i przyspieszają elimanację antygenów z krwiobiegu matki, zanim jej organizm zacznie wytwarzać własne przeciwciała.

Konflikt serologiczny w zakresie Rh

Konflikt serologiczny w zakresie Rh występuje wtedy, 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. Zachodzą aglutynacja i zniszczenie krwinek dziecka.

Polecenia kontrolne

1. Omów skład krwi oraz rolę poszczególnych elementów morfotycznych krwi.
2. Przedstaw związek budowy erytrocytów z ich funkcją.
3. Opisz, w jaki sposób można określić, czy między dawcą krwi a biorcą występuje zgodność grup krwi.
4. Wyjaśnij, w jaki sposób dochodzi do konfliktu serologicznego w zakresie Rh.

6.3. Budowa i funkcje układu krwionośnego

Ważne w tym temacie!

- funkcje układu krwionośnego
- budowa i praca serca
- związek między budową a funkcją poszczególnych rodzajów naczyń krwionośnych
- sieci naczyń włosowatych

Układ krążenia zaopatruje tkanki, narządy i układy narządów w tlen oraz w substancje odżywcze, a odprowadza z nich zbędne lub szkodliwe produkty przemiany materii. U człowieka na układ krążenia składają się **układ krwionośny** oraz **układ limfatyczny**.

Układ krwionośny

Do układu krwionośnego należą:

- **czterojamowe serce**, zbudowane z dwóch przedsionków i dwóch komór,
- **zamknięty system naczyń krwionośnych**, w których krąży krew.

Serce

Dzięki pracy serca krew nieustanne krąży po całym organizmie.

Skurcze serca tłoczą krew z komór do dużych naczyń tętniczych. Z dużych naczyń tętniczych krew systemem coraz drobniejszych tętnic dociera do naczyń włosowatych zlokalizowanych w tkankach i narządach całego ciała. Z tkanek i narządów ciała krew jest zbierana przez drobne naczynia żylne, którymi dostaje się do coraz większych żył, by ostatecznie powrócić do przedsionków serca, a z nich – do komór.

Główne funkcje układu krwionośnego człowieka

Funkcje układu krwionośnego

Funkcja transportowa
- Krew transportuje tlen z płuc i substancje odżywcze z układu pokarmowego do wszystkich komórek ciała.
- Układ krwionośny dostarcza produkty metabolizmu (np. dwutlenek węgla i mocznik) z komórek do narządów, które wydalają te produkty (np. do płuc lub nerek).
- Krew dostarcza hormony z gruczołów dokrewnych do komórek docelowych.

Funkcja obronna – zwalczanie infekcji
- Krew dostarcza do odpowiednich miejsc substancje i komórki odpowiedzialne za zwalczanie infekcji (np. przeciwciała i leukocyty).

Zapewnienie homeostazy
- Układ krwionośny stabilizuje parametry fizjologiczne, takie jak pH, poziom uwodnienia organizmu i temperatura ciała.
- Krew zawiera składniki, które umożliwiają naprawianie uszkodzonych naczyń krwionośnych. Dzięki temu organizm nie traci krwi.

Budowa układu krwionośnego

Układ krwionośny składa się z serca oraz zamkniętej sieci naczyń krwionośnych – tętnic, żył i naczyń włosowatych.

Elementy układu krwionośnego

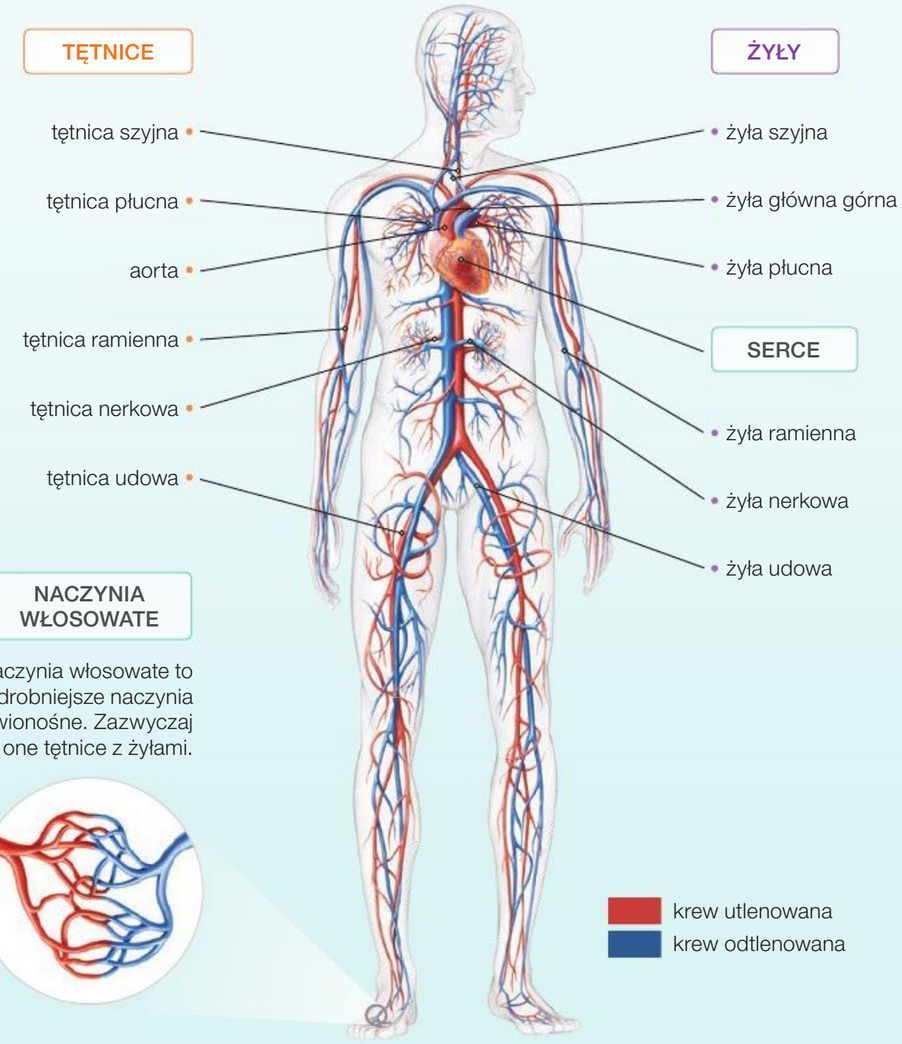
serce
Składa się z dwóch przedsionków i dwóch komór.
PP LP PK LK

naczynia krwionośne
Tworzą zamknięty układ, w którym krąży krew.

tętnice
Transportują krew z serca.

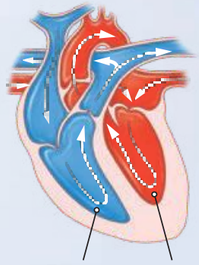
żyły
Transportują krew do serca.

naczynia włosowate
Umożliwiają wymianę substancji między krwią a tkankami.



BUDOWA I PRACA SERCA

Serce składa się z dwóch przedsionków i z dwóch komór rozdzielonych przegrodą. Przegroda dzieli serce na część prawą i część lewą. Ściany serca są zbudowane głównie z tkanki mięśniowej poprzecznie prążkowanej serca. Z zewnątrz serce jest pokryte łącznotkankowym workiem, tzw. **osierdziem**.

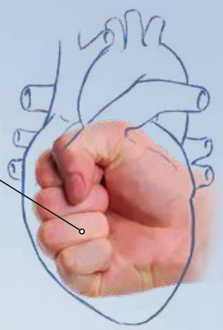


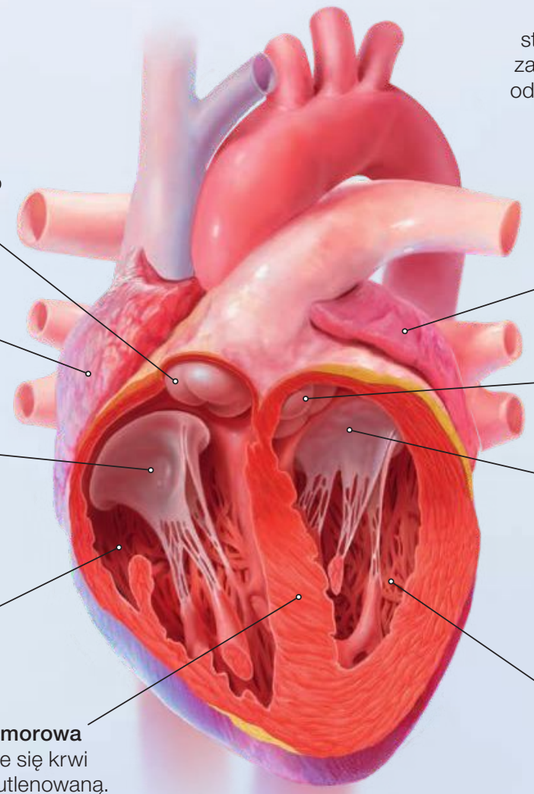
Prawa strona serca zawiera krew odtlenowaną.

Lewa strona serca zawiera krew utlenowaną.

Serce znajduje się w klatce piersiowej pomiędzy płucami.

Serce dorosłego człowieka ma wielkość pięści.





zastawka pnia płucnego

Przedsionek prawy tłoczy krew do prawej komory serca.

Przedsionek lewy tłoczy krew do lewej komory serca.

zastawka aorty

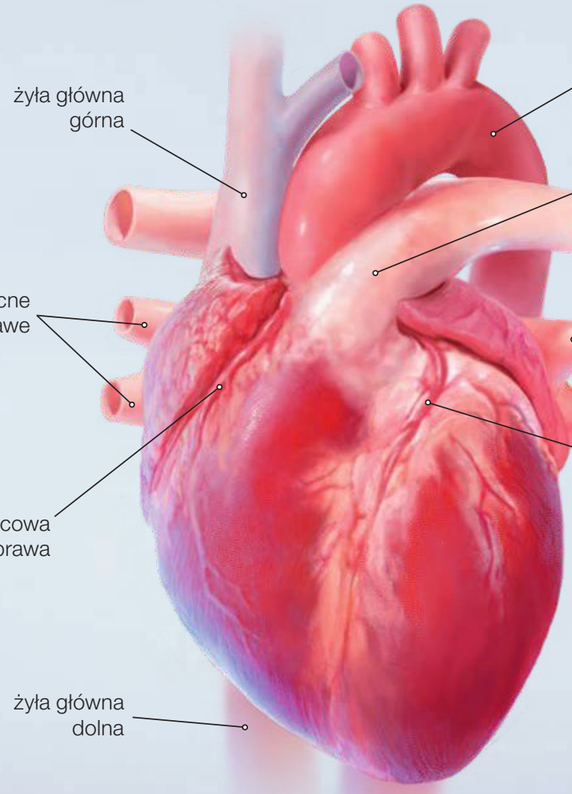
zastawka trójdzielna (przedsionkowo-komorowa prawa)

zastawka dwudzielna (przedsionkowo-komorowa lewa)

Komora prawa tłoczy krew do pnia płucnego.

Komora lewa tłoczy krew do aorty.

Przegroda międzykomorowa uniemożliwia mieszanie się krwi odtlenowanej z krwią utlenowaną.



żyła główna górna

aorta

pień płucny

żyły płucne prawe

żyły płucne lewe

tętnica wieńcowa prawa

tętnica wieńcowa lewa

żyła główna dolna

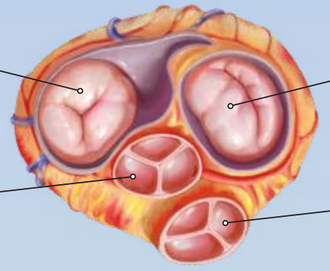
Naczynia wieńcowe to sieć naczyń krwionośnych, które oplatają serce. Ich zadanie to dostarczanie do serca krwi bogatej w substancje odżywcze i tlen (co jest niezbędne do uzyskiwania energii), a także usuwanie produktów metabolizmu.

Zastawki

Zastawki znajdują się między przedsionkami a komorami serca oraz na pograniczu komór i wychodzących z nich tętnic. W rytmicznie kurczącym się sercu zastawki warunkują jednokierunkowy przepływ krwi: z przedsionków do komór, a następnie z komór 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.

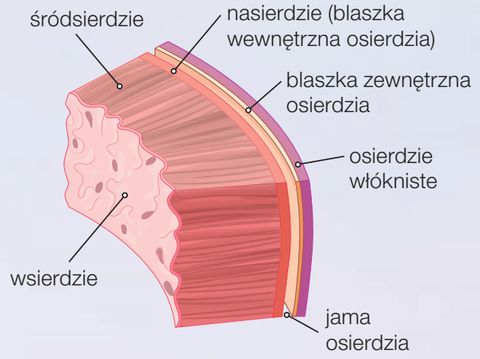
Dowiedz się więcej

Ściana serca

Ściana serca jest zbudowana z trzech warstw:

- zewnętrzna warstwa (nasierdzie) to łącznotkankowa błona,
- środkowa warstwa to mięśnie poprzecznie prążkowane serca (śródsierdzie),
- wewnętrzna warstwa (wsierdzie) to łącznotkankowa błona pokryta śródbłonkiem.

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.



śródsierdzie

nasierdzie (blaszka wewnętrzna osierdzia)

blaszka zewnętrzna osierdzia

osierdzie włókniste

wsierdzie

jama osierdzia

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.

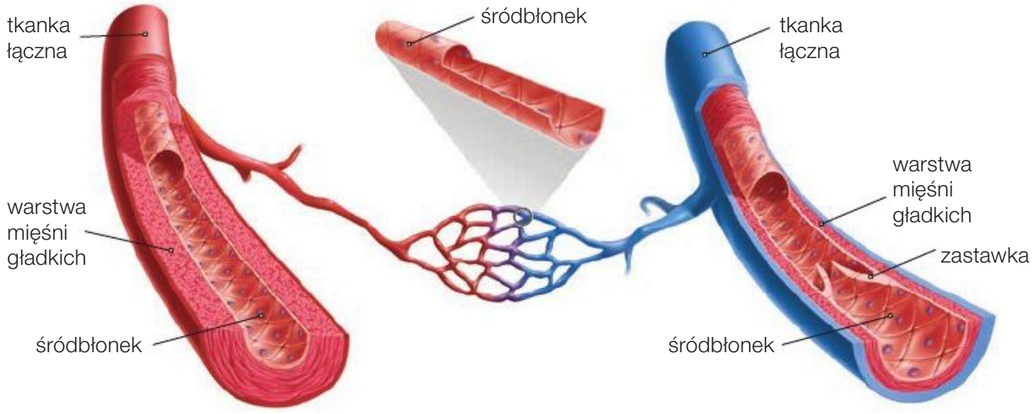
Tętnice rozprowadzają krew z serca do wszystkich tkanek ciała. Ściany tętnic są mocne i elastyczne, ponieważ płynie przez nie krew pod wysokim ciśnieniem[2].

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 i funkcje 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 umożliwia wymianę substancji. Ich średnica jest bardzo mała.

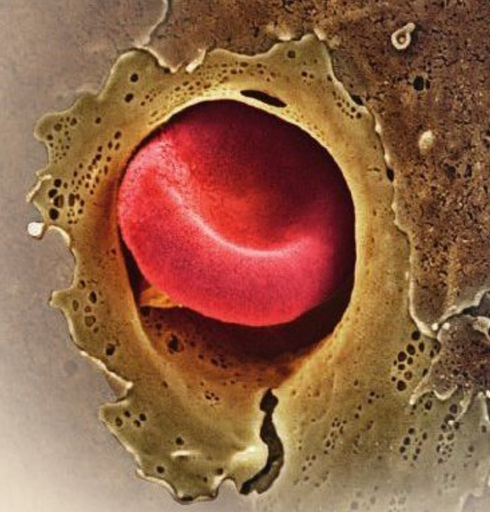
Żyły transportują krew powracającą z tkanek do serca. Ma ona niskie ciśnienie, dlatego ściany żył są wiotkie i zawierają cienką warstwę mięśni. Wewnątrz żył znajdują się zastawki, które uniemożliwiają cofanie się krwi. Przekrój tych naczyń jest owalny.

[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

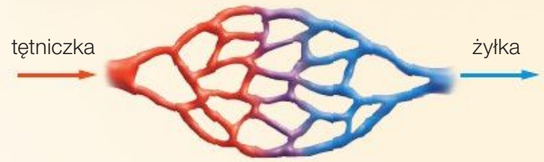
Naczynia włosowate – w zależności od sposobu połączenia z innymi rodzajami naczyń krwionośnych – mogą tworzyć kilka rodzajów sieci.



Naczynie włosowate z erytrocytem wewnątrz (obraz spod SEM).

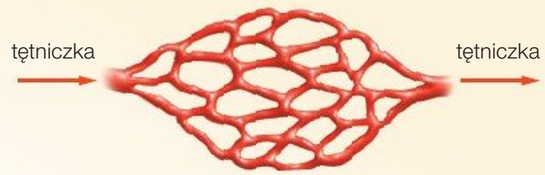
Typowa sieć naczyń włosowatych

Jest to najczęstszy rodzaj połączenia. Naczynia włosowate tej sieci występują między tętniczkami a żyłkami.



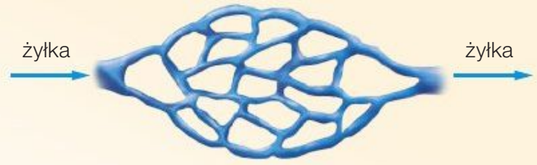
Sieć dziwna tętniczo-tętnicza

Występuje w niektórych narządach, np. w nerkach. Naczyniami doprowadzającymi i odprowadzającymi tej sieci są tętniczki.



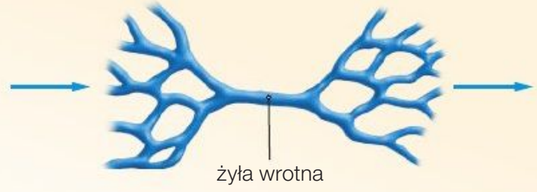
Sieć dziwna żylno-żylna

Występuje w niektórych narządach, np. w przysadce. 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.

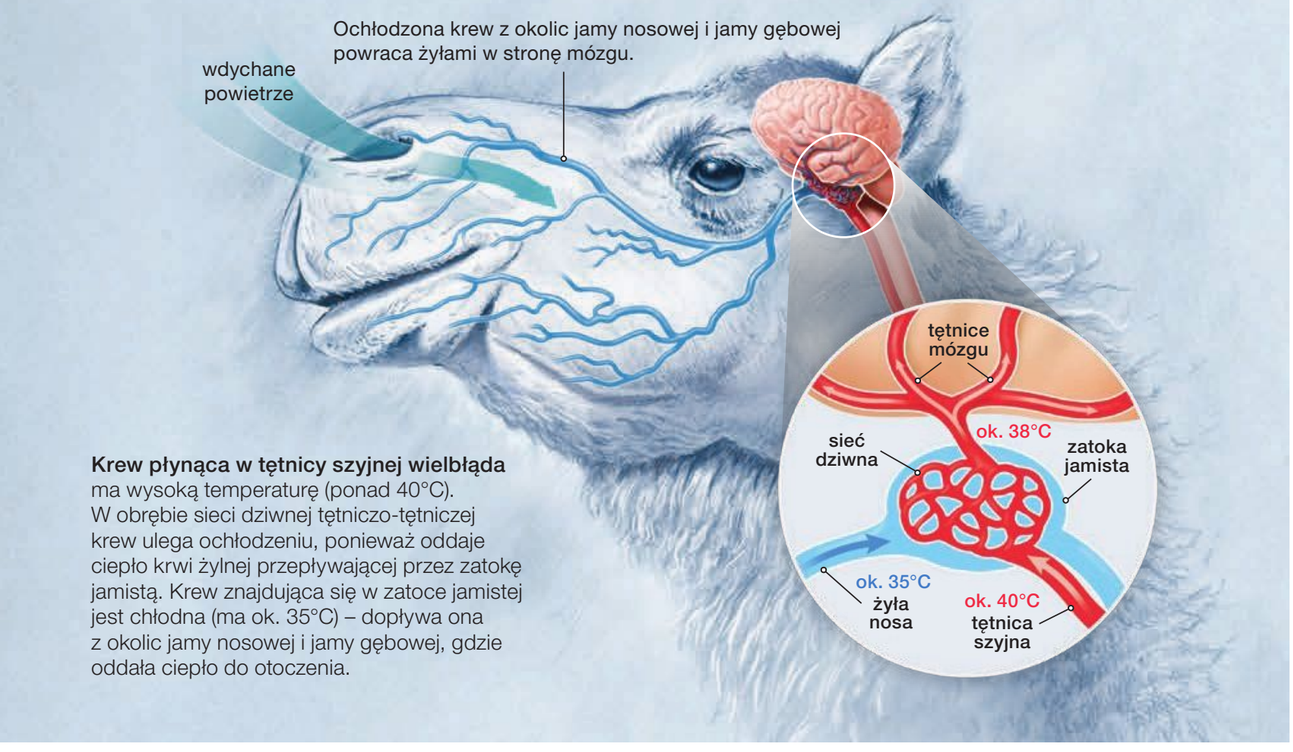


Dowiedz się więcej

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. Jej główną funkcją jest ochrona przed przegrzaniem. Sieć ta powstaje 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 wielbłąda ma wysoką temperaturę (ponad 40°C). W obrębie sieci dziwnej tętniczo-tętniczej krew ulega ochłodzeniu, 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. Przedstaw rolę serca w funkcjonowaniu układu krwionośnego.
2. Porównaj budowę tętnic z budową żył. Wyjaśnij, z czego wynikają różnice w ich budowie.
3. Podaj funkcje żył, tętnic i naczyń włosowatych.
4. Przedstaw związek budowy naczyń włosowatych z pełnioną przez nie funkcją.
5. Scharakteryzuj typy sieci naczyń włosowatych występujących w organizmie człowieka.

6.4. Funkcjonowanie układu krwionośnego

Ważne w tym temacie!

- 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 zapewnia napęd, tętnice i żyły pełnią 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 krążenie krwi w 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 krew 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 bodźcoprzewodzący serca

Serce wyizolowane z organizmu i następnie 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 bodźcoprzewodzący serca. Ośrodki automatyzmu serca są zbudowane ze specjalnie zmodyfikowanych włókien mięśniowych, które mają zdolność generowania i przewodzenia impulsów elektrycznych niezależnie od pobudzenia nerwowego.

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.

Zatrzymanie akcji serca

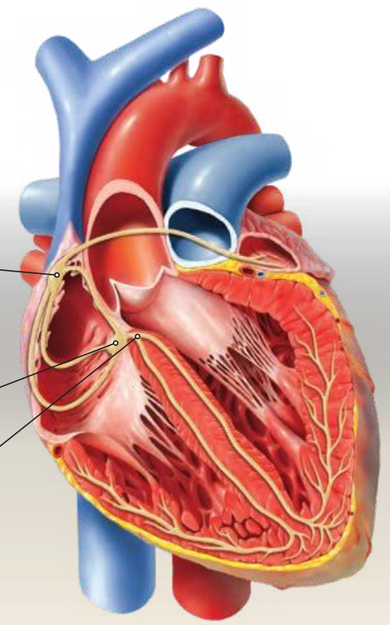
Jeśli dojdzie do nagłego zatrzymania akcji zdrowego serca, to często można ją wznowić. Jest to możliwe dzięki wykonaniu zewnętrznego masażu mięśnia sercowego. Pomocy należy jednak udzielić w ciągu pięciu minut od chwili ustania pracy serca, czyli zanim dojdzie do nieodwracalnych zmian w mózgu. W przypadku uszkodzenia lub zaburzeń pracy ośrodków automatyzmu wszczepia się sztuczny rozrusznik serca. Rozrusznik to elektroniczne urządzenie, które umieszcza się pod skórą klatki piersiowej.

Umiejętność udzielania pierwszej pomocy, np. z użyciem defibrylatora, należy wcześniej przećwiczyć.

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.

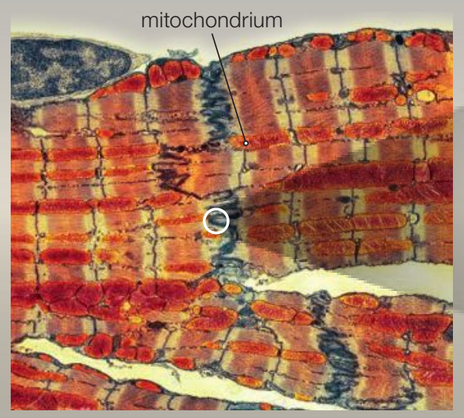
1. **Węzeł zatokowo-przedsionkowy** jest nazywany naturalnym rozrusznikiem serca. Inicjuje on pracę serca przez pobudzanie do skurczu komórek mięśniowych przedsionków serca. Następnie pobudzenie jest przekazywane do węzła przedsionkowo-komorowego.
2. **Węzeł przedsionkowo-komorowy** przekazuje pobudzenie do pęczka przedsionkowo-komorowego.
3. **Pęczek przedsionkowo-komorowy** rozdziela się na dwie odnogi, które przenoszą pobudzenie do komór serca i wyzwalają ich skurcz.



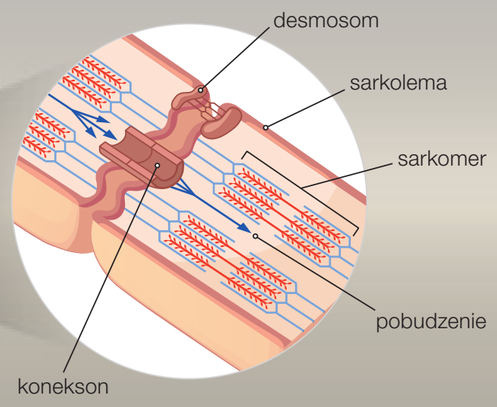
Budowa układu bodźcoprzewodzącego serca.

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 **połączenia szczelinowe**, które łączą cytoplazmy sąsiadujących komórek. Połączenia te są zbudowane z kompleksów białkowych, tzw. koneksonów. Połączenia szczelinowe 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:

- **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

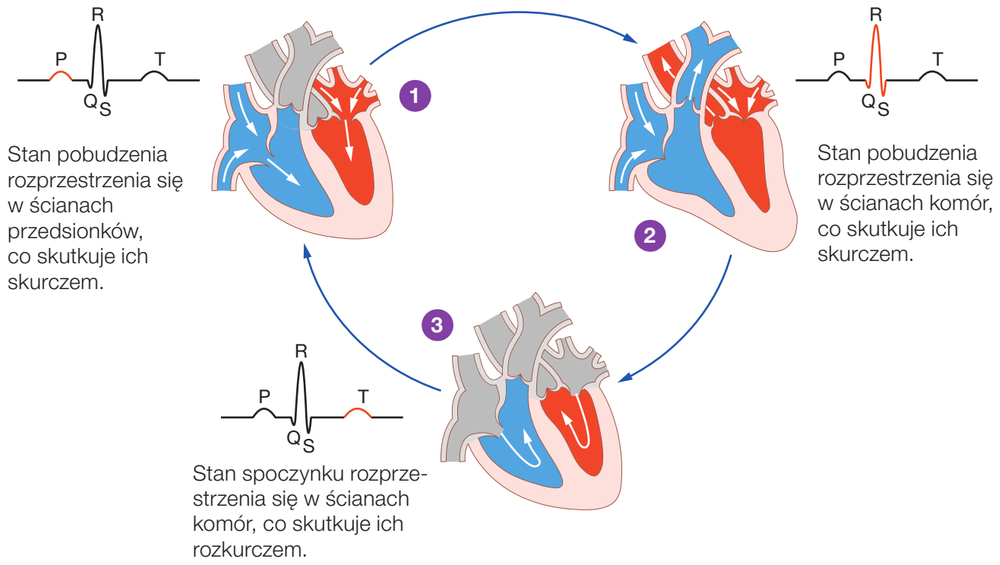
Ruch krwi w układzie krążenia jest uwarunkowany **gradientem ciśnień**, czyli różnicą między ciśnieniem panującym w tętnicach a ciśnieniem panującym w żyłach. Gradient ciśnień powstaje wtedy, gdy krew z komór serca jest wtłaczana do aorty i pnia płucnego. Prędkość przepływu krwi jest wprost proporcjonalna do gradientu ciśnienia i odwrotnie proporcjonalna do oporu naczynia krwionośnego.

Czynniki, od których zależy opór naczynia krwionośnego

Czynnik	Charakterystyka
Średnica 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, a 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 przepływ krwi przez poszczególne narządy. Jest to możliwe, ponieważ ściany naczyń są zbudowane z mięśni gładkich, które zwężają lub rozszerzają światło naczyń w zależności od aktualnych potrzeb organizmu.
Rozgałęzienia naczynia	• Nieliczne rozgałęzienia o małym kącie zwiększają prędkość przepływu krwi. Z kolei liczne rozgałęzienia o dużym kącie zmniejszają prędkość przepływu krwi. • Duży kąt rozgałęzień występuje w małych tętnicach i tętniczkach sąsiadujących z naczyniami włosowatymi. Dzięki temu krew w naczyniach włosowatych porusza się wolno, co pozwala na wydajną wymianę substancji w tkankach ciała.
Lepkości krwi	• Lepkość krwi jest uzależniona głównie od hematokrytu (procentowego udziału erytrocytów w objętości całej krwi). Im wyższa wartość tego wskaźnika, tym większa lepkość krwi. • Zwykle hematokryt zmienia się w niewielkim zakresie, dlatego lepkość krwi jest 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 się zamykają, 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 to **objętość wyrzutowa** (pojemność wyrzutowa). U człowieka wynosi ona 70–80 cm^3. Z kolei objętość krwi tłoczona przez każdą komorę do odpowiedniego naczynia tętniczego w czasie jednej minuty to **objętość minutowa** (pojemność minutowa). 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 przez układy nerwowy i hormonalny.

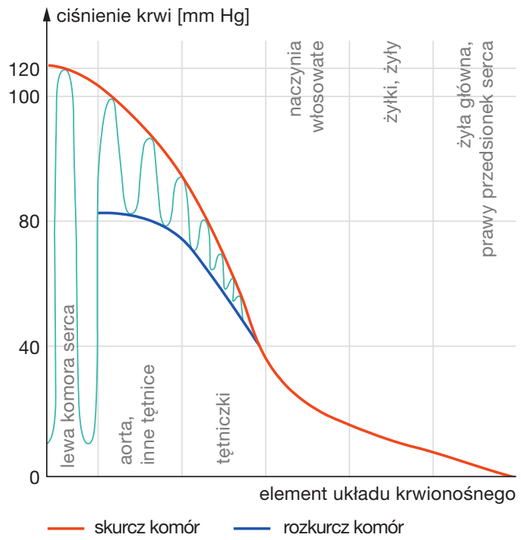
Obiegi krwi

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.

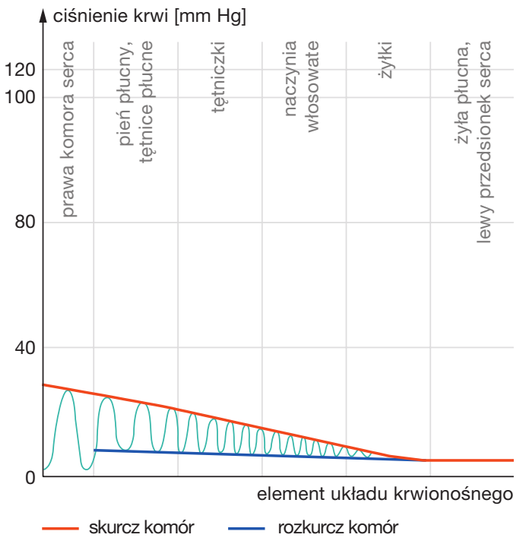


Gradient ciśnień w obiegu ustrojowym.

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.

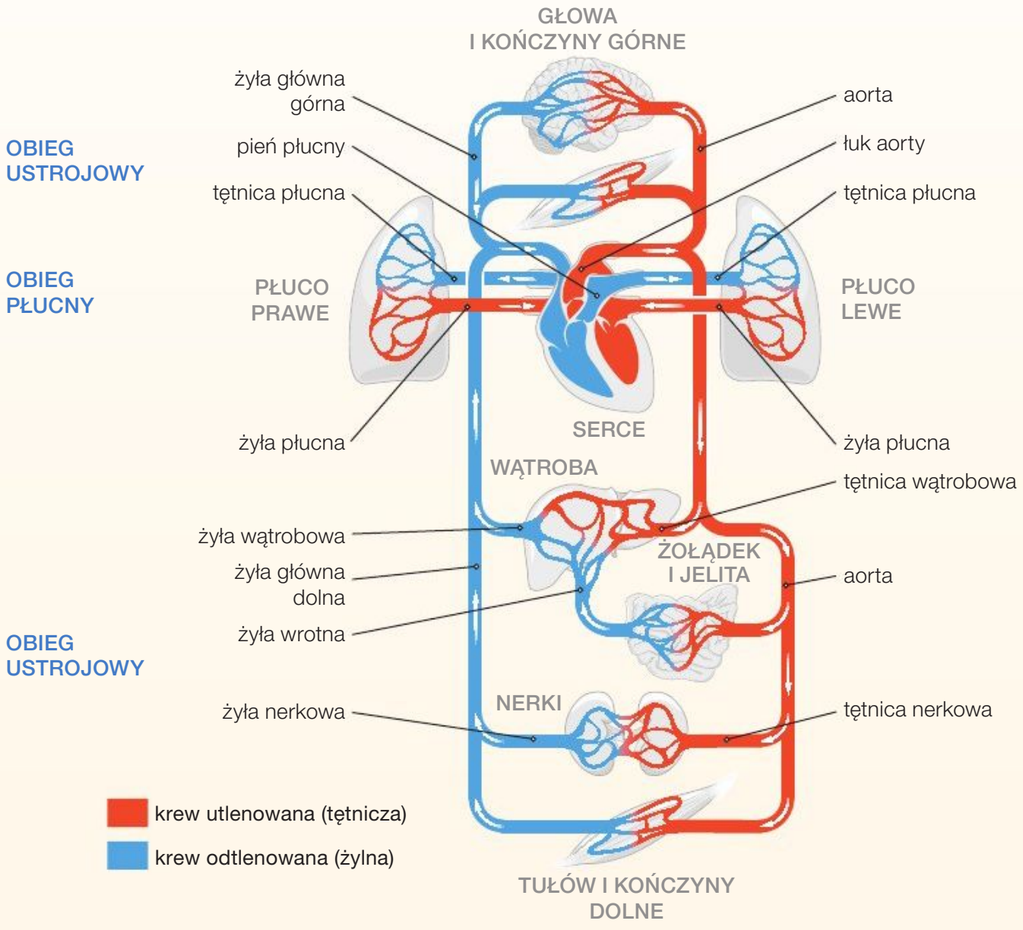
Obieg płucny rozpoczyna się w prawej komorze serca, w której znajduje się krew odtlenowana. Skurcz tej komory tłoczy krew do pnia płucnego. Wówczas ciśnienie krwi w tym naczyniu wzrasta z ok. 8 mm Hg (ciśnienie rozkurczowe) do ok. 15 mm Hg (ciśnienie skurczowe). Pień płucny dzieli się następnie na dwie 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 płucnym.

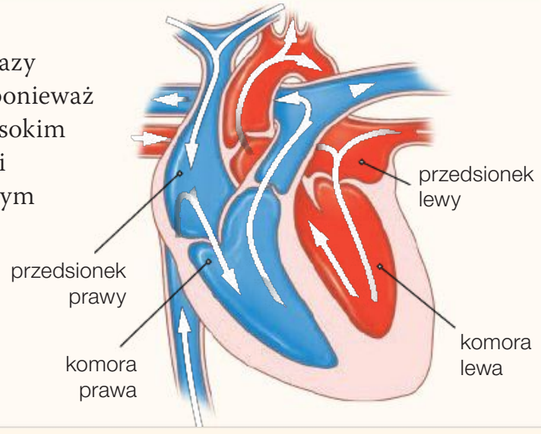
Obiegi krwi

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.

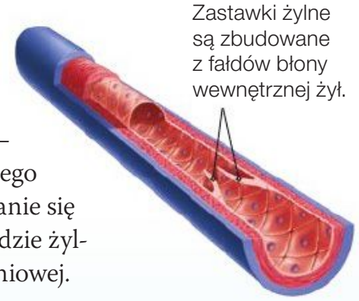


Grubość ścian serca

Ściana lewej komory serca jest mniej więcej trzy 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 gradient ciśnienia w układzie żylnym, wpływ ruchów oddechowych oraz mechanizm pompy mięśniowej.

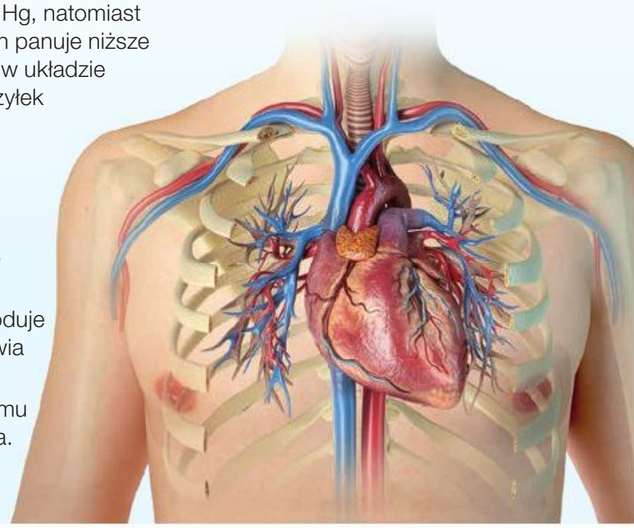
Gradient ciśnienia w układzie żylnym

W najmniejszych żyłkach ciśnienie wynosi ok. 15 mm Hg, natomiast w dużych żyłach oraz w rozkurczonych przedsionkach panuje niższe ciśnienie (ok. 0–5 mm Hg). Dzięki gradientowi ciśnień w układzie żylnym jest możliwy przepływ krwi od najmniejszych żyłek do dużych żył, a z nich – do przedsionków.

Wpływ ruchów oddechowych

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,
– 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.

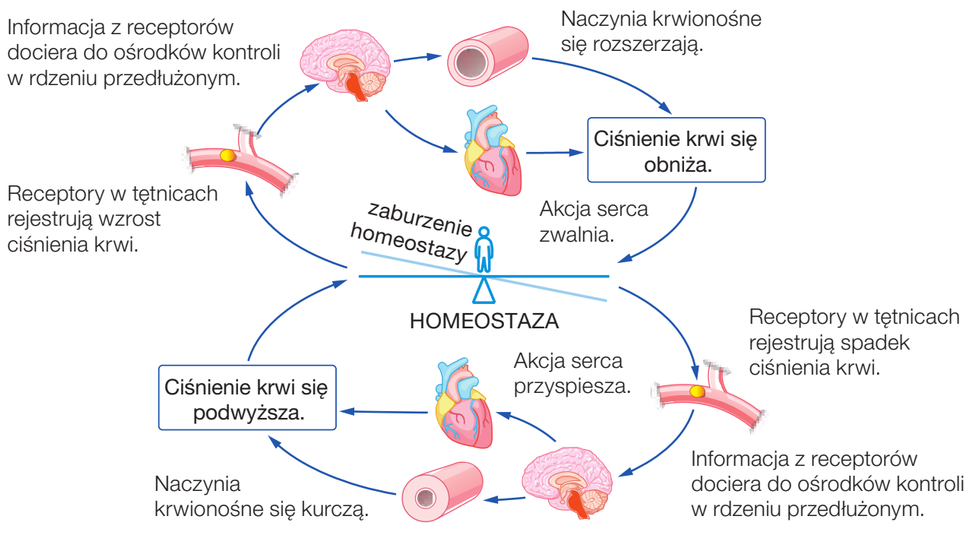
Ciśnienie krwi i tętno

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[1]. 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

Baroreceptory umiejscowione w dużych tętnicach rejestrują zmiany ciśnienia krwi. Informacje te przekazują do ośrodka regulującego kurczenie się i rozluźnianie mięśni gładkich ścian naczyń krwionośnych (ośrodka naczynioruchowego) i ośrodka regulującego tempo pracy serca (ośrodka sercowego), które znajdują się w rdzeniu przedłużonym. Gdy ciśnienie krwi jest zbyt wysokie, ośrodki wysyłają sygnały powodujące rozszerzenie naczyń krwionośnych i spowolnienie pracy serca, co obniża ciśnienie. Natomiast gdy ciśnienie jest zbyt niskie, ośrodki inicjują skurcz naczyń krwionośnych i przyspieszenie pracy serca, co prowadzi do jego podwyższenia.

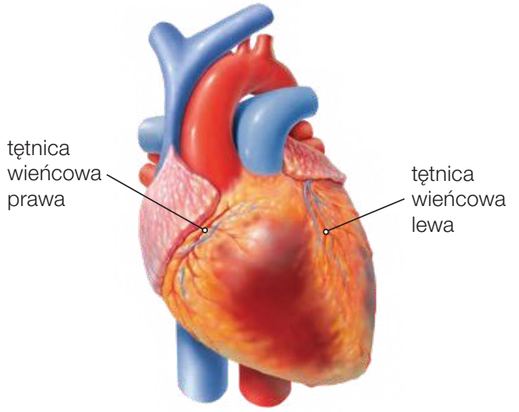


[1] W 2025 r. wprowadzono dodatkową kategorię: ciśnienie niepodwyższone. Ma ono wartość poniżej 120/70 mm Hg.

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 zwiększyć się nawet pięciokrotnie, np. podczas wysiłku.

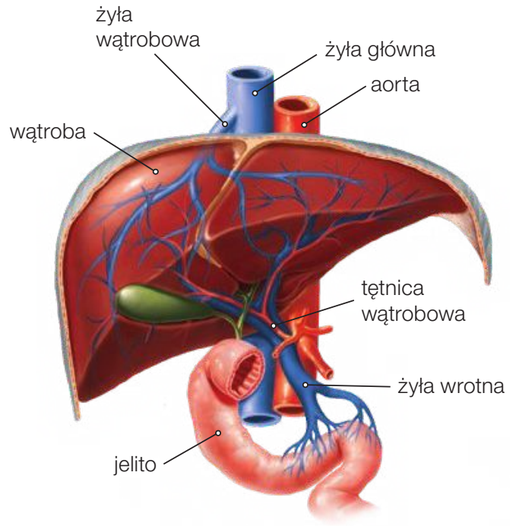
Krążenie wątrobowe

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. Poza tym w wątrobie zachodzą detoksykacja trucizn (pobranych z pokarmem lub wytworzonych przez bakterie jelitowe) oraz magazynowanie nadwyżki niektórych składników odżywczych 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. Jej główną rolą jest dostarczanie do wątroby krwi bogatej w tlen, który jest niezbędny do przeprowadzania procesów metabolicznych.
- Żyła wrotna powstaje w wyniku łączenia się naczyń żylnych śledziony, żołądka, trzustki, jelita cienkiego i jelita grubego. Główną rolą żyły wrotnej jest dostarczanie do wątroby toksyn oraz wchłoniętych w jelicie cienkim substancji odżywczych. Ponadto żyłą wrotną także dociera do wątroby tlen.

W wątrobie tętnica wątrobowa i żyła wrotna się rozgałęziają na dwie sieci naczyń włosowatych. Sieci te następnie skupiają się w większe naczynia, które uchodzą do żyły wątrobowej.



Ukrwienie wątroby. Tętnicą wątrobową dociera do wątroby ok. 40% tlenu, a żyłą wrotną – ok. 60% tego gazu.

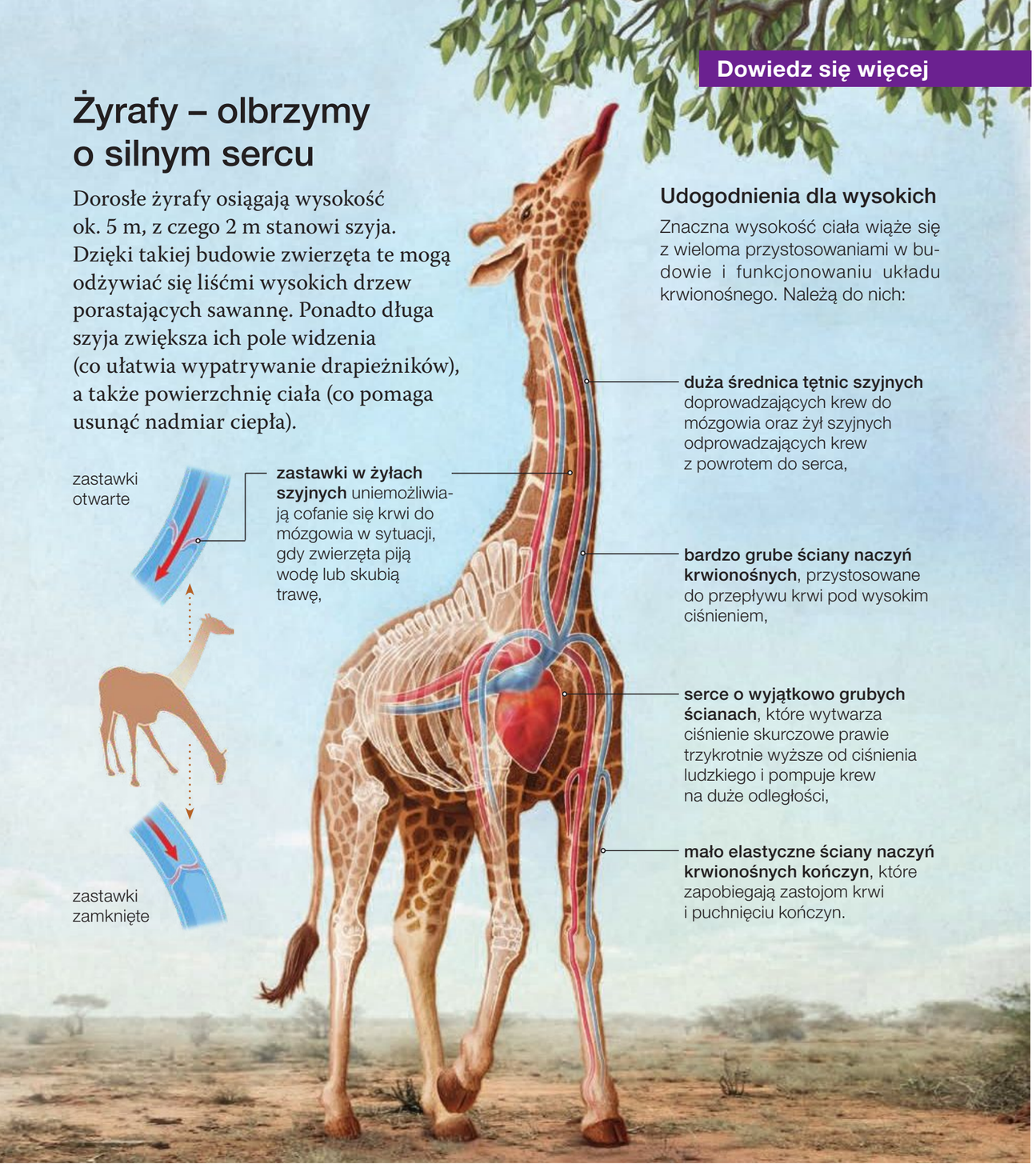
Dowiedz się więcej

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 wieloma przystosowaniami w budowie i funkcjonowaniu układu krwionośnego. Należą do nich:



Polecenia kontrolne

1. Przedstaw rolę układu krwionośnego w utrzymaniu homeostazy organizmu.
2. Wyjaśnij, na czym polega automatyzm pracy serca.
3. Omów cykl pracy serca.
4. Krwinka czerwona, przemieszczając się wraz z prądem krwi, opuściła prawą komorę serca. Określ, którymi naczyniami krwionośnymi krwinka ta będzie transportowana w drodze do serca.

6.5. Układ limfatyczny

Ważne w tym temacie!

- budowa i funkcje układu limfatycznego
- funkcje narządów limfatycznych
- powstawanie i rola 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 do naczyń krwionośnych. Ponadto układ limfatyczny stanowi zasadniczą część układu odpornościowego.

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.

Budowa układu limfatycznego

Do głównych elementów budujących układ limfatyczny należą:

- narządy limfatyczne,
- naczynia limfatyczne, w których krąży limfa.

Narządy wchodzące w skład układu limfatycznego dzieli się na:

- centralne narządy limfatyczne,
- obwodowe naczynia limfatyczne.

Większość naczyń limfatycznych przypomina naczynia krwionośne.

Elementy układu limfatycznego

narządy limfatyczne		naczynia limfatyczne	
centralne narządy limfatyczne	**obwodowe narządy limfatyczne**	**duże i średnie naczynia limfatyczne**	**drobne naczynia limfatyczne**
• Odpowiadają za dojrzewanie limfocytów T i B. • Należą do nich: – szpik kostny, – grasica.	• Biorą udział w wykształcaniu odpowiedzi immunologicznej. • Należą do nich: – śledziona, – węzły chłonne, – grudki limfatyczne, – migdałki podniebienne.	• Przypominają żyły. Są zbudowane z trzech warstw. Mają zastawki, które uniemożliwiają cofanie się limfy.	• Są otwarte – otwierają się do przestrzeni międzykomórkowych, skąd zbierają nadmiar płynu tkankowego.

Budowa i działanie układu limfatycznego

Układ limfatyczny jest zbudowany z narządów limfatycznych i naczyń limfatycznych. Do jego prawidłowego funkcjonowania konieczne są współdziałanie narządów i naczyń, a także współpraca z układem krwionośnym.

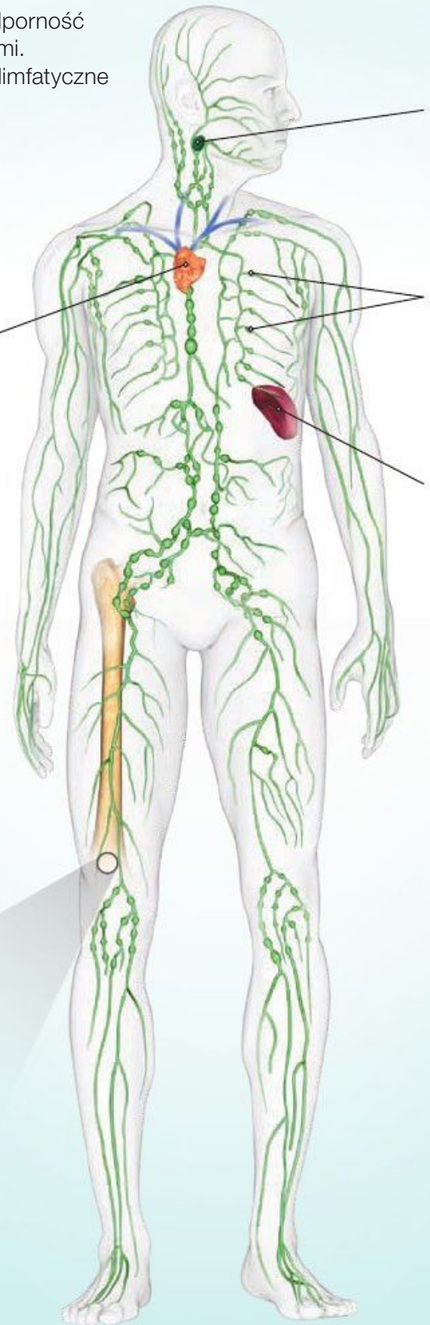
Narządy limfatyczne

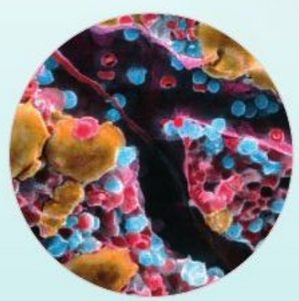
Narządy limfatyczne kształtują odporność i chronią organizm przed infekcjami. Dzieli się je na centralne narządy limfatyczne i obwodowe narządy limfatyczne.

Centralne narządy limfatyczne

Grasica bierze udział w kształtowaniu odporności – jest gruczołem dokrewnym, który wydziela hormony regulujące proces dojrzewania i namnażanie się limfocytów. Po okresie dojrzewania grasica stopniowo zanika.

Szpik kostny pełni funkcję krwiotwórczą – odpowiada za wytwarzanie wszystkich elementów morfotycznych krwi. U osób dorosłych występuje w kręgach, żebrach, mostku, obojczykach, kościach czaszki i miednicy oraz w nasadach kości długich.





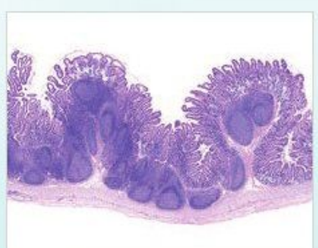
Obwodowe narządy limfatyczne

Migdałki podniebienne tworzą wokół gardła pierścień, który chroni organizm przed infekcjami układów oddechowego i pokarmowego.

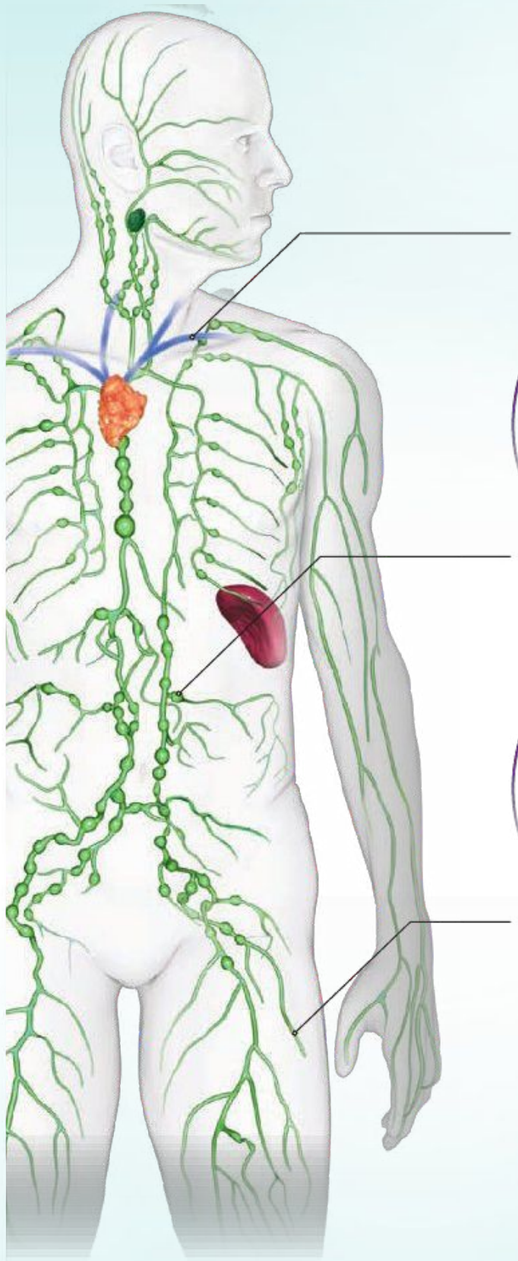
Węzły chłonne filtrują limfę i zatrzymują znajdujące się w niej drobnoustroje chorobotwórcze. W węzłach chłonnych namnażają się limfocyty, dlatego narządy te odpowiadają za odporność organizmu.

Śledziona może magazynować krew lub uwalniać ją w razie potrzeby. Ponadto do jej funkcji należy niszczenie zużytych leukocytów oraz starzejących się albo uszkodzonych czerwonych krwinek i płytek krwi.

Grudki limfatyczne tworzą drobne skupiska związane z układami: pokarmowym, oddechowym i moczowym. Występują też w ścianie wyrostka robaczkowego. Grudki limfatyczne zawierają znaczną liczbę różnych rodzajów leukocytów zwalczających drobnoustroje chorobotwórcze.



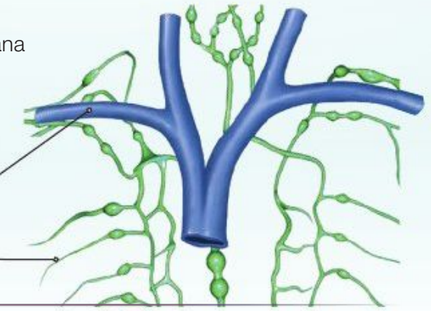
Przekrój przez jelito (zdjęcie mikroskopowe). Na fotografii widoczne są grudki limfatyczne.



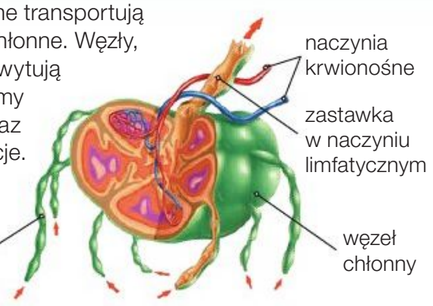
Jak działa układ limfatyczny?

Układ limfatyczny transportuje limfę do układu krwionośnego – do dużych żył znajdujących się w pobliżu serca. Biorą w tym udział naczynia limfatyczne oraz narządy limfatyczne.

3 Limfa jest transportowana w pobliże serca. Tam uchodzi do dużych żył i łączy się z krwią w krwiobiegu.



2 Naczynia limfatyczne transportują limfę przez węzły chłonne. Węzły, filtrując limfę, wychwytują z niej mikroorganizmy chorobotwórcze oraz szkodliwe substancje.



1 Limfa jest transportowana przez naczynia limfatyczne w stronę serca. Limfa płynie tylko w jednym kierunku, ponieważ w naczyniach występują zastawki. Przepływ limfy jest możliwy dzięki pulsowaniu naczyń krwionośnych oraz dzięki pracy sąsiadujących z nimi mięśni szkieletowych.

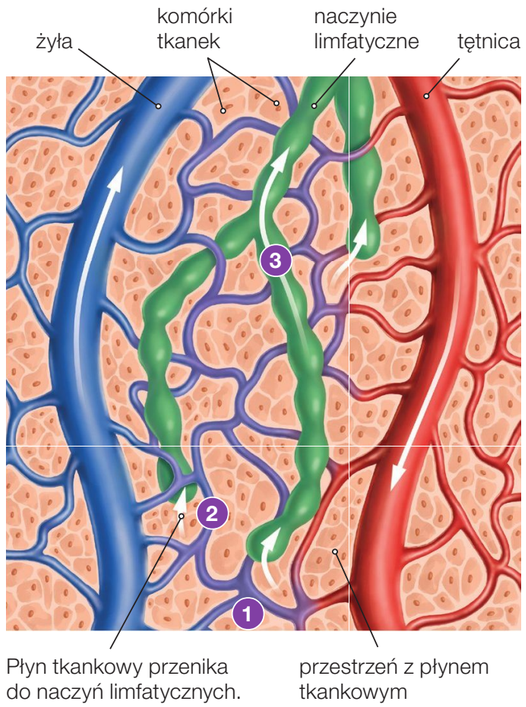
Zaburzenia przepływu limfy

Wynikiem zaburzeń przepływu limfy w naczyniach limfatycznych może być obrzęk różnych części ciała. Limfa gromadzi się w tkankach, co powoduje np. opuchliznę stóp albo worki pod oczami. Gdy zaburzenia przepływu limfy są poważne i przewlekłe, prowadzą do tzw. obrzęku limfatycznego. Może on być wrodzony lub spowodowany np. uszkodzeniem naczyń limfatycznych. Konieczna jest wówczas pomoc lekarza specjalisty, który zdiagnozuje przyczynę, co umożliwi rozpoczęcie właściwego leczenia.

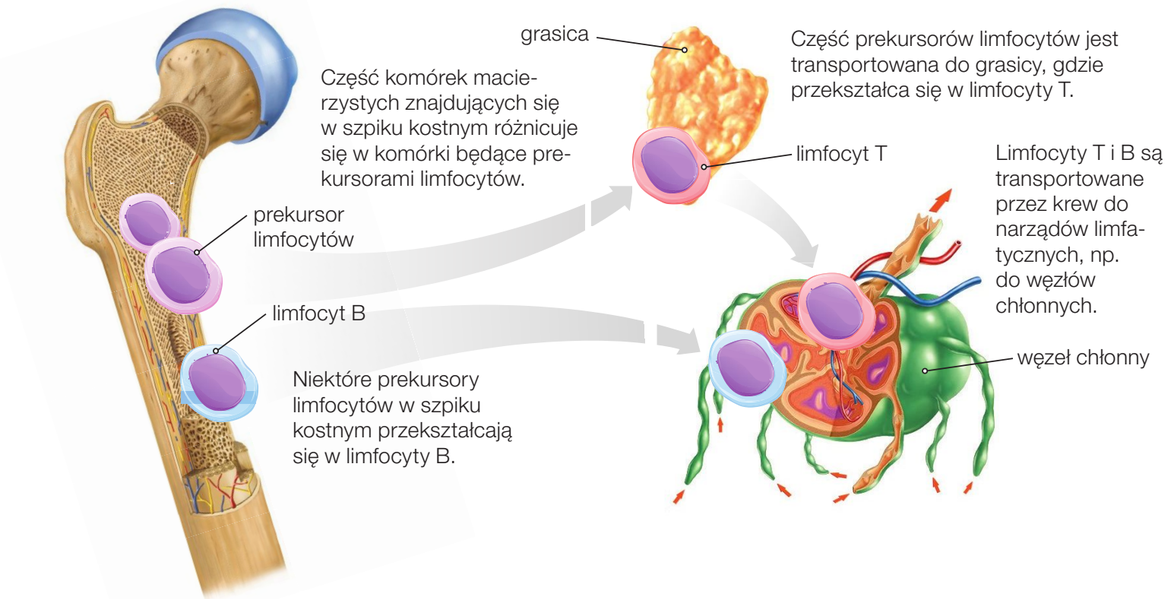
Limfa – skład i powstawanie

Limfa powstaje z osocza krwi, dlatego ma zbliżony do niego skład, zawiera 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 znaczną ilość tłuszczu, natomiast limfa opuszczająca inne narządy jest zwykle bezbarwna.

1. Część osocza z włosowatych naczyń krwionośnych przesącza się do przestrzeni międzykomórkowych i tworzy płyn tkankowy. Płyn tkankowy pośredniczy w wymianie substancji między krwią a komórkami.
2. Płyn tkankowy z przestrzeni międzykomórkowych dostaje się do wnętrza włosowatych naczyń limfatycznych, gdzie przekształca się w limfę (chłonkę).
3. Limfa jest transportowana do większych naczyń limfatycznych.



Rola narządów limfatycznych w powstawaniu i różnicowaniu się limfocytów

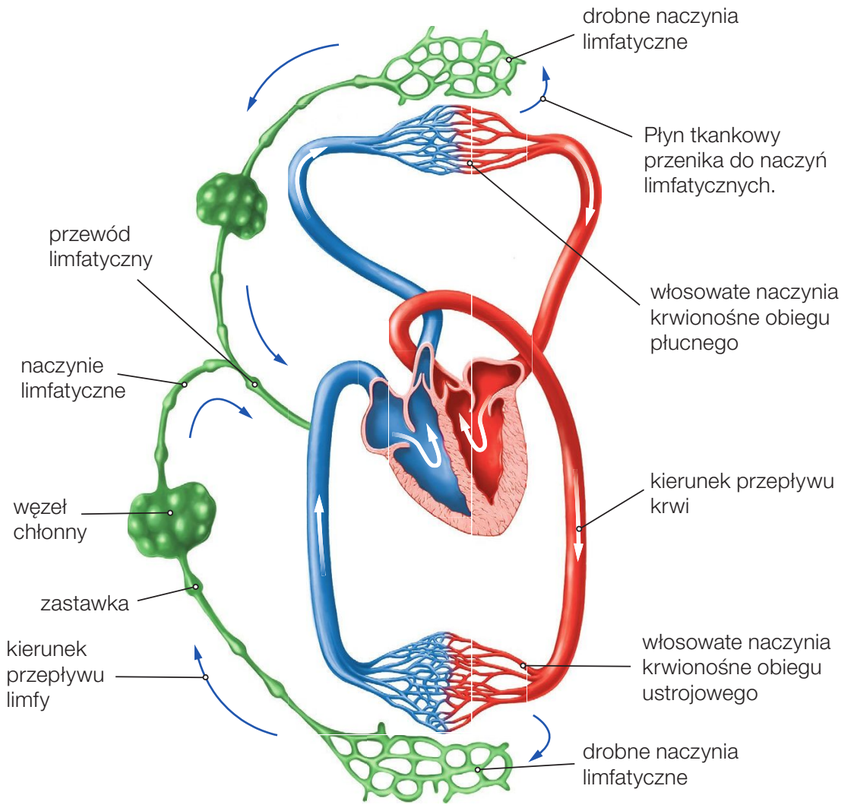


Limfocyty powstają w szpiku kostnym. Część z nich przekształca się w nim w limfocyty B, a część jest transportowana do grasicy, gdzie przekształca się w limfocyty T. Następnie limfocyty T i B są transportowane przez krew do narządów limfatycznych, np. do węzłów chłonnych.

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 odżywczych (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.

Związek układu krwionośnego z układem limfatycznym



Polecenia kontrolne

1. Przedstaw rolę układu limfatycznego.
2. Wymień narządy tworzące układ limfatyczny. Omów funkcje wybranego narządu.
3. Przedstaw podobieństwa i różnice między układem krwionośnym a układem limfatycznym.
4. Korzystając z wiarygodnych źródeł, podaj przyczyny obrzęków ciała, które są związane z funkcjonowaniem układu limfatycznego.

6.6. Choroby układu krążenia

Ważne w tym temacie!

- związek między stylem życia a chorobami układu krążenia
- znaczenie badań diagnostycznych w profilaktyce chorób układu krążenia (badania krwi, pomiar ciśnienia tętniczego krwi, EKG)
- przykłady chorób układu krążenia: miażdżyca, zawał mięśnia sercowego, choroba wieńcowa serca, nadciśnienie tętnicze, udar, żylaki

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.

Styl życia a rozwój chorób układu krążenia

Główne czynniki ryzyka rozwoju chorób układu krążenia to:

- zbyt mała aktywność fizyczna,
- niewłaściwa dieta,
- długotrwały stres,
- używki (np. papierosy i alkohol).

To dlatego w profilaktyce chorób tego układu niezwykle ważny jest zdrowy styl życia.

Zdrowy styl życia – profilaktyka chorób układu krążenia

Najważniejszymi elementami zdrowego stylu życia są częsta i systematyczna aktywność fizyczna oraz zbilansowana dieta.

Systematyczna aktywność fizyczna

- Obniża tętno spoczynkowe i ciśnienie tętnicze krwi, dzięki czemu zwiększa się wydolność układu krążenia.
- Zwiększa przepływ krwi w naczyniach, co przeciwdziała rozwojowi nadciśnienia tętniczego.
- Rozładowuje stres, dzięki czemu są minimalizowane jego negatywne skutki.
- Przyspiesza tempo metabolizmu oraz regulację przemian cukrów i tłuszczów w organizmie, co zmniejsza ryzyko otyłości i rozwoju cukrzycy typu II.

Zbilansowana dieta

- Dostarcza organizmowi wszystkich substancji niezbędnych do prawidłowego funkcjonowania, w tym składniki mineralne, witaminy oraz nienasycone kwasy tłuszczowe (NNKT).
- Polega na ograniczaniu spożycia wysoko przetworzonej żywności bogatej w nasycone tłuszcze i cukry proste, ponieważ nadmiar tych związków w organizmie może prowadzić do nadwagi i rozwoju miażdżycy.
- Polega na unikaniu szkodliwych dodatków chemicznych oraz soli, której nadmiar ma ogromny wpływ na powstawanie nadciśnienia tętniczego.

Badania profilaktyczne i diagnostyczne

W profilaktyce chorób układu krążenia istotną rolę odgrywa regularne wykonywanie badań profilaktycznych. Pozwalają one kontrolować stan zdrowia organizmu i szybko zareagować na pierwsze objawy choroby.

Badania krwi

Badania krwi pomagają wykryć ewentualne nieprawidłowości w jej składzie. W ten sposób można zdiagnozować wiele chorób, a także monitorować ich przebieg i ocenić skuteczność stosowanej terapii, co jest ważne zwłaszcza w przewlekłych schorzeniach. Dodatkowo DNA wyizolowany z leukocytów może zostać wykorzystany m.in. w diagnostyce chorób genetycznych. Badania krwi służą też 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.

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: 18-01-2025 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**	**%**	

Pomiar ciśnienia tętniczego krwi

Regularne monitorowanie ciśnienia tętniczego krwi jest podstawowym badaniem pozwalającym na wczesne wykrycie nieprawidłowości w funkcjonowaniu układu krążenia. Gdy ciśnienie tętnicze krwi jest stale podwyższone, mówi się o **nadciśnieniu tętniczym**. Taki stan może doprowadzić nawet do zagrożenia życia, np. niewydolności mięśnia sercowego lub nerek. Z kolei **niedociśnienie tętnicze**, czyli zbyt niskie ciśnienie krwi, prowadzi m.in. do bólów i zawrotów głowy, osłabienia oraz trudności w koncentracji uwagi.

Pomiar ciśnienia tętniczego krwi można wykonać w gabinecie lekarskim lub w domu, np. za pomocą automatycznego ciśnieniomierza.

Elektrokardiografia (EKG)

Elektrokardiografia jest badaniem, które rejestruje 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. Dzięki badaniu EKG można:

- ocenić ogólną pracę serca,
- wykryć zaburzenia pracy serca (np. arytmię) oraz zmiany chorobowe (np. zawał mięśnia sercowego lub przerost serca).

Analiza zapisu EKG pozwala ocenić pracę serca.

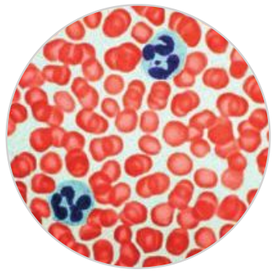
Jedną z odmian EKG jest tzw. EKG wysiłkowe (elektrokardiograficzna próba wysiłkowa). Badanie to wykonuje się podczas wysiłku fizycznego, np. w czasie jazdy na rowerze stacjonarnym lub chodzenia po bieżni.

Anemia i białaczka – choroby układu krwiotwórczego

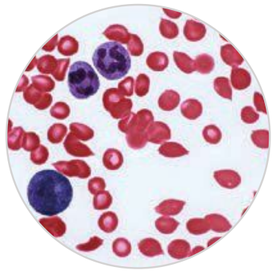
Anemia (niedokrwistość)

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).

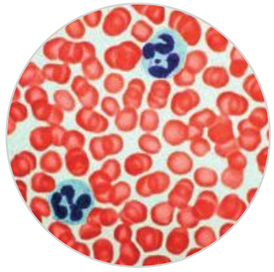


Krew osoby z anemią (obraz spod mikroskopu optycznego).

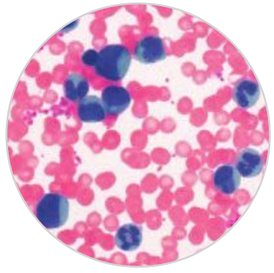
Białaczki

Białaczki to grupa chorób nowotworowych narządów krwiotwórczych. Często jedyną metodą ich wyleczenia jest przeszczepienie szpiku kostnego, czyli zastąpienie szpiku osoby z białaczką 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 z białaczką (obraz spod mikroskopu optycznego). Widoczne są liczne leukocyty.

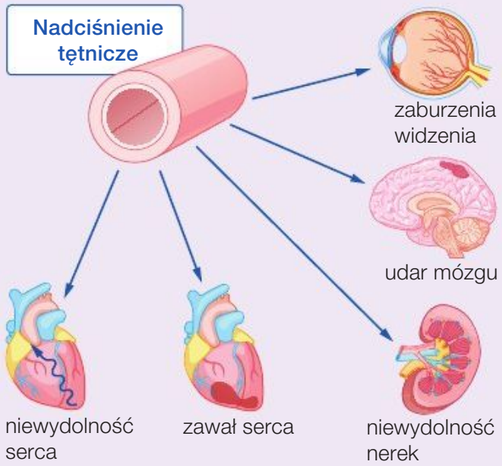
Te choroby warto znać!

Nadciśnienie tętnicze

Nadciśnienie tętnicze występuje wtedy, gdy stale utrzymuje się zbyt wysokie ciśnienie tętnicze 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, 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.



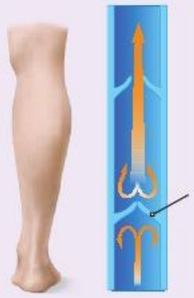
Skutki nadciśnienia tętniczego.

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.

Miażdżyca

Miażdżyca jest jedną z najczęstszych przewlekłych chorób układu krążenia. Jej stopniowy rozwój prowadzi do niedokrwienia różnych narządów.

- **Przyczyny:** uszkodzenie śródbłonka tętnic. 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.

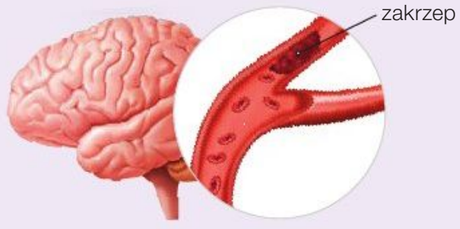
Porównanie przepływu krwi w naczyniach krwionośnych osoby zdrowej i osoby z miażdżycą.

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.

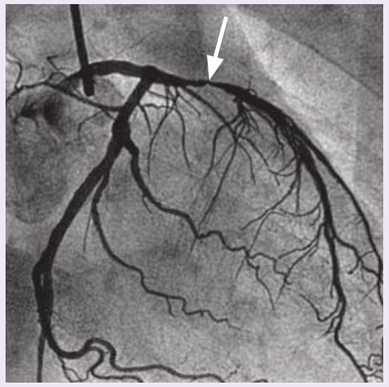
- **Przyczyny:** złożone. Na występowanie udaru mają wpływ inne choroby (np. miażdżyca, choroby serca, cukrzyca czy nadciśnienie) oraz nadużywanie alkoholu i palenie papierosów.
- **Profilaktyka:** zdrowy styl życia – stała aktywność fizyczna, ograniczenie używek.
- **Objawy:** uczucie ciężkich kończyn, zaburzenia widzenia, asymetria twarzy, zaburzenia mowy.

Diagnostyka:
– rezonans magnetyczny,
– tomografia komputerowa,
– angiografia tętnic mózgowych.

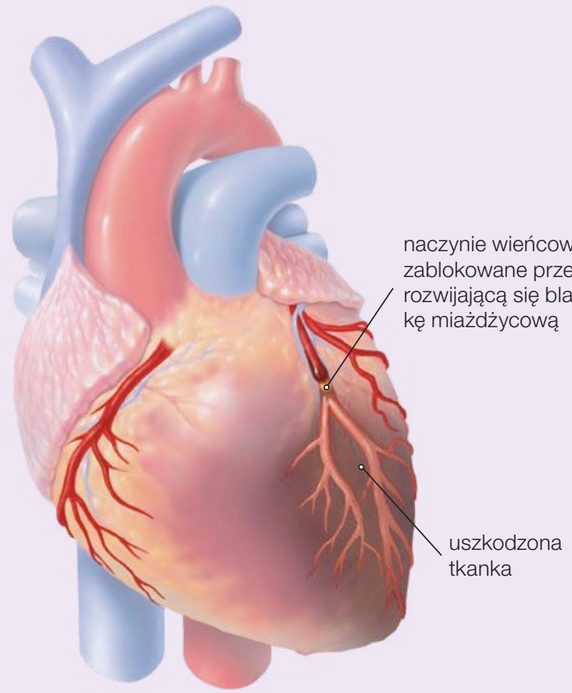
Te choroby warto znać!

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 części tkanek leżących za miejscem blokady. Taki stan chorobowy nazywa się **zawałem serca**. Choroba wieńcowa może również prowadzić 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 trwale się zmniejsza.

Diagnostyka:
– badanie krwi,
– regularne pomiary ciśnienia krwi,
– EKG,
– 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.

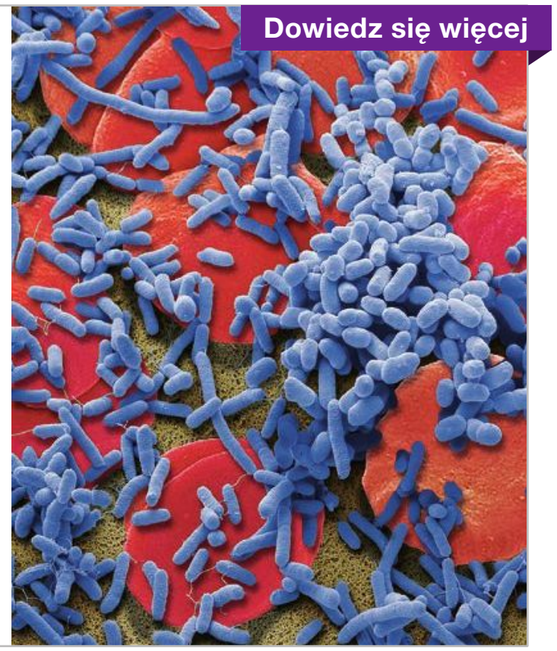
Czynniki ryzyka a rozwój kolejnych chorób układu krążenia

niewłaściwa dieta	żylaki	udar mózgu
zbyt mała aktywność fizyczna	miażdżyca	zawał serca
czynniki genetyczne	nadciśnienie tętnicze	choroba wieńcowa

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).

Leczenie miażdżycy naczyń wieńcowych

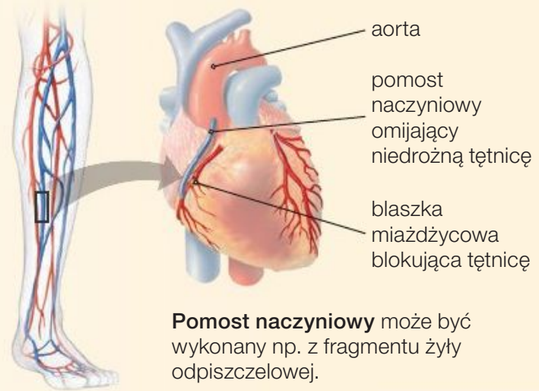
Biologia w medycynie

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

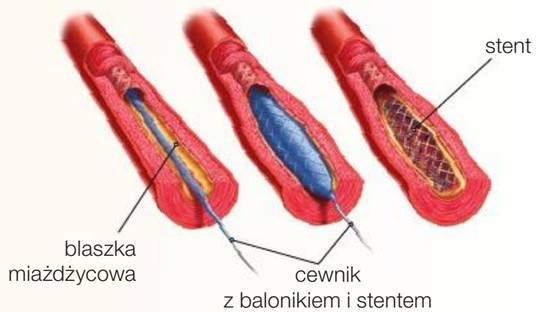
To operacja kardiochirurgiczna polegająca na stworzeniu połączenia między aortą a tętnicami wieńcowymi za pomocą **pomostów naczyniowych** (tzw. bajpasów), które omijają zwężone tętnice. Do wytworzenia pomostów wykorzystuje się fragmenty innych naczyń krwionośnych.



Pomost naczyniowy może być wykonany np. z fragmentu żyły odpiszczelowej.

Angioplastyka tętnic wieńcowych

To 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

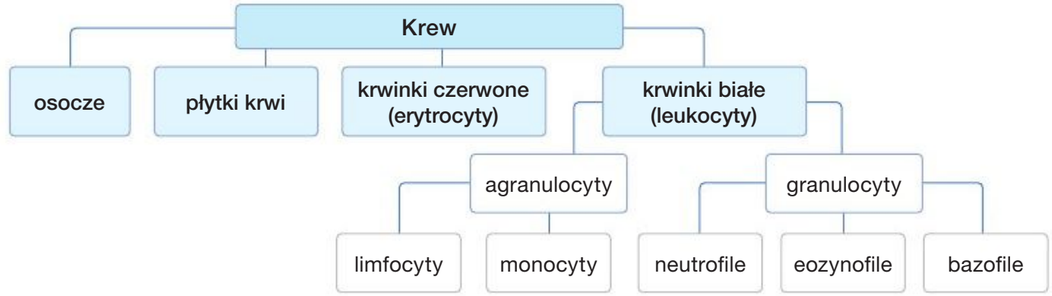
1. Wyjaśnij, w jaki sposób niewłaściwa dieta może doprowadzić do rozwoju chorób układu krążenia.
2. Określ, jakie metody należy zastosować w diagnostyce:
   a. choroby wieńcowej,
   b. miażdżycy.
3. Wykaż, że badanie EKG pozwala ocenić pracę serca.

Podsumowanie

1 Funkcje krwi:

- **funkcja transportowa** – krew transportuje m.in. tlen, substancje odżywcze, 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. Krzepnięcie odgrywa ważną rolę w utrzymaniu homeostazy, ponieważ zabezpiecza organizm przed utratą krwi.

4 Czynnik Rh

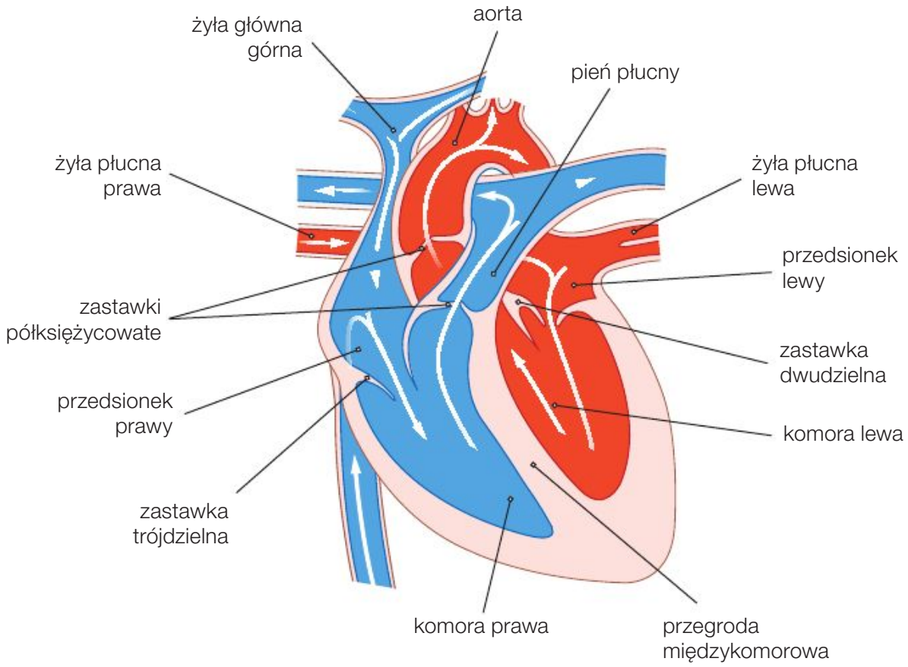
W błonach erytrocytów występuje antygen D, nazywany czynnikiem Rh. Krew, w której stwierdza się obecność tego antygenu, określa się jako Rh+, natomiast krew pozbawioną tego antygenu – jako Rh–.

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+.
Jeśli w trakcie porodu dojdzie do kontaktu krwi matki z krwią dziecka, to 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

7 Budowa serca



8 Za automatyzm pracy serca jest odpowiedzialny **układ bodźcoprzewodzący serca**, który zapoczątkowuje skurcze. Jest on zbudowany z:

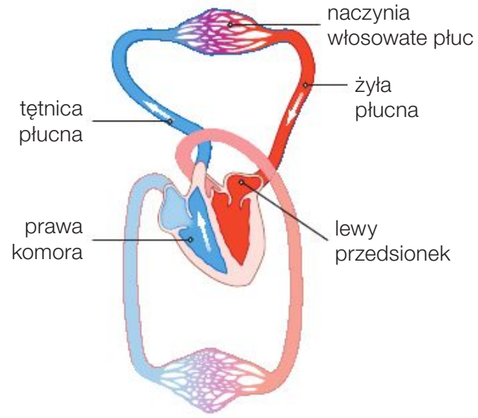
- **węzła zatokowo-przedsionkowego**, który inicjuje pracę serca przez pobudzanie do skurczu komórek mięśniowych przedsionków serca,
- **węzła przedsionkowo-komorowego**, który przekazuje pobudzenie do pęczka przedsionkowo-komorowego,
- **pęczka przedsionkowo-komorowego**, który przenosi pobudzenie do komór serca i wyzwala ich skurcz.

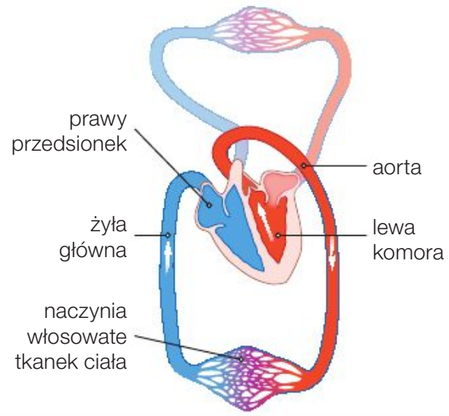
9 Porównanie budowy i funkcji naczyń krwionośnych

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	wymiana substancji między krwią a tkankami	transport krwi do serca

10 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





11 Funkcje układu limfatycznego:

- ochrona organizmu przed drobnoustrojami chorobotwórczymi,
- regulacja ilości płynów ustrojowych w organizmie,
- transport niektórych hormonów i tłuszczów do układu krwionośnego.

12 **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.

13 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.

14 Metody diagnostyczne chorób układu krążenia

Metoda diagnostyczna	Opis
Morfologia krwi	• Pozwala na ilościową i jakościową ocenę elementów morfotycznych krwi (krwinek).
EKG (elektrokardiografia)	• Pozwala na ocenę pracy serca.
Pomiar ciśnienia krwi	• Pozwala na wykrycie nadciśnienia lub niedociśnienia.

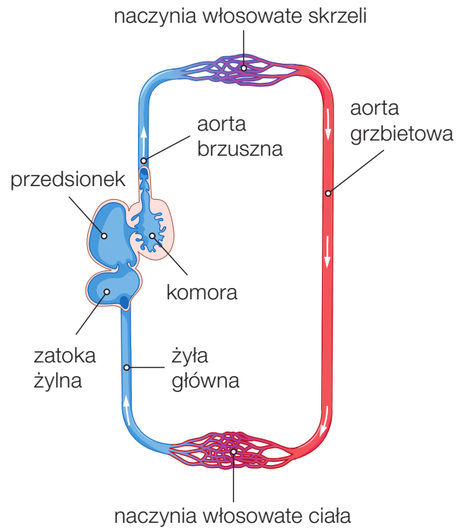
15 Choroby układu krążenia

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 serca • echokardiografia

Sposób na zadania

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Rysunek przedstawia układ krwionośny ryb. Ich serce składa się z czterech części oddzielonych zastawkami.



a) Na podstawie rysunku określ, czy przez serce ryb płynie krew utlenowana czy krew odtlenowana. Odpowiedź uzasadnij.

Przyjrzyj się rysunkowi. Zwróć uwagę na kierunek, z którego płynie krew: czy płynie ona ze skrzeli i jest bogata w tlen czy wraca ona z tkanek ciała, po pozostawieniu w nich tlenu?

Rozwiązanie:
Przez serce ryby przepływa krew odtlenowana, ponieważ wraca ona żyłami po oddaniu tlenu w tkankach / narządach ciała. Dopiero po minięciu serca krew dociera do skrzeli, w których ulega utlenowaniu.

b) Określ rolę zastawek w sercu ryb.

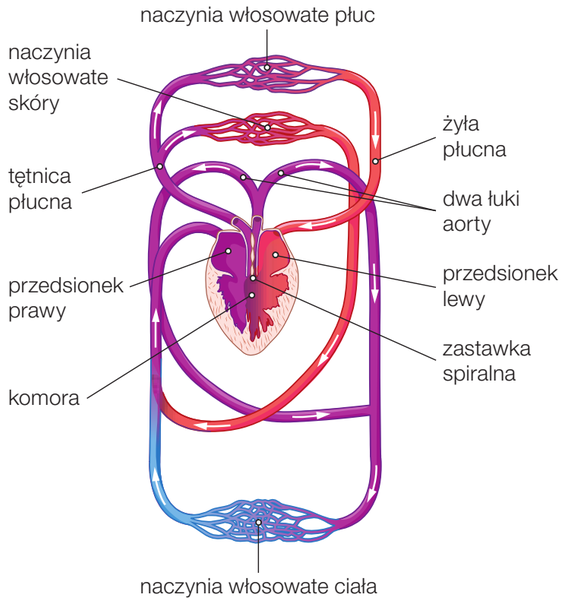
Zastawki w układzie krwionośnym zapobiegają cofaniu się krwi w naczyniach i w sercu lub zapobiegają mieszaniu się krwi utlenowanej z krwią odtlenowaną. Zastanów się, którą z tych funkcji pełnią zastawki w sercu ryb.

Rozwiązanie:
Zastawki zapobiegają się cofaniu się krwi / wymuszają jednokierunkowy przepływ krwi.

Zadanie analogiczne

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Rysunek przedstawia układ krwionośny płazów. W ich sercu występuje zastawka spiralna.



a) Na podstawie rysunku określ, czy żyła płucna płazów transportuje krew odtlenowaną czy krew utlenowaną. Odpowiedź uzasadnij.

b) Określ rolę zastawki spiralnej w sercu płazów.

Zadania powtórzeniowe

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 „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 [...], która w czasie penetracji skóry człowieka w poszukiwaniu krwi uwalnia ślinę zawierającą zarodźce [...]. Trafiają one do hepatocytów [...]. W wyniku rozpadu zarażonych komórek wątroby następuje uwolnienie do krwiobiegu merozoitów, które następnie wnikają do erytrocytów, będących miejscem ich dalszego rozwoju [...]. [...] 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 [...]. 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 nazwę grupy patogenów, do której należą zarodźce malarii.

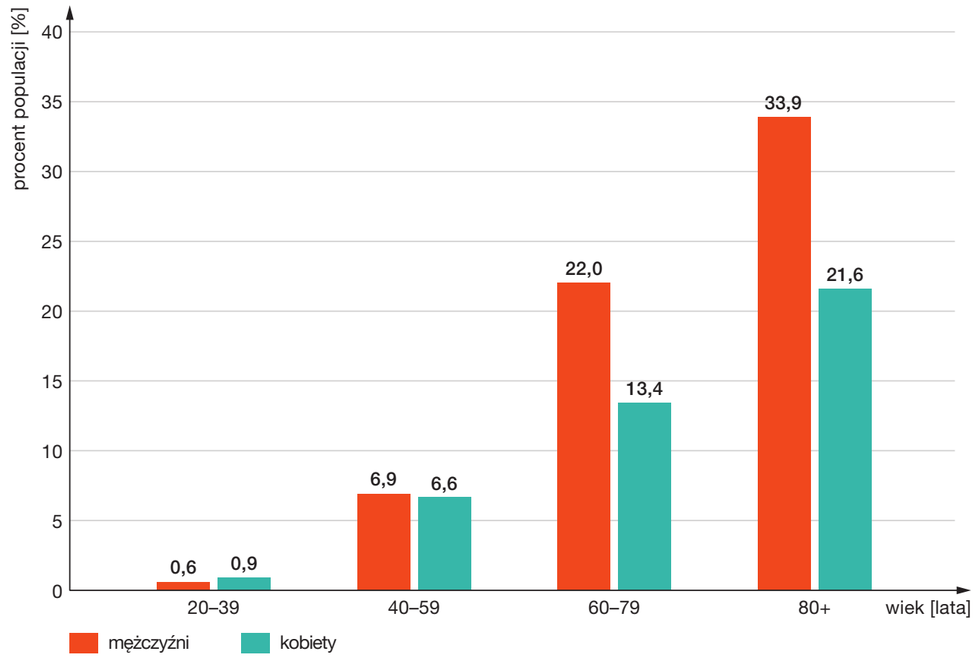
A. Wirusy.
B. Bakterie.
C. Protisty.
D. Grzyby.

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.

2 Na wykresie przedstawiono częstość występowania choroby wieńcowej według wieku i płci w USA w latach 2015–2018.



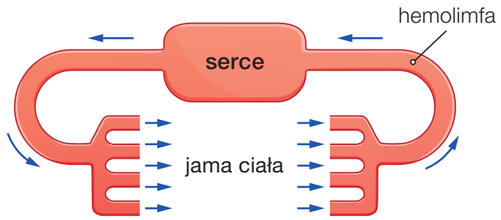
Źródło: J.P. Duggan, A.S. Peters, G.D. Trachiotis, J.L. Antevil, *Epidemiology of Coronary Artery Disease*, „Surgical Clinics of North America" 2022, 102, s. 511.

a) Na podstawie wykresu sformułuj wniosek dotyczący różnicy w częstości występowania choroby wieńcowej u kobiet i u mężczyzn.

b) Na podstawie wykresu sformułuj wniosek dotyczący wpływu wieku na częstość występowania choroby wieńcowej u kobiet i u mężczyzn.

c) Wykaż związek między dietą wysokotłuszczową a zwiększonym ryzykiem wystąpienia choroby wieńcowej.

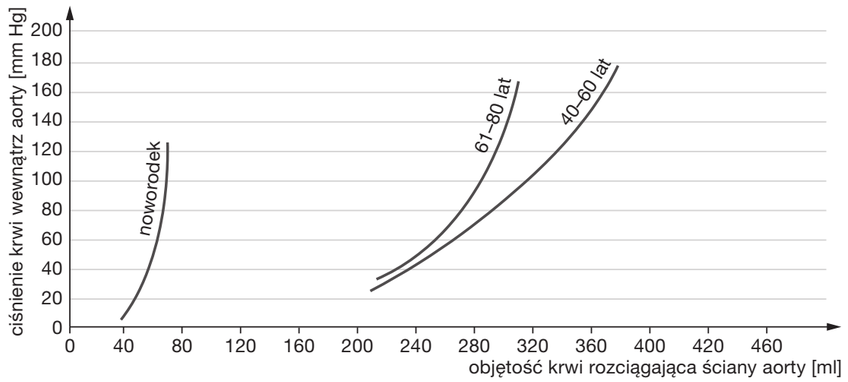
3 Rysunek przedstawia otwarty układ krwionośny występujący u bezkręgowców.



a) Na podstawie informacji zawartych na rysunku wyjaśnij, dlaczego ciśnienie hemolimfy jest zwykle niskie.

b) Podaj nazwę grupy bezkręgowców, której przedstawiciele mają zamknięty układ krwionośny.

4 Na wykresie przedstawiono zależność między objętością krwi rozciągającą ściany aorty a ciśnieniem wewnątrz tego naczynia u noworodka, u osób w średnim wieku (40–60 lat) i u osób starszych (61–80 lat), a także zależność między objętością krwi rozciągającą ściany tętnicy płucnej a ciśnieniem panującym w jej wnętrzu.



Na podstawie: *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. Wybierz 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

b) Podaj nazwę części serca, której skurcz tłoczy krew do aorty.

c) Wykaż związek między budową aorty a pełnioną przez nią funkcją.

7. Odporność organizmu

Fot. Makrofagi atakujące pasożyta (obraz spod SEM).

7.1. Budowa i funkcje układu odpornościowego

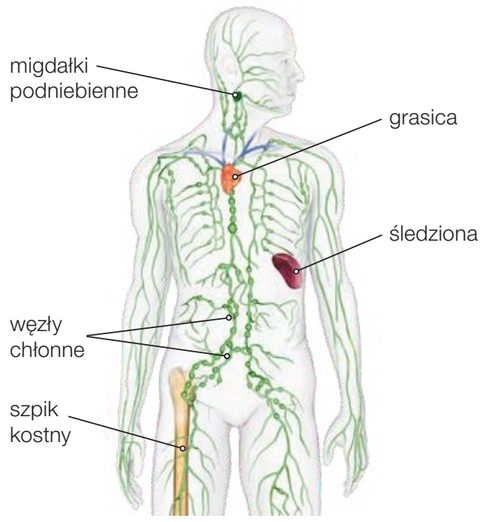
Ważne w tym temacie!

- funkcje układu odpornościowego
- narządy i komórki układu odpornościowego człowieka

Człowiek nieustannie styka się z patogenami, czyli czynnikami chorobotwórczymi. Należą do nich **drobnoustroje chorobotwórcze** – wirusy, pasożytnicze bakterie, grzyby i protisty – a także inne czynniki, takie jak związki chemiczne czy promieniowanie. Wniknięcie drobnoustroju chorobotwórczego do organizmu gospodarza i jego powielenie się nosi nazwę **zakażenia** (infekcji). Mimo powszechnego występowania drobnoustrojów ludzie chorują stosunkowo rzadko. Dzieje się tak dlatego, że ludzki organizm dysponuje wieloma mechanizmami umożliwiającymi obronę przed patogenami. Narządy i komórki zaangażowane w tę obronę tworzą **układ odpornościowy** (układ immunologiczny).

Elementy układu odpornościowego

Układ odpornościowy tworzą wszystkie narządy układu limfatycznego oraz wyspecjalizowane komórki biorące udział w reakcjach odpornościowych. Działanie komórek układu odpornościowego jest wspomagane przez różne cząsteczki chemiczne, m.in. przez przeciwciała.



Narządy i tkanki układu limfatycznego odpowiadają za powstawanie komórek odpornościowych oraz za ich różnicowanie.

Funkcje tkanek i narządów układu odpornościowego

Tkanka lub narząd	Funkcja
Szpik kostny czerwony	• Jest miejscem powstawania wszystkich komórek układu odpornościowego. • Zachodzą w nim dojrzewanie i selekcja limfocytów B. W wyniku selekcji w szpiku pozostają tylko te komórki, które wytwarzają przeciwciała o prawidłowym kształcie i nie reagują na antygeny własne organizmu.
Grasica	• Zachodzą w niej dojrzewanie i selekcja limfocytów T. W wyniku selekcji w grasicy pozostają tylko te komórki, które rozpoznają obce antygeny i nie reagują na antygeny własne organizmu.
Śledziona	• Niszczy zużyte krwinki i płytki krwi. • Zachodzą w niej reakcje odpornościowe przeciwko obcym cząsteczkom.
Węzły chłonne	• Filtrują limfę, dzięki czemu zatrzymują i neutralizują patogeny. • Namnażają się w nich limfocyty T i B. • Występują w nich przeciwciała.
Grudki chłonne i migdałki	• Bronią organizm przed zakażeniami drogą oddechową i drogą pokarmową. • Są miejscem zatrzymywania i namnażania się limfocytów.

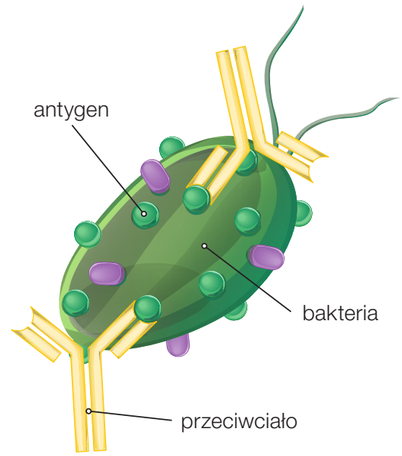
Funkcje układu odpornościowego

Podstawowe funkcje układu odpornościowego to:

- odróżnianie komórek i cząsteczek własnych organizmu od komórek i cząsteczek obcych,
- zwalczanie infekcji,
- usuwanie nieprawidłowych komórek organizmu, np. komórek nowotworowych.

Podstawą działania układu odpornościowego jest zdolność odróżniania antygenów własnych od antygenów obcych. Antygeny to cząsteczki chemiczne, które:

- mają zdolność wywoływania reakcji odpornościowej skierowanej przeciwko sobie,
- wiążą się z przeciwciałami lub receptorami na powierzchni limfocytów T i B.



Antygenami są zwykle białka lub polisacharydy znajdujące się na powierzchni komórek albo cząstek wirusowych. Mogą być nimi również toksyny.

Główny układ zgodności tkankowej

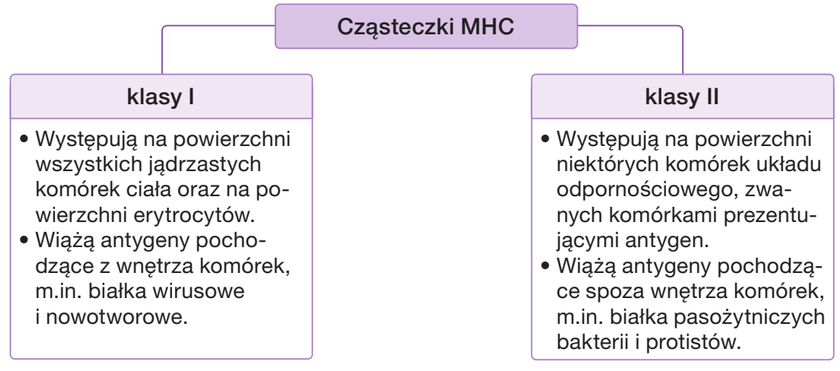
Główny układ zgodności tkankowej – MHC (ang. *major histocompatibility complex*) – to grupa glikoprotein występujących na powierzchni komórek. Glikoproteiny te są nazywane antygenami zgodności tkankowej (cząsteczkami MHC). Jedną z ich funkcji jest wiązanie obcych antygenów i prezentowanie ich limfocytom T. Dzięki temu następuje uruchomienie reakcji odpornościowej skierowanej przeciwko prezentowanym antygenom.

W przypadku człowieka antygeny zgodności tkankowej określa się również mianem ludzkich antygenów leukocytarnych – HLA (ang. *human leukocyte antigens*). Każda osoba ma charakterystyczny zestaw cząsteczek MHC na powierzchni komórek, a jej układ odpornościowy traktuje cząsteczki MHC pochodzące od innego organizmu jako antygeny przeznaczone do likwidacji. To dlatego antygeny zgodności tkankowej są również odpowiedzialne za odrzucanie przeszczepów tkanek i narządów.

Dowiedz się więcej

Klasy cząsteczek MHC

Cząsteczki MHC dzielą się na dwie główne grupy: MHC klasy I oraz MHC klasy II.



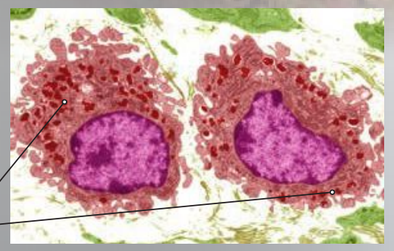
Komórki układu odpornościowego

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).

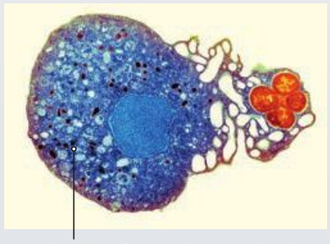
Makrofagi

To komórki żerne, które mają w cytoplazmie liczne lizosomy zawierające enzymy hydrolityczne. Makrofagi powstają z monocytów, które przenikają z naczyń krwionośnych do okolicznych tkanek, gdzie się różnicują. Tam niszczą patogeny na drodze fagocytozy. **Należą do komórek prezentujących antygen.**



Granulocyty – komórki z ziarnistościami w cytoplazmie

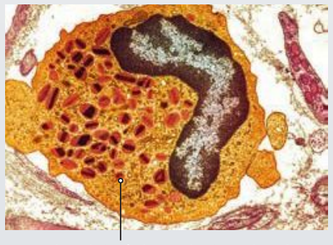
granulocyty obojętnochłonne (neutrofile)



ziarnistości z substancjami niszczącymi bakterie

Odpowiadają przede wszystkim za fagocytozę bakterii. Pojedynczy granulocyt obojętnochłonny potrafi sfagocytować kilkanaście komórek bakterii w ciągu kilku minut. Ponadto neutrofile uwalniają substancje o działaniu przeciwbakteryjnym, m.in. enzymy rozkładające struktury bakterii.

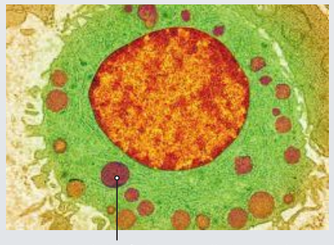
granulocyty kwasochłonne (eozynofile)



ziarnistości z substancjami niszczącymi pasożyty zwierzęce

Odgrywają główną rolę w zwalczaniu pasożytów zwierzęcych, np. owsików. Wydzielają związki uszkadzające komórki pasożyta i pobudzające błonę śluzową przewodu pokarmowego do produkcji śluzu, który ułatwia usuwanie pasożyta wraz z kałem. Eozynofile fagocytują też obce cząsteczki.

granulocyty zasadochłonne (bazofile)

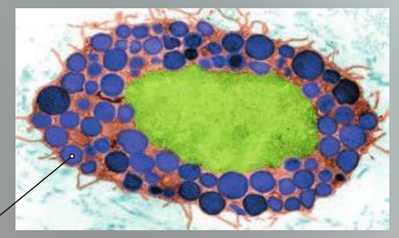


ziarnistości z mediatorami procesu zapalnego

Biorą udział w reakcjach zapalnych oraz alergicznych. Bazofile uwalniają m.in.: histaminę, która rozszerza naczynia krwionośne i zwiększa ich przepuszczalność, serotoninę, która także zwiększa przepuszczalność naczyń krwionośnych, oraz heparynę, która ma działanie przeciwkrzepliwe.

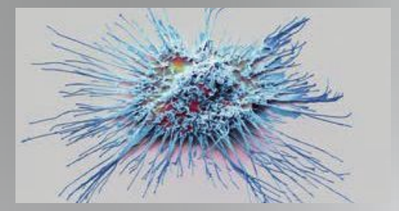
Komórki tuczne (mastocyty)

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

To komórki żerne zaopatrzone w liczne cytoplazmatyczne wypustki. **Należą do komórek prezentujących antygen.**

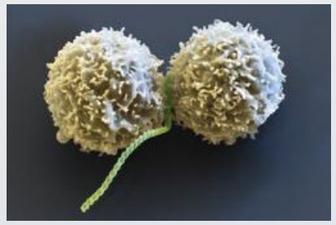


Limfocyty

Powstają w czerwonym szpiku kostnym. Część limfocytów 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

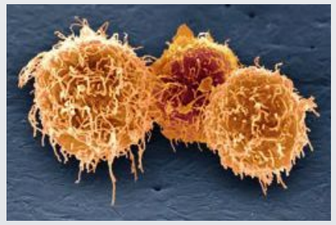
limfocyty T



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 przez aktywację limfocytów B.

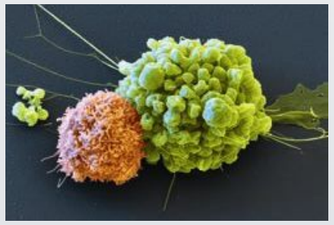
limfocyty B



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**, które są wykorzystywane podczas ponownego kontaktu z tym samym antygenem.

komórki NK

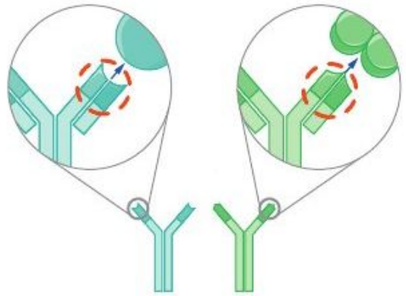


Komórki NK, nazywane naturalnymi zabójcami (ang. *natural killer*), rozpoznają wszystkie nieprawidłowe komórki organizmu, np. komórki zainfekowane wirusem lub komórki nowotworowe. Następnie niszczą je za pomocą wydzielanych przez siebie substancji toksycznych.

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 (immunoglobuliny, Ig) to białka złożone – glikoproteiny – które są zdolne do swoistego łączenia się z antygenami. Swoistość łączenia się z antygenem polega na tym, że każde przeciwciało rozpoznaje tylko jeden określony antygen. Powstałe w ten sposób kompleksy antygen–przeciwciało są rozpoznawane i niszczone przez różne komórki i cząsteczki układu odpornościowego. Przeciwciała są bardzo zróżnicowane – dzięki temu organizm może reagować na niemal nieograniczoną liczbę antygenów.



Swoistość przeciwciał wynika z dużej zmienności miejsca wiążącego antygen (miejsce to oznaczono czerwoną ramką).

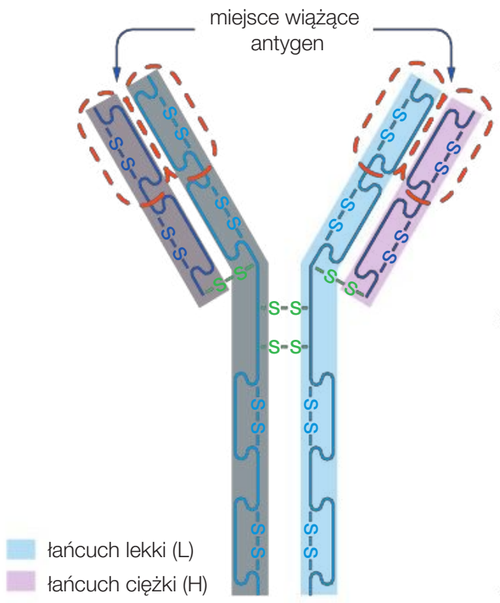
Dowiedz się więcej

Budowa przeciwciał

Pojedyncze przeciwciało ma zwykle kształt litery Y. Składa się ono z czterech łańcuchów polipeptydowych:

- dwóch identycznych łańcuchów lekkich (L),
- dwóch identycznych łańcuchów ciężkich (H).

Końcówki obu ramion tworzy sekwencja aminokwasów, która jest charakterystyczna dla danego przeciwciała i dopasowana do struktury konkretnego antygenu.



Fragment Fab zawiera miejsce wiążące antygen. Miejsce wiążące jest zbudowane z rejonów zmiennych łańcucha ciężkiego i łańcucha lekkiego (rejony te oznaczono czerwoną ramką). Rejony zmienne cechują się wysoką różnorodnością struktury – oznacza to, że każdy rodzaj przeciwciała ma w tym obszarze inną budowę przestrzenną. Pozostała część fragmentu Fab jest stała, czyli taka sama dla wszystkich przeciwciał w danej klasie (→ s. 263).

Fragment Fc jest odpowiedzialny m.in. za wiązanie się z receptorami Fc obecnymi na powierzchni komórek układu odpornościowego, np. na powierzchni makrofagów i neutrofili. Umożliwia to fagocytozę kompleksów przeciwciało–antygen przez komórki żerne. Fragment Fc jest stały, a jego budowa decyduje o przynależności przeciwciała do danej klasy.

Przeciwciała są glikoproteinami. Ich najwyższą strukturą przestrzenną jest struktura czwartorzędowa utrzymywana wiązaniami disiarczkowymi –S–S– (oznaczono je kolorem zielonym). Pozostałe wiązania disiarczkowe (oznaczono je kolorami niebieskim i granatowym) stabilizują strukturę trzeciorzędową pojedynczych łańcuchów polipeptydowych wchodzących w skład przeciwciała.

Wybrane 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.
IgM	Występują na powierzchni limfocytów B oraz w osoczu. Są wydzielane we wczesnych stadiach reakcji odpornościowej organizmu, biorą udział w zwalczaniu patogenów – do czasu, aż zostaną wytworzone odpowiednie ilości IgG.
IgE	Występują w tkankach, powodują uwalnianie histaminy z komórek tucznych. Uczestniczą w zwalczaniu pasożytów oraz w reakcjach alergicznych.

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 (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*), 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 określić stężenie białka CRP we krwi. Dzięki tej metodzie można np. odróżnić infekcje bakteryjne (wartość CRP znacznie podwyższona) od infekcji wirusowych (wartość CRP nieznacznie podwyższona lub w granicach normy).

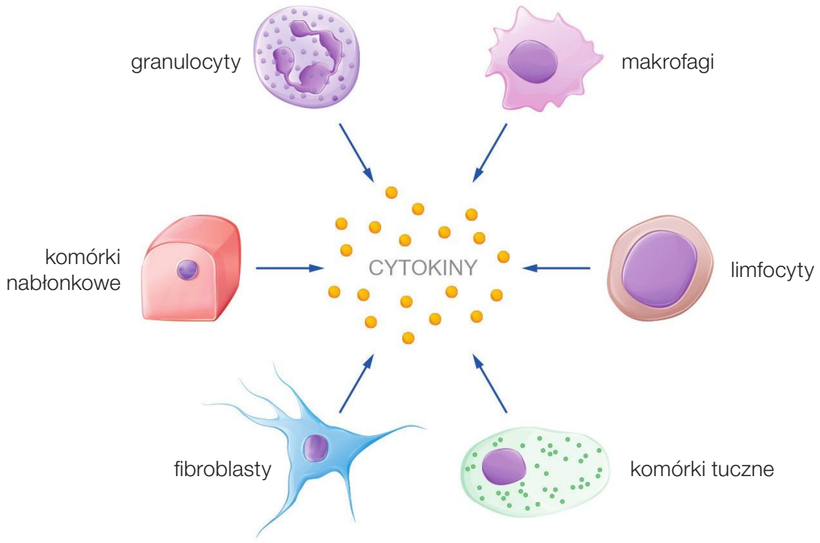
Zastosowanie przeciwciał

Przeciwciała znalazły wiele 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 to popularna metoda diagnostyczna oparta na przeciwciałach. Test ten stosuje się m.in. w wykrywaniu chorób pasożytniczych i autoimmunizacyjnych, a także zakażeń wirusem HIV czy gronkowcem złocistym.

Cytokiny

Cytokiny to różnorodne peptydy lub białka wytwarzane przez wiele komórek ciała, w tym przez komórki układu odpornościowego. Związki te pełnią funkcję regulacyjną – pobudzają lub hamują m.in. 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. Przedstaw funkcję dwóch wybranych narządów układu odpornościowego.
2. Podaj znaczenie terminu *antygen*.
3. Przedstaw znaczenie fagocytozy w reakcjach odpornościowych.
4. Przedstaw funkcję przeciwciał w reakcji odpornościowej.
5. Podaj przykład białka należącego do białek ostrej fazy i przedstaw jego funkcję.

7.2. Rodzaje i mechanizmy odporności

Ważne w tym temacie!

- odporność nieswoista (wrodzona) i odporność swoista (nabyta)
- odporność komórkowa i odporność humoralna
- sposoby nabywania odporności swoistej
- rola białek ostrej fazy i cytokin w reakcji odpornościowej

Odporność to zdolność organizmu do obrony przed czynnikami chorobotwórczymi. Mechanizmy odpornościowe tworzą trzy główne linie obrony:

- pierwsza i druga linia obrony należą do **odporności nieswoistej** (wrodzonej),
- trzecia linia obrony należy do **odporności swoistej** (nabytej).

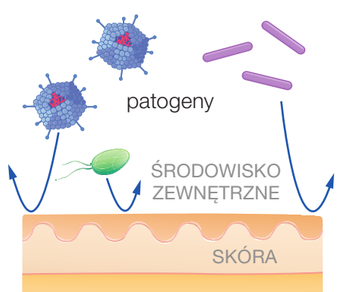
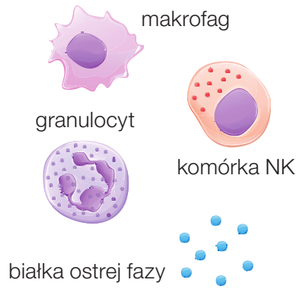
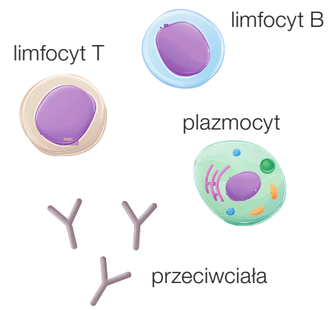
Odporność nieswoista – pierwsza i druga linia obrony

Odporność nieswoista jest uniwersalnym mechanizmem obrony przed infekcją, który występuje u wszystkich organizmów. Działanie tej odporności jest niewybiórcze – oznacza to, że jest skierowane ogólnie przeciwko patogenom. Odporność nieswoista istnieje od momentu narodzin, jest więc **odpornością wrodzoną**, dziedziczoną z pokolenia na pokolenie.

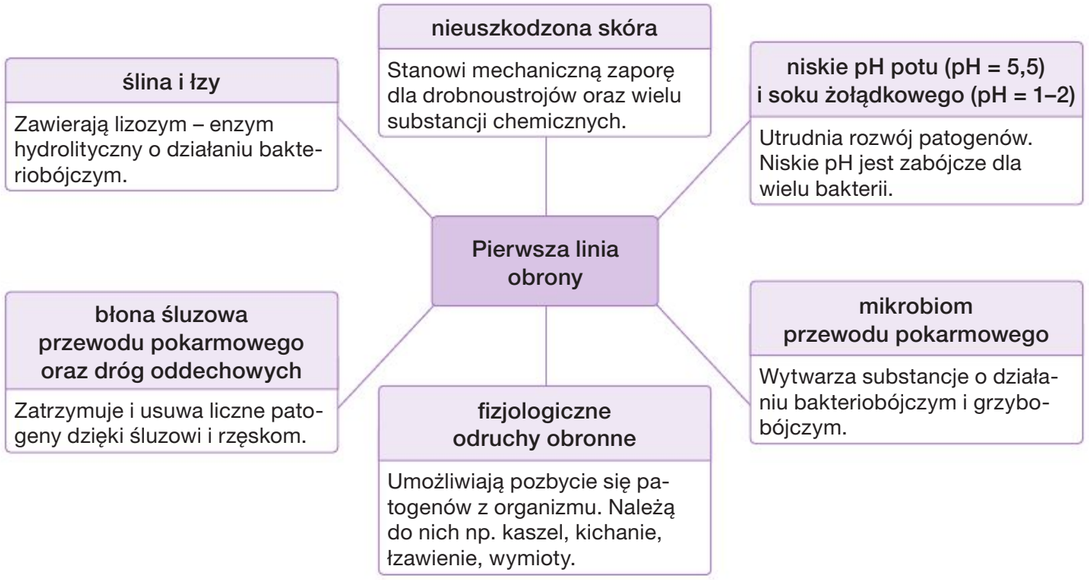
Pierwsza linia obrony

Pierwszą linię obrony stanowią bariery anatomiczne i mechanizmy fizjologiczne niezwiązane z układem odpornościowym. Bariery te hamują wnikanie patogenów do wnętrza organizmu.

Rodzaje odporności

Odporność		
nieswoista		**swoista**
pierwsza linia obrony – bariery ochronne	**druga linia obrony** – obrona komórkowa i obrona chemiczna	**trzecia linia obrony** – obrona komórkowa i obrona chemiczna
		
Pierwsza linia obrony to naturalne bariery anatomiczne (np. nieuszkodzona skóra, błony śluzowe) oraz mechanizmy fizjologiczne (np. kichanie, kaszel, łzawienie), które zapobiegają wnikaniu patogenów do wnętrza organizmu.	Druga linia obrony obejmuje komórki (np. makrofagi, granulocyty) oraz cząsteczki układu odpornościowego (np. białka ostrej fazy, enzymy układu dopełniacza), które niszczą patogeny w sposób nieswoisty – czyli bez rozpoznawania konkretnych antygenów.	Trzecia linia obrony to komórki (np. limfocyty T i B) oraz cząsteczki (przeciwciała), które rozpoznają konkretne antygeny i prowadzą do swoistego zniszczenia patogenów. Ta linia odpowiada za tzw. pamięć immunologiczną umożliwiającą szybszą reakcję podczas ponownego kontaktu z patogenem.

Elementy pierwszej linii obrony



Druga linia obrony

Te patogeny, które wniknęły do organizmu po pokonaniu naturalnych barier anatomicznych i fizjologicznych, trafiają na drugą linię obrony. Należą do niej:

- **komórki żerne**, m.in. makrofagi i granulocyty, komórki NK wyzwalające apoptozę,
- **czynniki humoralne**, takie jak białka ostrej fazy czy enzymy układu dopełniacza.

Nieswoista reakcja odpornościowa (zarówno pierwszej, jak i drugiej linii obrony) 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.

Dowiedz się więcej

Wzorce molekularne związane z patogenami

Komórki uczestniczące w nieswoistej reakcji odpornościowej (druga linia obrony) nie mają zdolności rozpoznawania konkretnych antygenów. Jednak dzięki odpowiednim receptorom rozpoznają tzw. wzorce molekularne związane z patogenami.

Do wzorców molekularnych związanych z patogenami należą cząsteczki, które:

- nie występują u człowieka,
- są konieczne do przeżycia drobnoustrojów,
- są charakterystyczne dla dużych grup drobnoustrojów,
- podlegają bardzo powolnym zmianom ewolucyjnym.

Przykłady wzorców molekularnych związanych z patogenami		
mureina (składnik ścian komórkowych bakterii)	**chityna** (składnik ścian komórkowych grzybów)	**dwuniciowy RNA** występujący u niektórych wirusów

Odporność swoista – trzecia linia obrony

Odporność swoista występuje wyłącznie u kręgowców. Działa ona wybiórczo – jest skierowana przeciwko ściśle określonym antygenom. Odporność swoista kształtuje się w ciągu życia, co oznacza, że jest **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 specyficznych receptorów powierzchniowych.

Komórki oraz substancje biorące udział w swoistych reakcjach odpornościowych stanowią trzecią linię obrony organizmu. Efekty jej działania to:

- **ostateczne zniszczenie patogenów**,
- **wytworzenie pamięci immunologicznej**, która zapewnia skuteczniejszą reakcję odpornościową w przypadku powtórnego kontaktu z tym samym antygenem.

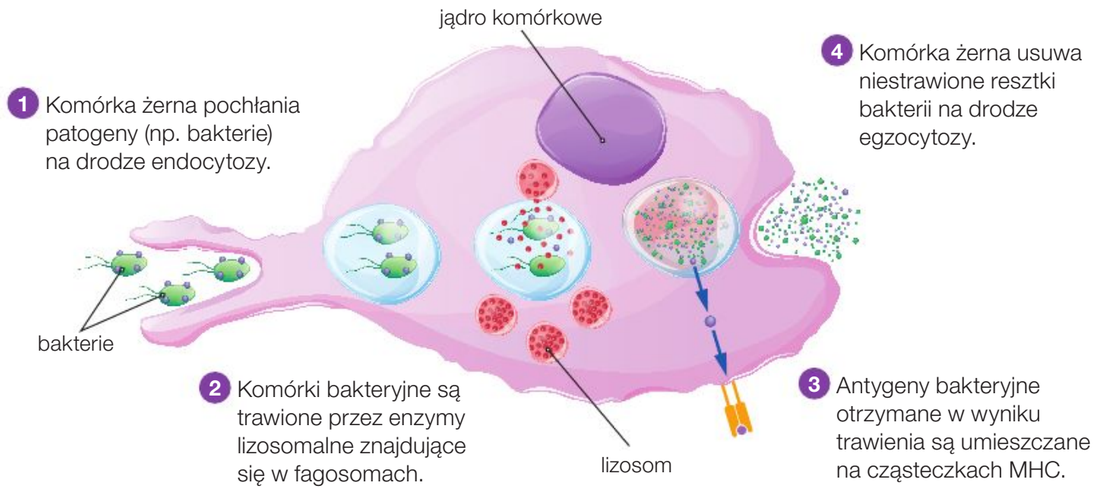
Typy odporności swoistej	
odporność komórkowa	**odporność humoralna**
• Zachodzi z udziałem komórek układu odpornościowego. • Polega na niszczeniu komórek rozpoznawanych jako obce przez komórki układu odpornościowego, głównie limfocyty Tc.	• Zachodzi z udziałem cząsteczek związków chemicznych – przeciwciał. • Polega na niszczeniu antygenów z udziałem cząsteczek, głównie przeciwciał wytwarzanych przez aktywowane limfocyty B.

Odpowiedź immunologiczna

Odpowiedź immunologiczna to ciąg reakcji obronnych zmierzających do wyeliminowania czynnika chorobotwórczego, który pojawił się w organizmie. Na początku duże znaczenie mają mechanizmy **odporności nieswoistej** (pierwsza i druga linia obrony), ponieważ odpowiedź z ich udziałem pojawia się najszybciej. Po pewnym czasie rozwijają się mechanizmy **odporności swoistej** (trzecia linia obrony), w których główną rolę odgrywają limfocyty T i B.

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

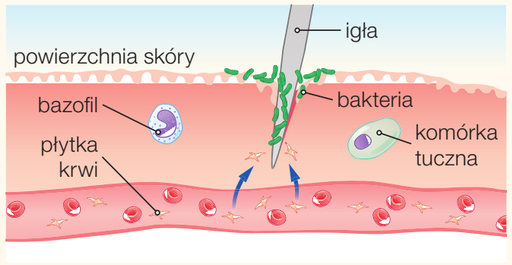
Odporność nieswoista jest niewybiórczo skierowana przeciwko patogenom. Działa od momentu narodzin, jest więc odpornością wrodzoną.

Reakcja zapalna – uogólniona reakcja immunologiczna

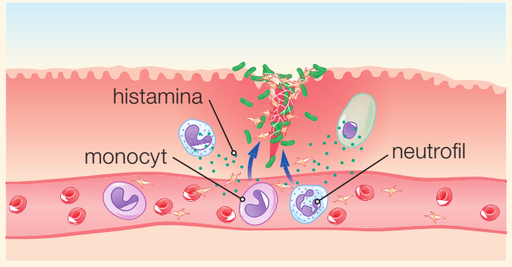
Reakcja zapalna (stan zapalny) to ciąg procesów, w których biorą udział różne komórki układu odpornościowego oraz czynniki humoralne, np. białka ostrej fazy. Reakcja zapalna zapobiega rozprzestrzenianiu się patogenów do pobliskich tkanek oraz umożliwia usuwanie martwych komórek.
Do objawów stanu zapalnego 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.

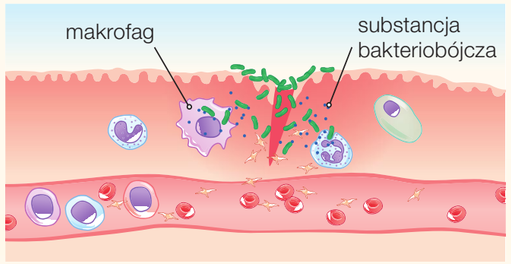
Przebieg reakcji zapalnej na przykładzie zranienia



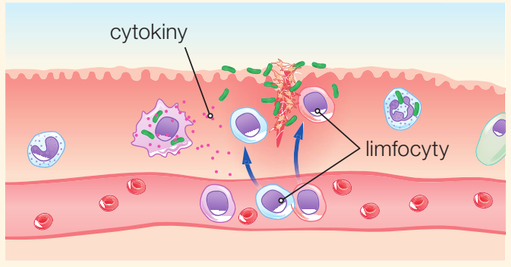
1 Do zranionego miejsca przedostają się bakterie lub inne patogeny. Z naczyń krwionośnych uwalniają się płytki krwi, które gromadzą się w miejscu zranienia. Uszkodzone tkanki i płytki krwi wydzielają czynniki rozpoczynające proces krzepnięcia krwi.



2 Komórki tuczne oraz bazofile znajdujące się w obrębie uszkodzonej tkanki wydzielają histaminę, która zwiększa przepuszczalność naczyń krwionośnych.



3 Komórki żerne – makrofagi i neutrofile – niszczą bakterie na drodze fagocytozy. Dodatkowo wydzielają substancje zabijające patogeny.



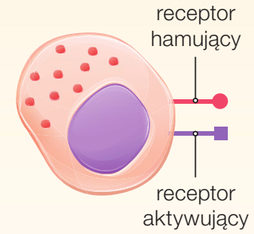
4 Makrofagi zaczynają wydzielać cytokiny, które przyciągają komórki odpornościowe w miejsce zranienia i aktywują komórki zaangażowane w naprawę tkanek. Stan zapalny trwa do momentu wyeliminowania patogenów i martwych komórek oraz całkowitej regeneracji tkanek.

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 wydzielają związki cytotoksyczne (powodujące śmierć komórek), m.in.:

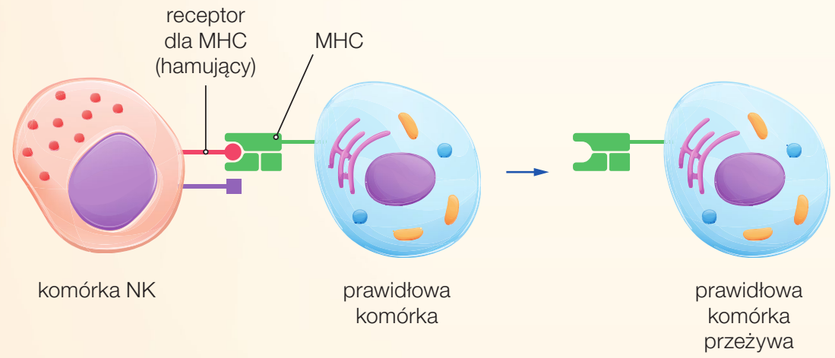
- perforynę – białko, które niszczy błony komórkowe,
- granzymy – enzymy hydrolityczne, które rozkładają m.in. białka cytozolowe i jądrowe oraz zapoczątkowują proces apoptozy.



Na powierzchni komórek NK znajdują się receptory hamujące i receptory aktywujące. Pierwsze z nich rozpoznają cząsteczki MHC komórek prawidłowych, a drugie – specjalne cząsteczki aktywujące, które są charakterystyczne dla komórek nieprawidłowych.

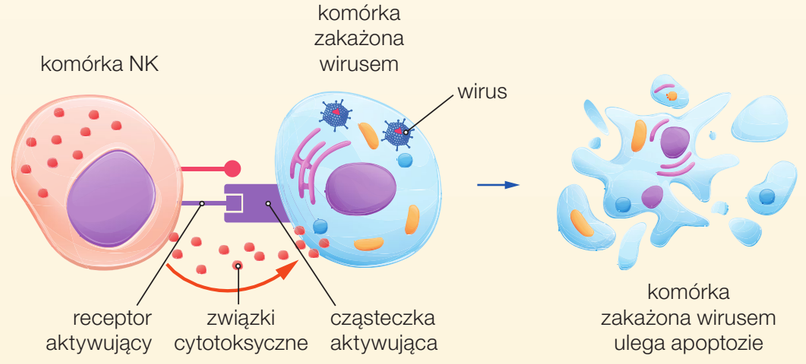
Komórka NK + komórka prawidłowa

Prawidłowe komórki organizmu mają na swojej powierzchni cząsteczki MHC. Komórki NK rozpoznają te cząsteczki za pomocą receptorów hamujących i nie zabijają komórek.



Komórka NK + komórka nieprawidłowa

Niektóre z komórek zakażonych wirusem oraz komórek nowotworowych nie mają na swojej powierzchni cząsteczek MHC, zawierają jednak specjalne cząsteczki aktywujące. Komórki NK rozpoznają takie komórki jako niebezpieczne dla organizmu i je zabijają.



Odporność swoista

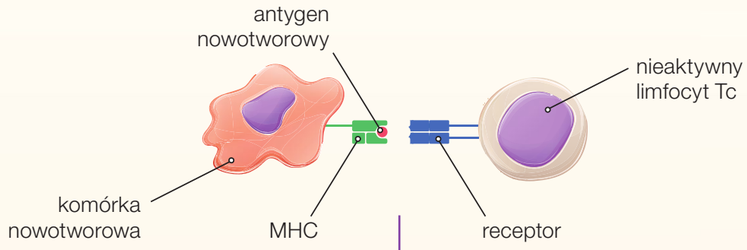
Odporność swoista jest skierowana przeciwko określonym antygenom rozpoznawanym przez specyficzne receptory limfocytów. Kształtuje się ona w ciągu życia, jest więc odpornością nabytą.

Swoista odpowiedź komórkowa

Swoista odpowiedź komórkowa jest skierowana przeciw antygenom wewnątrzkomórkowym, głównie wirusowym i nowotworowym, prezentowanym na MHC. Biorą w niej udział przede wszystkim limfocyty Tc (cytotoksyczne), które powodują apoptozę nieprawidłowych komórek.

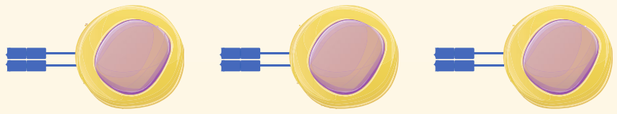
Etapy reakcji odpornościowej na przykładzie komórki nowotworowej

1 Komórka nowotworowa prezentuje antygen na MHC.

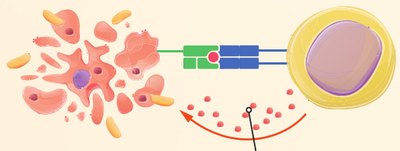


2 Limfocyt Tc rozpoznaje antygen nowotworowy związany z cząsteczką MHC i ulega aktywacji.

3 Aktywny limfocyt Tc wielokrotnie dzieli się mitotycznie.



4a Część limfocytów Tc przylega do komórek nowotworowych i wydziela cytotoksyczne związki. W efekcie komórka nowotworowa ulega apoptozie.



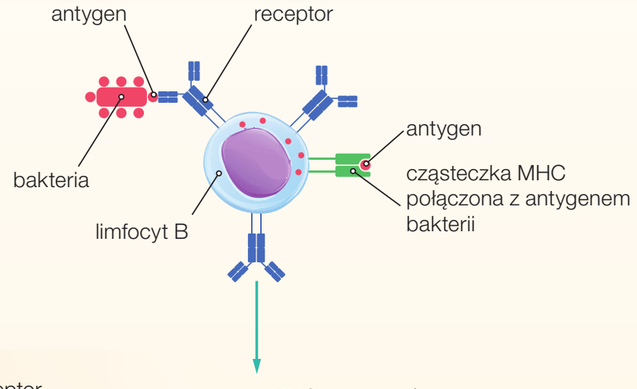
4b Pozostała część limfocytów Tc staje się komórkami pamięci.

Swoista odpowiedź humoralna

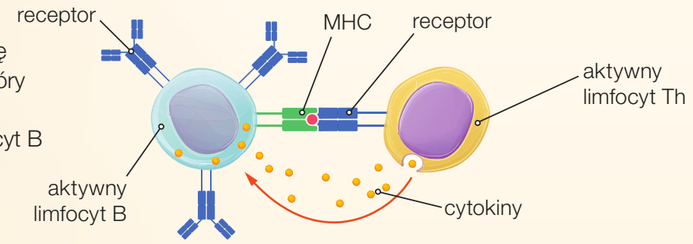
W odpowiedzi swoistej typu humoralnego biorą udział przeciwciała produkowane przez komórki plazmatyczne, czyli aktywne limfocyty B. Aktywacja limfocytów B jest dwuetapowa. Podczas pierwszego etapu limfocyt B rozpoznaje antygen za pomocą właściwego receptora, a następnie prezentuje go na cząsteczkach MHC. Natomiast na drugim etapie limfocyt B łączy się z aktywnym limfocytem Th. Po zakończonej aktywacji limfocyt B zmienia ekspresję genów i zaczyna produkować przeciwciała swoiste dla antygenu.

Etapy reakcji odpornościowej na przykładzie komórki bakteryjnej

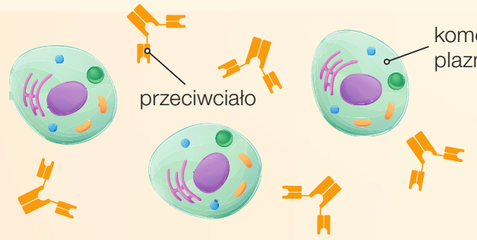
1 Limfocyt B rozpoznaje antygen bakteryjny za pomocą specyficznego receptora. Następnie pochłania antygen (pinocytoza) i prezentuje go na MHC.



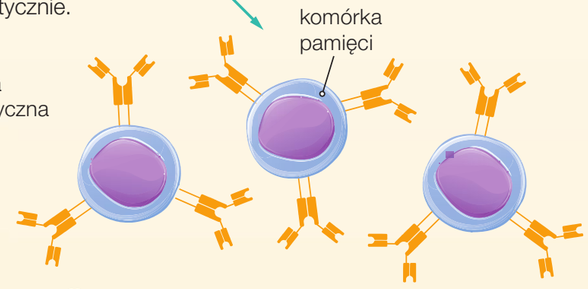
2 Z limfocytem B łączy się aktywny limfocyt Th, który wydziela cytokiny. Pod wpływem cytokin limfocyt B ulega aktywacji.



3 Aktywny limfocyt B 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.

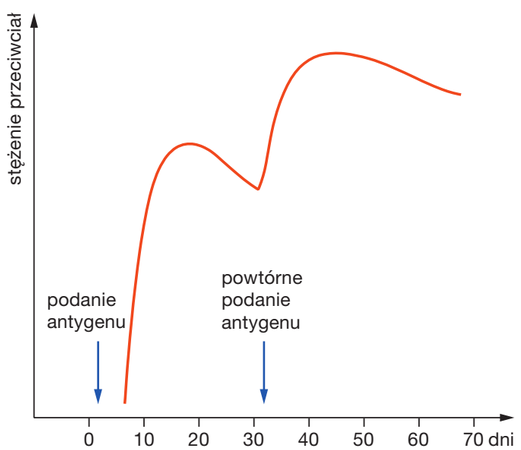
Porównanie rodzajów odporności

Odporność	
nieswoista	**swoista**
• Uniwersalny mechanizm obrony przed infekcją, który występuje u wszystkich organizmów. • Działa niewybiórczo – jest skierowana ogólnie przeciwko patogenom. • Istnieje od momentu narodzin, jest odpornością wrodzoną, dziedziczoną z pokolenia na pokolenie. • Składają się na nią mechanizmy odpornościowe pierwszej i drugiej linii obrony.	• Występuje wyłącznie u kręgowców. • Działa wybiórczo – jest skierowana przeciwko ściśle określonym antygenom. • Kształtuje się w ciągu życia – jest odpornością nabytą, nieprzekazywaną potomstwu w procesie dziedziczenia. • Składają się na nią mechanizmy odpornościowe trzeciej linii obrony.

Pierwotna i wtórna odpowiedź immunologiczna

Pierwotna odpowiedź immunologiczna to odpowiedź na pierwszy kontakt z antygenem. Jest ona 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. W kształtowaniu pamięci immunologicznej uczestniczą:

- 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.



Stężenie przeciwciał w odpowiedziach immunologicznych: pierwotnej i wtórnej.

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) oraz **silniejsza** niż pierwotna odpowiedź immunologiczna (komórki plazmatyczne produkują więcej przeciwciał).

Szczepienia ochronne

Szczepionki są preparatami biologicznymi, które mają na celu pobudzenie układu odpornościowego do wytworzenia odporności na określoną chorobę. Szczepionki (w zależności do rodzaju) mogą zawierać:

- inaktywowane (martwe) patogeny – np. szczepionka przeciw polio,
- osłabione, żywe patogeny, które nie wywołują choroby u zdrowych osób – np. szczepionki przeciw odrze, śwince, różyczce i gruźlicy,
- informacje genetyczne patogenu (np. mRNA lub fragmenty materiału genetycznego wirusa, które zawierają instrukcję dla komórek do produkcji antygenu) – np. szczepionki przeciw COVID-19,
- wybrane fragmenty patogenu (np. białka lub unieszkodliwione toksyny) – np. szczepionki przeciw HPV i WZW typu B.

Szczepienie uruchamia w organizmie odpowiedź immunologiczną bez wywoływania choroby. Prowadzi to do powstania pamięci immunologicznej, co zabezpiecza organizm przed rozwojem choroby w razie ponownego kontaktu z antygenem. W przypadku wielu chorób jest to jedyny sposób zapobiegania lub łagodzenia ich przebiegu.

Odporność swoista czynna i odporność swoista bierna

W zależności od sposobu, w jaki organizm nabywa odporność, wyróżnia się odporność swoistą czynną i odporność swoistą bierną. **Odporność swoista czynna** powstaje w wyniku samodzielnej odpowiedzi układu odpornościowego na kontakt z antygenem. Uzyskuje się ją po szczepieniu lub przebytej chorobie. **Odporność swoista bierna** polega na wprowadzeniu do organizmu gotowych przeciwciał skierowanych przeciwko konkretnym antygenom. W taki sposób uzyskuje odporność organizm noworodka, który otrzymuje przeciwciała od matki w czasie rozwoju płodowego (za pośrednictwem łożyska) oraz po urodzeniu (podczas karmienia piersią). Odporność swoistą bierną uzyskuje się również w wyniku podania **surowicy odpornościowej** (antytoksyny) – preparatu zawierającego przeciwciała wytworzone przez inny organizm. Surowice odpornościowe podaje się, aby szybko unieszkodliwić antygen – nie dają one jednak trwałej odporności, np. surowica przeciwtężcowa oraz surowice neutralizujące jad węży.

Surowice neutralizujące jad węży otrzymuje się w wyniku podania jadu innym organizmom, które wytwarzają przeciwciała, m.in. koniom.

Rodzaje odporności swoistej

Odporność swoista			
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 oraz limfocytów B i T pamięci 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. Przedstaw różnicę między odpornością swoistą a odpornością nieswoistą oraz różnicę między odpornością humoralną a odpornością komórkową.
2. Opisz przebieg reakcji zapalnej.
3. Określ, jak szczepionki wpływają na tworzenie się pamięci immunologicznej.
4. Rozstrzygnij, czy po otrzymaniu surowicy odpornościowej w organizmie wytworzą się komórki pamięci. Odpowiedź uzasadnij.

7.3. Zaburzenia funkcjonowania układu odpornościowego

Ważne w tym temacie!

- zaburzenia funkcjonowania układu odpornościowego (nadmierna i osłabiona odpowiedź immunologiczna)
- znaczenie zgodności tkankowej w transplantologii
- sytuacje wymagające immunosupresji (przeszczepy, alergie, choroby autoimmunizacyjne)

Czasem – pod wpływem czynników zewnętrznych lub wewnętrznych – układ odpornościowy zaczyna działać nieprawidłowo. W takich sytuacjach może on skierować mechanizmy obronne np. w stronę komórek i tkanek własnego organizmu lub przyczyniać się do powstania różnych chorób. Zaburzenia działania układu odpornościowego 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

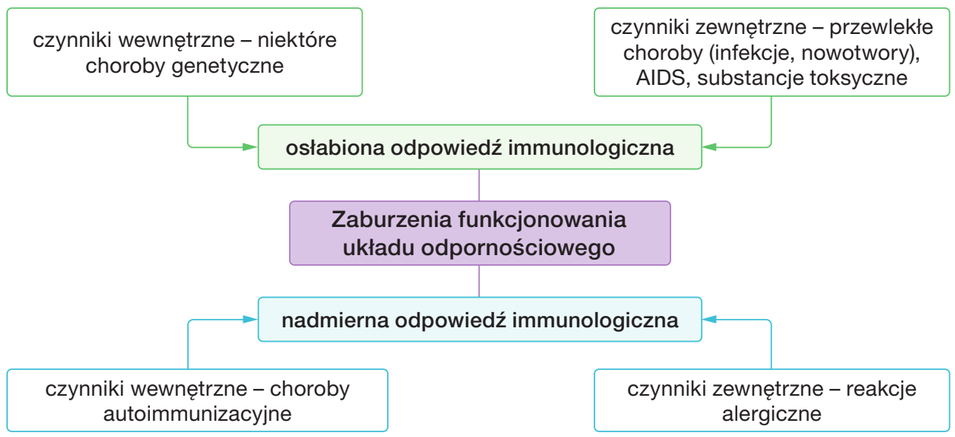
Zdolność układu odpornościowego do odpowiedzi immunologicznej może zostać zmniejszona lub całkowicie zahamowana. Jest to tzw. **stan niedoboru odporności**, który zwiększa prawdopodobieństwo rozwoju nowotworów i sprawia, że choroby mają cięższy przebieg.

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

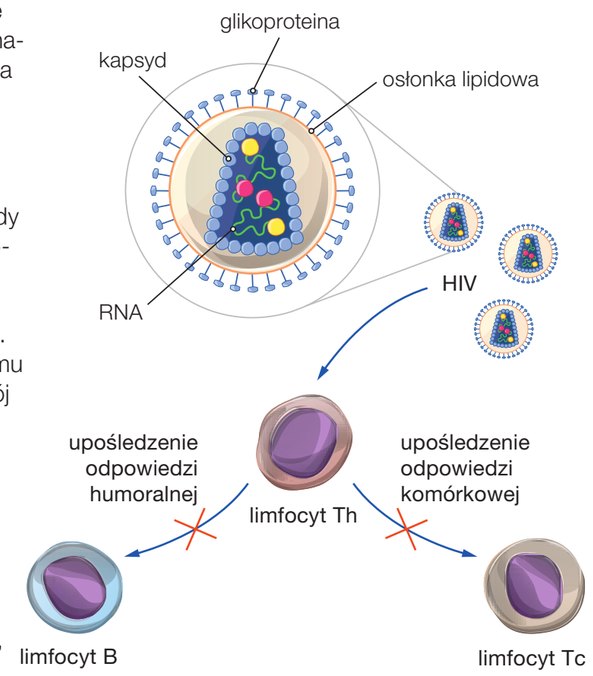
Zaburzenia działania układu odpornościowego mogą też polegać na nadmiernej reakcji na czynniki nieszkodliwe, przy czym czynniki zewnętrzne prowadzą do rozwoju alergii, a czynniki wewnętrzne – do rozwoju **chorób autoimmunizacyjnych** (autoimmunologicznych).



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 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 (przeniesienie zakażenia z matki na dziecko),
  - 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 ze zwykle 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:

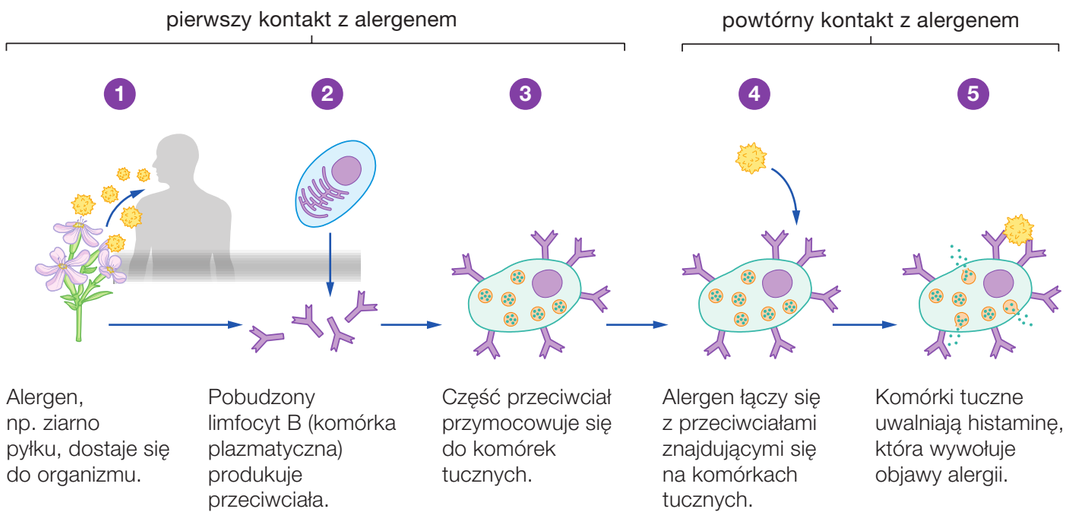
- **alergeny kontaktowe** (np. nikiel, środki czystości) – powodują m.in. zaczerwienienie, łuszczenie się i pękanie skóry,
- **alergeny wziewne** (np. ziarna pyłku, zarodniki grzybów) – powodują m.in. kichanie, ból gardła, duszności i łzawienie,
- **alergeny pokarmowe** (np. orzechy, mleko) – wywołują m.in. bóle brzucha, wymioty i biegunkę.

Pierwszy kontakt z alergenem nie daje objawów alergii. Aktywuje on jednak limfocyty B, które wytwarzają przeciwciała klasy IgE skierowane przeciw alergenowi. Wytworzone przeciwciała wiążą się z powierzchnią komórek tucznych i granulocytów zasadochłonnych. 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 nasila objawy reakcji alergicznej, dlatego w leczeniu alergii zwykle stosuje się leki antyhistaminowe. W przypadku ciężkich objawów alergii lekarz może przypisać **leki immunosupresyjne** (leki osłabiające funkcjonowanie układu odpornościowego), np. kortykosteroidy (tzw. sterydy). Hamują one odpowiedź immunologiczną, co może złagodzić objawy alergii.

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

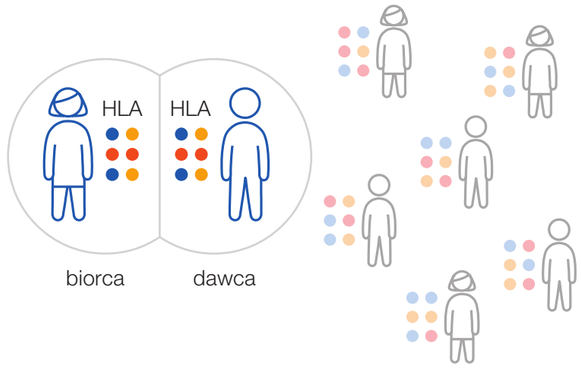
Mechanizm powstawania reakcji alergicznej



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 biorcy ze względu na różnice w zestawach antygenów zgodności tkankowej – MHC (HLA).

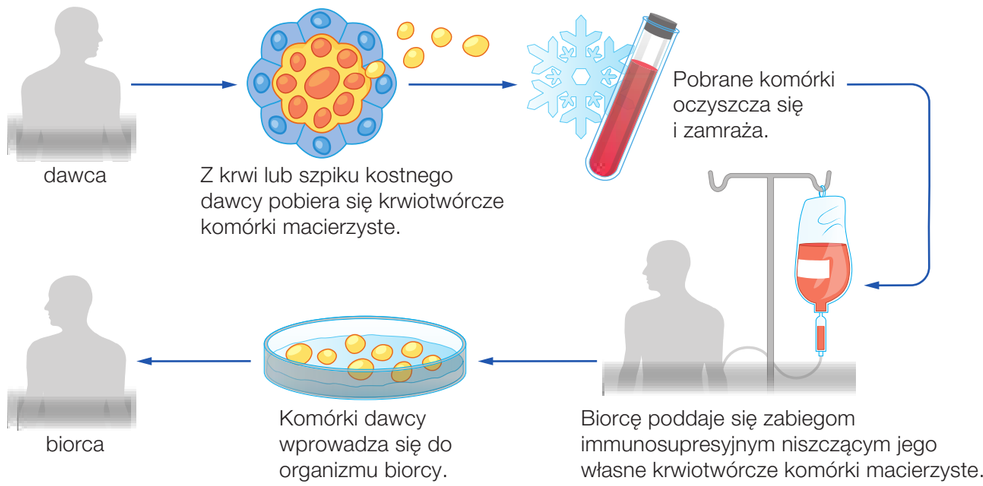
Aby zmniejszyć ryzyko odrzucenia przeszczepu, przed transplantacją wykonuje się testy zgodności tkankowej i oznaczenia grup krwi między biorcą a ewentualnymi dawcami. Im wyższy stopień zgodności tkankowej, czyli im więcej antygenów HLA dawcy i biorcy jest identycznych, tym mniejsze ryzyko odrzucenia przeszczepu. To dlatego poszukiwanie dawców zaczyna się wśród członków najbliższej rodziny. Największe prawdopodobieństwo zgodności tkankowej występuje wtedy, gdy dawcą jest bliźniak jednojajowy. Ponadto u biorcy stosuje się zabiegi immunosupresyjne (np. zniszczenie szpiku kostnego przez promieniowanie) i **leki immunosupresyjne** (np. cyklosporynę, kortykosteroidy), aby osłabić funkcjonowanie układu immunologicznego. Zmniejsza to ryzyko odrzucenia przeszczepu, ale zwiększa tym samym ryzyko infekcji.



Między dawcą a biorcą przeszczepu powinna występować jak największa zgodność antygenów HLA. Dzięki temu ryzyko odrzucenia przeszczepu będzie mniejsze.

Znaczenie immunosupresji w transplantacji szpiku kostnego

Podczas przeszczepu 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 (autoimmunologicznych). W leczeniu tych chorób stosuje się leki immunosupresyjne (np. kortykosteroidy), które osłabiają reakcję immunologiczną organizmu skierowaną przeciwko własnym antygenom.

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 z bielactwem powinny unikać słońca, ponieważ brak melaniny w miejscu zmian skórnych zwiększa ryzyko poparzeń słonecznych i nowotworów skóry.

Na skórze osób z bielactwem występują obszary pozbawione melaniny.

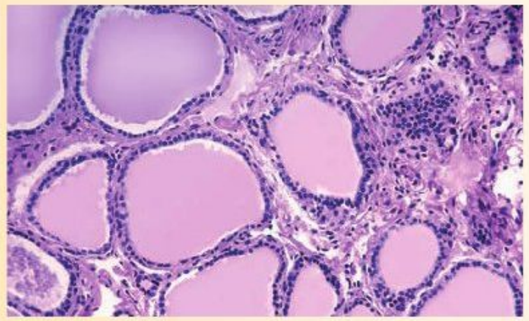
Reumatoidalne zapalenie stawów

Jest przewlekłym autoimmunologicznym stanem zapalnym 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.

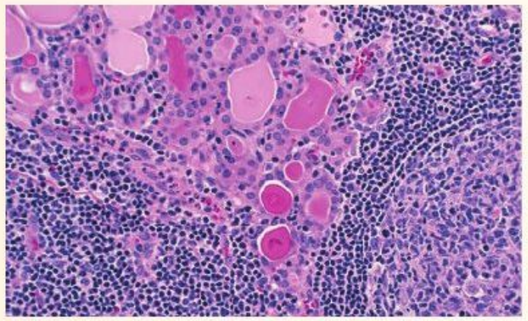
Reumatoidalne zapalenie stawów prowadzi do uszkodzenia chrząstek, więzadeł i ścięgien, zwłaszcza w mniej obciążonych stawach (np. w stawach palców).

Zapalenie tarczycy typu Hashimoto

Zapalenie tarczycy typu Hashimoto [wym. haszimoto] jest jedną z najczęstszych chorób autoimmunizacyjnych i jedną z najczęstszych przyczyn **niedoczynności tarczycy**. Polega na niszczeniu komórek tarczycy przez limfocyty. Objawami zapalenia tarczycy typu Hashimoto są m.in. chroniczne zmęczenie, wzrost masy ciała, uczucie zimna, bóle stawów i mięśni oraz obecność przeciwciał anty-TG we krwi. W jego 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 z zapaleniem tarczycy typu 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. Podaj trzy czynniki, które mogą spowodować osłabienie odpowiedzi immunologicznej.
2. Rozstrzygnij, czy nadmierna odpowiedź immunologiczna może stanowić zagrożenie dla życia człowieka. Odpowiedź uzasadnij.
3. Na podstawie podręcznika i innych wiarygodnych źródeł przygotuj prezentację dotyczącą wybranej choroby autoimmunizacyjnej.
4. Opisz mechanizm powstawania reakcji alergicznej.
5. Wyjaśnij, dlaczego trudno znaleźć dawców narządów do przeszczepów spośród osób nienależących do najbliższej rodziny chorego.

Podsumowanie

1 Budowa i funkcje układu odpornościowego

Układ odpornościowy

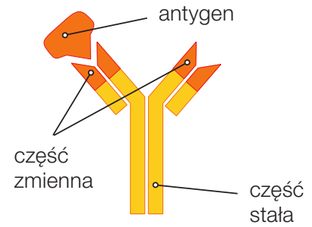
budowa	funkcje
• tkanki i narządy układu limfatycznego • komórki wyspecjalizowane w reakcjach obronnych • cząsteczki uczestniczące w reakcjach odpornościowych	• rozpoznawanie patogenów i odróżnianie antygenów własnych od antygenów obcych • zwalczanie infekcji • usuwanie nieprawidłowych komórek własnego organizmu

2 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. Zachodzą w niej reakcje odpornościowe przeciwko obcym cząsteczkom, które znalazły się we krwi.
Węzły chłonne	Filtrują limfę, zatrzymują i neutralizują patogeny. Namnażają się w nich limfocyty T i B. Występują w nich przeciwciała.
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	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 komórki układu odpornościowego, wpływają na ich wzrost i podziały.
Białka układu dopełniacza	Wspomagają działanie przeciwciał podczas zwalczania infekcji.

3 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.

4 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.

5 Rodzaje odporności

Odporność

nieswoista (wrodzona)	swoista (nabyta)
• Jest wymierzona przeciwko wszystkim antygenom. • Działa szybko, w momencie zagrożenia. • Istnieje od momentu narodzin.	• Jest wymierzona przeciwko konkretnemu antygenowi. • Rozwija się powoli, działa szybciej podczas kolejnego kontaktu z antygenem. • Rozwija się w ciągu życia.

bariery obronne	obrona komórkowa i chemiczna	rozpoznanie i zlikwidowanie patogenu
• skóra, błony śluzowe i ich wydzieliny • odruchy obronne (kichanie, kaszel)	• neutrofile, makrofagi, komórki NK • cytokiny, białka ostrej fazy	• limfocyty T i B • przeciwciała
pierwsza linia obrony	druga linia obrony	trzecia linia obrony

6 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.

7 Rodzaje odporności swoistej wyróżniane ze względu na to, które elementy układu odpornościowego są zaangażowane w reakcję odpornościową

Odporność

komórkowa	humoralna
• Polega na niszczeniu komórek rozpoznawanych jako obce przez komórki układu odpornościowego, głównie limfocyty Tc.	• Polega na niszczeniu antygenów z udziałem cząsteczek, głównie przeciwciał wytwarzanych przez aktywowane limfocyty B.

8 **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 podczas ponownego wniknięcia antygenu, czyli **wtórną odpowiedź immunologiczną**.

9 **Sposoby nabywania odporności swoistej**

Sposób nabywania odporności swoistej

czynny
- Organizm wytwarza przeciwciała na skutek kontaktu z antygenem.

naturalny
- po przebytej chorobie

sztuczny
- po podaniu szczepionki

bierny
- Organizm otrzymuje przeciwciała wytworzone przez inny organizm.

naturalny
- od matki, np. przez łożysko

sztuczny
- po podaniu surowicy

10 **Reakcje układu odpornościowego**

Zaburzenia funkcjonowania układu odpornościowego

nadmierna reakcja immunologiczna

Organizm reaguje zbyt intensywnie na nieszkodliwy czynnik.

choroby autoimmunizacyjne

Polegają na autoagresji, czyli reakcji odpornościowej skierowanej przeciwko własnym tkankom organizmu. Przykłady: reumatoidalne zapalenie stawów, zapalenie tarczycy typu Hashimoto, łuszczyca, bielactwo nabyte.

choroby alergiczne

Polegają na nieprawidłowej, wzmożonej odpowiedzi immunologicznej na zazwyczaj niegroźny czynnik zewnętrzny zwany alergenem. Pierwszy kontakt zwykle nie wywołuje reakcji, drugi – doprowadza do reakcji alergicznych.

zbyt słaba reakcja immunologiczna

Zdolność układu odpornościowego do odpowiedzi immunologicznej jest osłabiona – następuje niedobór odporności.

Czynniki wpływające na złą kondycję układu odpornościowego:
- tryb życia (stres, niewłaściwa dieta, brak aktywności fizycznej, używki),
- niektóre choroby genetyczne,
- choroby układu immunologicznego (np. AIDS),
- osłabienie organizmu przez przewlekłe choroby lub w wyniku leczenia.

11 **Immunosupresja** – zmniejszenie odporności organizmu. Immunosupresja jest stosowana u pacjentów po przeszczepie, w leczeniu chorób autoimmunizacyjnych i w łagodzeniu objawów alergii.

Sposób na zadania

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Reakcja zapalna to ciąg procesów, w których biorą udział różne komórki układu odpornościowego oraz czynniki humoralne. Reakcja ta zapobiega rozprzestrzenianiu się patogenów w organizmie i umożliwia usuwanie martwych komórek.

Przeczytaj opisy etapów reakcji zapalnej wymienione w tabeli oraz przypomnij sobie przebieg reakcji zapalnej (→ s. 268). Zastanów się, które procesy zachodzą wcześniej, a które później.

a) Ustal właściwą kolejność etapów reakcji zapalnej w przypadku zranienia. Przerysuj tabelę do zeszytu i wpisz numery 2.–6. we właściwe miejsca.

Etap	Kolejność
Makrofagi i neutrofile niszczą bakterie na drodze fagocytozy oraz wydzielają substancje zabijające patogeny.	?
Komórki tuczne oraz bazofile znajdujące się w obrębie uszkodzonej tkanki wydzielają histaminę.	?
Bakterie przedostają się do zranionego miejsca.	1
Makrofagi wydzielają cytokiny, które przyciągają komórki odpornościowe w miejsce zranienia i aktywują komórki zaangażowane w naprawę tkanek.	?
Płytki krwi gromadzą się w miejscu zranienia i razem z uszkodzonymi tkankami wydzielają czynniki rozpoczynające proces krzepnięcia krwi.	?
Histamina zwiększa przepuszczalność naczyń krwionośnych, m.in. dla leukocytów.	?

Rozwiązanie:
5, 3, 1, 6, 2, 4

b) Uzupełnij poniższe zdania tak, aby zawierały prawdziwe informacje dotyczące reakcji zapalnej. Wybierz właściwe określenia spośród podanych.

Jeden rodzaj komórek może fagocytować nawet kilkanaście komórek bakterii w ciągu kilku minut. Drugi rodzaj komórek odrywa główną rolę w zwalczaniu pasożytów zwierzęcych. Zastanów się, o którym rodzaju komórek jest mowa w zadaniu.

W reakcji zapalnej biorą udział m.in. komórki żerne, do których zalicza się (*neutrofile* / *bazofile*). Komórki te stanowią element (*pierwszej* / *drugiej*) linii obrony organizmu przed patogenami.

Pierwszą linię obrony stanowią naturalne bariery anatomiczne i fizjologiczne, które zapobiegają wnikaniu patogenów do wnętrza organizmu. Po pokonaniu tych barier działa druga linia obrony. Zastanów się, do której linii obrony należą komórki żerne.

Rozwiązanie:
W reakcji zapalnej biorą udział m.in. komórki żerne, do których zalicza się (*neutrofile* / *bazofile*). Komórki te stanowią element (*pierwszej* / *drugiej*) linii obrony organizmu przed patogenami.

Zadanie analogiczne

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Swoista odpowiedź komórkowa jest skierowana przeciwko antygenom prezentowanym na MHC, np. przeciwko antygenom nowotworowym.

a) Ustal właściwą kolejność etapów swoistej odpowiedzi komórkowej w przypadku obecności w organizmie komórki nowotworowej. Przerysuj tabelę do zeszytu i wpisz numery 2.–5. we właściwe miejsca.

Etap	Kolejność
Część limfocytów Tc przylega do komórek nowotworowych i wydziela związki cytotoksyczne, a pozostała część staje się komórkami pamięci.	?
Komórka nowotworowa prezentuje antygen nowotworowy na MHC.	1
Komórka nowotworowa ulega apoptozie.	?
Limfocyt Tc rozpoznaje antygen nowotworowy związany z cząsteczką MHC i ulega aktywacji.	?
Limfocyt Tc wielokrotnie dzieli się mitotycznie.	?

b) Uzupełnij poniższe zdania tak, aby zawierały prawdziwe informacje dotyczące swoistej odpowiedzi komórkowej. Wybierz właściwe określenia spośród podanych.

Swoista odpowiedz komórkowa jest skierowana m.in. przeciw (*komórkom zakażonym wirusem* / *bakteriom*). Limfocyty Tc uczestniczące w swoistej odpowiedzi komórkowej stanowią element (*drugiej* / *trzeciej*) linii obrony organizmu.

Zadania powtórzeniowe

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 ono odróżnić infekcje bakteryjne od infekcji wirusowych.

a) Uzasadnij, że badanie CRP przyczynia się do ograniczenia stosowania antybiotyków.

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.

2 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) Wybierz nazwę leukocytów, które <u>nie uczestniczą</u> w reakcji alergicznej.

limfocyty, *monocyty*, *neutrofile*, *bazofile*, *eozynofile*

3 „Cynk jest pierwiastkiem śladowym niezbędnym ludziom w wielu procesach metabolizmu komórkowego [...]. Odgrywa rolę w układzie odpornościowym [...]. [...] Niedobór cynku hamuje zarówno odporność wrodzoną, jak i swoistą, zaburza fagocytozę, zabijanie wewnątrzkomórkowe oraz produkcję cytokin przez makrofagi. Nawet niewielkie niedobory cynku mogą upośledzać funkcje makrofagów i neutrofili.

[...] W badaniu wzięło udział 120 dzieci w wieku od 1. do 18. roku życia obojga płci, które były hospitalizowane [...] z powodu nawracających infekcji układu oddechowego oraz chorób atopowych. Dzieci podzielono na dwie grupy – pierwszą grupę stanowili pacjenci z nawracającymi infekcjami, drugą – osoby z atopią. [...] U pacjentów oznaczano stężenie surowicze cynku [...]. [...] W każdej z dwóch grup znalazło się po 60 pacjentów obu płci. [...] Do interpretacji wyników przyjęto wartości referencyjne stężeń cynku 70–120 µg/dl [...]. Spośród wszystkich 120 przyjętych dzieci u 36 (30%) stwierdzono niskie stężenia cynku, u 83 (69%) były one w zakresie wartości referencyjnych [w zakresie normy – red.]. Tylko u 1 pacjenta stwierdzono stężenie wysokie (1%)”.

W poniższej tabeli zebrano wyniki badań przedstawiające średnie stężenie cynku u badanych dzieci z uwzględnieniem powodu hospitalizacji oraz płci.

Powód hospitalizacji	Płeć	Średnie stężenie cynku [µg/dl]
Atopia	dziewczęta	76,60
	chłopcy	83,00
	razem	80,01
Nawracające infekcje	dziewczęta	74,15
	chłopcy	77,60
	razem	75,93

Źródło: E. Stępień, J. Jerzyńska, M. Gwardys, I. Stelmach, *Surowicze stężenia cynku u dzieci z nawracającymi infekcjami i chorobami atopowymi*, „Pediatria i Medycyna Rodzinna” 2022, 16(2), s. 181–183.

a) Wybierz i zaznacz poprawnie sformułowany problem badawczy do przedstawionych badań.

A. Wpływ surowiczego stężenia cynku na częstość hospitalizacji dzieci z powodu atopii i nawracających infekcji układu oddechowego.

B. Wpływ płci na częstość występowania atopii i nawracających infekcji układu oddechowego u dzieci z obniżonym surowiczym stężeniem cynku.

C. Czy płeć wpływa na surowicze stężenie cynku?

D. Czy dziewczęta i chłopcy cierpiący na atopię oraz na nawracające infekcje układu oddechowego mają obniżone surowicze stężenie cynku?

b) Na podstawie danych zawartych w tabeli sformułuj wniosek dotyczący różnicy w średnim surowiczym stężeniu cynku u dzieci hospitalizowanych z powodu atopii oraz u dzieci hospitalizowanych z powodu nawracających infekcji układu oddechowego.

c) Rozstrzygnij, który typ odpowiedzi immunologicznej – odpowiedź immunologiczna wrodzona czy odpowiedź immunologiczna swoista – jest zahamowany w sytuacji, gdy fagocytoza zostanie zaburzona wskutek niedoboru cynku. Odpowiedź uzasadnij.

4 „Toksoplazmoza może mieć [...] bardzo ciężki przebieg u płodów (zarażonych drogą łożyskową) [...].

[...] 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*.

8. Układ moczowy

Fot. Nefrony (obraz spod SEM).

8.1. Osmoregulacja i wydalanie u zwierząt

Ważne w tym temacie!

- osmoregulacja u zwierząt żyjących w różnych środowiskach
- istota procesu wydalania
- związek między środowiskiem życia zwierząt a rodzajem wydalanego azotowego produktu przemiany materii
- układy wydalnicze zwierząt

Prawidłowe działanie organizmu zależy m.in. od właściwej ilości wody i odpowiedniego poziomu elektrolitów, czyli od zachowania równowagi (homeostazy) wodno-elektrolitowej. 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.

Procesy, które utrzymują równowagę wodno-elektrolitową organizmu, określa się mianem **osmoregulacji**. U zwierząt w tych procesach biorą udział: skóra, skrzela, płuca, drogi oddechowe, niektóre gruczoły, narządy wydalnicze oraz jelito. W ciele znajdują się także niepotrzebne i szkodliwe produkty przemiany materii. Ich usuwanie z organizmu nazywa się **wydalaniem**. Za ten proces odpowiadają głównie narządy wydalnicze.

Osmoregulacja u zwierząt

Zwierzęta – w zależności m.in. od środowiska życia – wykształciły różne sposoby zachowania równowagi wodno-elektrolitowej. Do mechanizmów osmoregulacji u zwierząt należą:

- utrzymanie względnie stałej objętości wody w organizmie (bilans wodny),
- utrzymanie względnie stałego stężenia elektrolitów (równowaga elektrolitowa),
- 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

Dla organizmów lądowych największym zagrożeniem jest utrata wody. W środowisku lądowym zwierzęta tracą wodę głównie na skutek jej parowania z powierzchni ciała, a także podczas wydalania. Aby uzupełnić niedobory wody, organizmy te piją ją lub pozyskują z pokarmu. Niektóre zwierzęta mogą chłonąć wodę dzięki przepuszczającym ją powłokom ciała (np. płazy).

Bilans wodny zwierząt lądowych

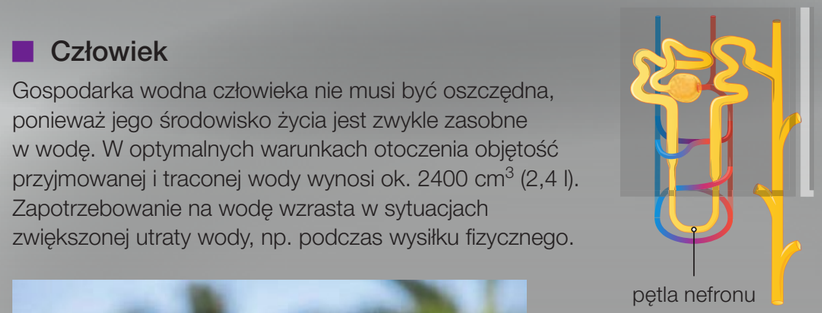
strata wody	zysk wody
• parowanie z powierzchni ciała • parowanie z narządów i dróg oddechowych • wydalanie z moczem • usuwanie z kałem	• picie • pobieranie z pokarmu • wytwarzanie w procesach metabolicznych • wchłanianie z otoczenia

Wpływ warunków środowiska lądowego na osmoregulację

Zwierzęta lądowe zasiedlają zarówno obszary o dużej dostępności 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 objętość przyjmowanej i traconej wody wynosi ok. 2400 cm^3 (2,4 l). Zapotrzebowanie na wodę wzrasta w sytuacjach zwiększonej utraty wody, np. podczas wysiłku fizycznego.



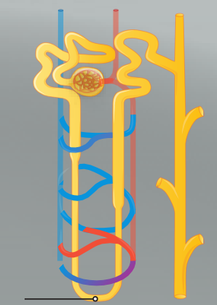
Nerki człowieka są zbudowane z nefronów o krótkich pętlach, w których zachodzi stosunkowo mało wydajne zwrotne wchłanianie wody.

Organizm człowieka zawiera ok. 65% wody.

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.



Nerki szczuroskoczka są zbudowane z nefronów o długich pętlach, w których zwrotne wchłanianie wody zachodzi bardzo wydajnie.

Organizm szczuroskoczka zawiera ok. 65% wody.

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. 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 nieliczne kręgowce;
- **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 zbędne lub szkodliwe produkty uboczne, które muszą zostać wydalone z organizmu do środowiska zewnętrznego.

Produktami ubocznymi utleniania węglowodanów i tłuszczów są:

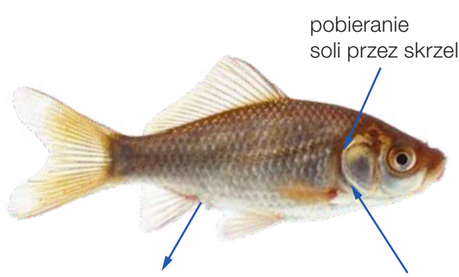
- **dwutlenek węgla**, który jest usuwany przez układ oddechowy,
- **woda**, która jest usuwana przez układ oddechowy, układ moczowy i skórę.

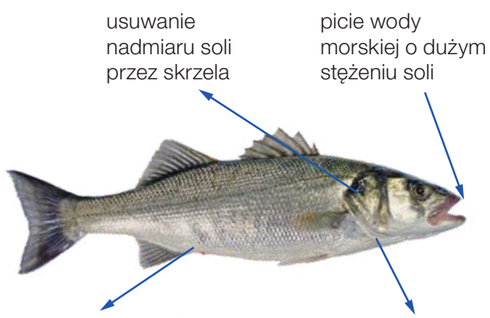
Z kolei w wyniku rozkładu białek i kwasów nukleinowych powstają:

- **dwutlenek węgla**, który jest usuwany przez układ oddechowy,
- **woda**, która jest usuwana przez układ oddechowy, układ moczowy i skórę,
- szkodliwe dla organizmu **związki azotowe**: amoniak, mocznik i kwas moczowy (→ s. 291). Produkty te są wydalane za pośrednictwem układu wydalniczego.

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 niewielką ilość silnie stężonego moczu. Jednocześnie usuwają nadmiar soli mineralnych przez skrzela.

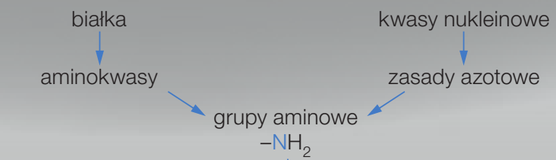




Główne azotowe produkty przemiany materii

Do głównych azotowych produktów przemiany materii należą amoniak, mocznik i kwas moczowy. Ze względu na rodzaj głównego wydalanego związku azotowego wyróżnia się:

- **zwierzęta amonioteliczne**, które wydalają głównie amoniak,
- **zwierzęta ureoteliczne**, które wydalają głównie mocznik,
- **zwierzęta urykoteliczne** (urikoteliczne), które wydalają głównie kwas moczowy.



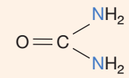
amoniak

NH_3

- Związek silnie toksyczny.
- Jego wytwarzanie nie wymaga nakładów energetycznych.
- Z powodu toksyczności musi być szybko wydalany w dużej objętości rozcieńczonego moczu. To dlatego wydalanie amoniaku powoduje znaczny ubytek wody w organizmie.
- Jest wydalany przez **zwierzęta amonioteliczne**. Należą do nich głównie organizmy wodne, które mają stały dostęp do wody i nie muszą prowadzić oszczędnej gospodarki wodnej, m.in. ryby o kostnym szkielecie, krokodyle, larwy płazów oraz znaczna część bezkręgowców wodnych (np. skorupiaki).

Ryby o kostnym szkielecie, np. błazenki, wydalają głównie amoniak.

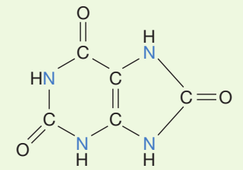
mocznik



- Związek mniej toksyczny od amoniaku, ale bardziej toksyczny od kwasu moczowego.
- Jego synteza wymaga nakładów energetycznych (mniejszych niż synteza kwasu moczowego).
- Jest wydalany w niewielkiej objętości stężonego moczu, co pozwala na oszczędną gospodarkę wodną.
- Jest wydalany przez **zwierzęta ureoteliczne**. Należą do nich głównie zwierzęta lądowe, które są zmuszone do oszczędnej gospodarki wodnej, m.in. ssaki (w tym człowiek), żółwie (w tym żółwie wodne), dorosłe płazy, ryby chrzęstnoszkieletowe oraz niektóre bezkręgowce lądowe (np. skąposzczety).

Ssaki, np. króliki, wydalają głównie mocznik.

kwas moczowy



- Związek najmniej toksyczny.
- Jego synteza wymaga największych nakładów energetycznych.
- Jest słabo rozpuszczalny w wodzie, dlatego jest wydalany w postaci kryształów lub gęstej zawiesiny w minimalnej ilości wody. Wydalanie kwasu moczowego pozwala na najoszczędniejszą gospodarkę wodną.
- Jest wydalany przez **zwierzęta urykoteliczne**. Należą do nich zwierzęta lądowe, które prowadzą bardzo oszczędną gospodarkę wodną związaną z lataniem lub życiem w środowiskach suchych, m.in. ptaki, niektóre gady (węże i jaszczurki) oraz większość bezkręgowców lądowych (np. owady).

Ptaki, np. rudziki, wydalają głównie kwas moczowy.

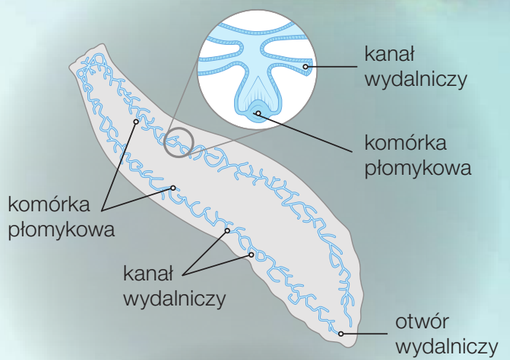
Narządy wydalnicze bezkręgowców

Do podstawowych narządów wydalniczych bezkręgowców należą protonefrydia, metanefrydia i cewki Malpighiego.

Parzydełkowce nie mają układu wydalniczego – zbędne produkty przemiany materii wydalają z komórek na zewnątrz ciała.

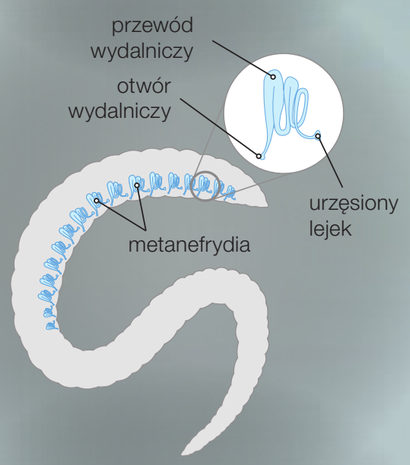
Protonefrydia

Protonefrydia występują u płazińców, niektórych wieloszczetów oraz larw mięczaków. Protonefrydia składają się z systemu kanałów wydalniczych oraz z komórek płomykowych zaopatrzonych w pęczek wici. Komórki płomykowe filtrują płyn tkankowy, a kanały wydalnicze wyprowadzają usuwane związki na zewnątrz ciała.



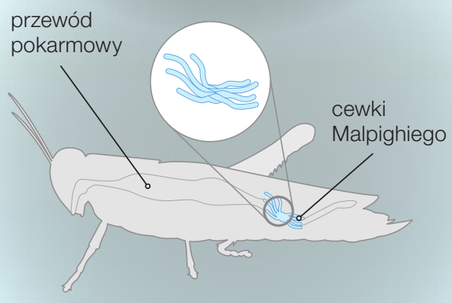
Metanefrydia

Metanefrydia występują u większości pierścienic oraz w formie przekształconej u skorupiaków i mięczaków. W przypadku pierścienic 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.



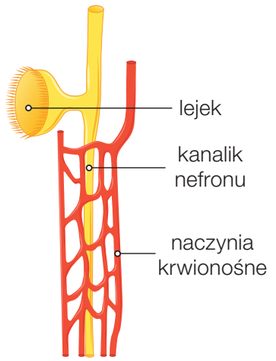
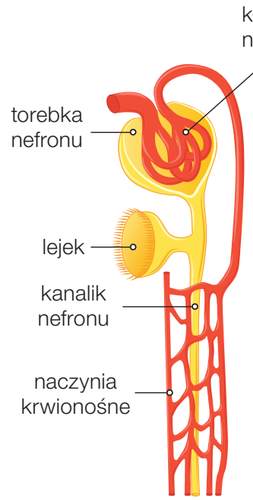
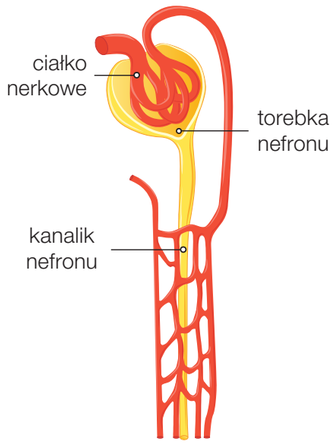
Cewki Malpighiego

Cewki Malpighiego występują u owadów i niektórych pajęczaków. Są to ślepo zakończone, rurkowate uwypuklenia przewodu pokarmowego. Cewki Malpighiego zbierają zbędne produkty przemiany materii z hemolimfy, a następnie przekazują je do wnętrza przewodu pokarmowego. Stamtąd są one usuwane przez otwór odbytowy wraz z niestrawionymi resztkami pokarmu.



Narządy wydalnicze kręgowców

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).

Typy nerek kręgowców		
przednercze	**pranercze**	**zanercze**
		
• Przednercze jest zbudowane z nefronów, które zawierają urzęsione lejki i kanaliki nefronów. Lejki otwierają się do jamy ciała i pobierają z niej zbędne produkty przemiany materii.	• Pranercze jest zbudowane z nefronów – każdy z nich składa się z orzęsionego lejka, ciałka nerkowego i kanalika nefronu. W ciałku nerkowym znajduje się kłębuszek włosowatych naczyń krwionośnych. Tak zbudowana nerka zbiera zbędne produkty przemiany materii z jamy ciała i z krwi.	• Zanercze (nerka właściwa) jest zbudowane z nefronów, które zawierają ciałka nerkowe i kanaliki nefronów, ale nie mają orzęsionych lejków. Zanercza pobierają produkty przemiany materii wyłącznie z krwi.
• Ten typ nerki występuje w rozwoju zarodkowym ryb i płazów (które należą do bezowodniowców).	• Ten typ nerki występuje u dorosłych ryb i płazów, a także w rozwoju zarodkowym gadów, ptaków i ssaków (które należą do owodniowców).	• Ten typ nerki występuje u dorosłych gadów, ptaków i ssaków (czyli dorosłych owodniowców).

Polecenia kontrolne

1. Podaj nazwy trzech związków azotowych wydalanych przez zwierzęta.
2. Wyjaśnij, dlaczego amoniak jest wydalany przede wszystkim przez zwierzęta wodne. W odpowiedzi uwzględnij właściwości amoniaku i dostępność wody w środowisku.
3. Wykaż, że wydalanie azotowych produktów przemiany materii w postaci kwasu moczowego stanowi przystosowanie do życia w środowiskach suchych.
4. Opisz budowę narządów wydalniczych kręgowców.

8.2. Budowa i funkcjonowanie układu moczowego

Ważne w tym temacie!

- istota procesu wydalania, produkty wydalania i narządy wydalnicze
- budowa i funkcje narządów układu moczowego
- proces tworzenia się moczu i znaczenie regulacji hormonalnej w tym procesie

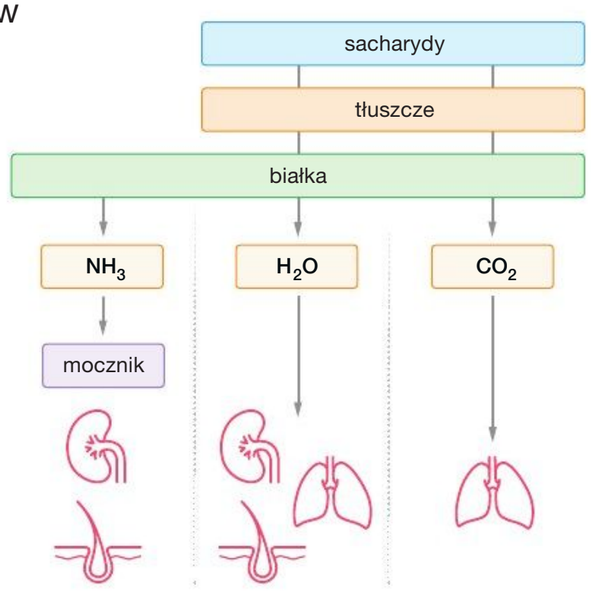
Wydalanie to proces fizjologiczny, który polega na usuwaniu z organizmu zbędnych oraz szkodliwych produktów przemiany materii. Powstają one m.in. w wyniku: oddychania komórkowego, degradacji aminokwasów i kwasów nukleinowych oraz rozkładu obumarłych komórek. Proces wydalania obejmuje również usuwanie 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 jednym z produktów przemian białek jest amoniak (NH_3). Amoniak jest związkiem toksycznym, przekształcanym w wątrobie w mniej toksyczny mocznik.



Mocznik jest usuwany przez nerki i skórę.

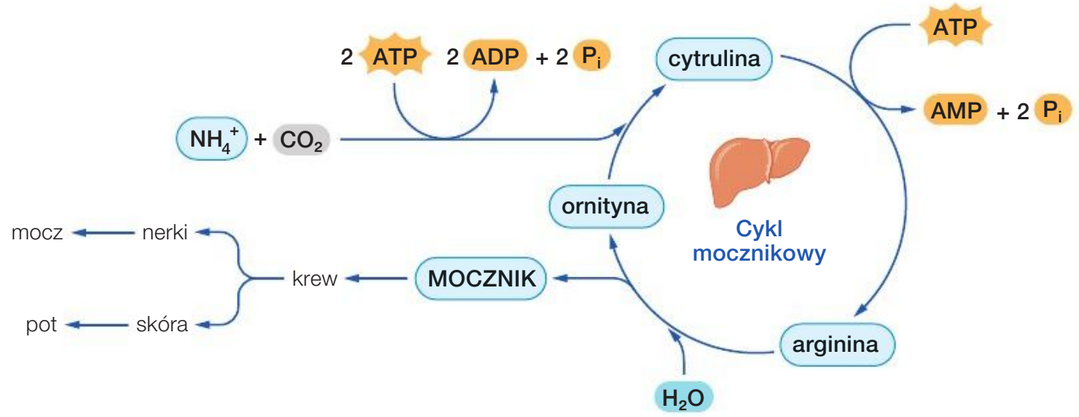
Woda jest usuwana przez nerki, skórę i płuca.

Dwutlenek węgla jest usuwany przez płuca.

Dowiedz się więcej

Cykl mocznikowy

Cykl mocznikowy to proces metaboliczny, podczas którego toksyczny amoniak (w organizmie amoniak występuje w postaci jonów NH_4^+) jest przekształcany w mniej toksyczny mocznik. Proces ten zachodzi w wątrobie. Z wątroby mocznik jest transportowany wraz z krwią do miejsc wydalania – do nerek (jako składnik moczu) i do skóry (jako składnik potu).



Przebieg cyklu mocznikowego.

Budowa układu moczowego

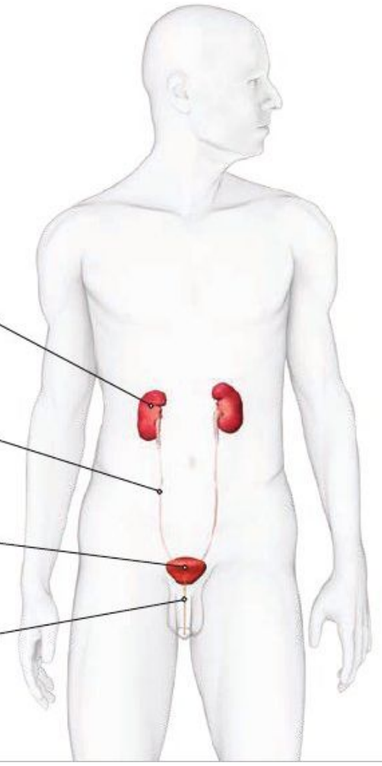
Układ moczowy człowieka składa się z dwóch nerek oraz dróg moczowych, do których należą: dwa moczowody, pęcherz moczowy i cewka moczowa.

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.



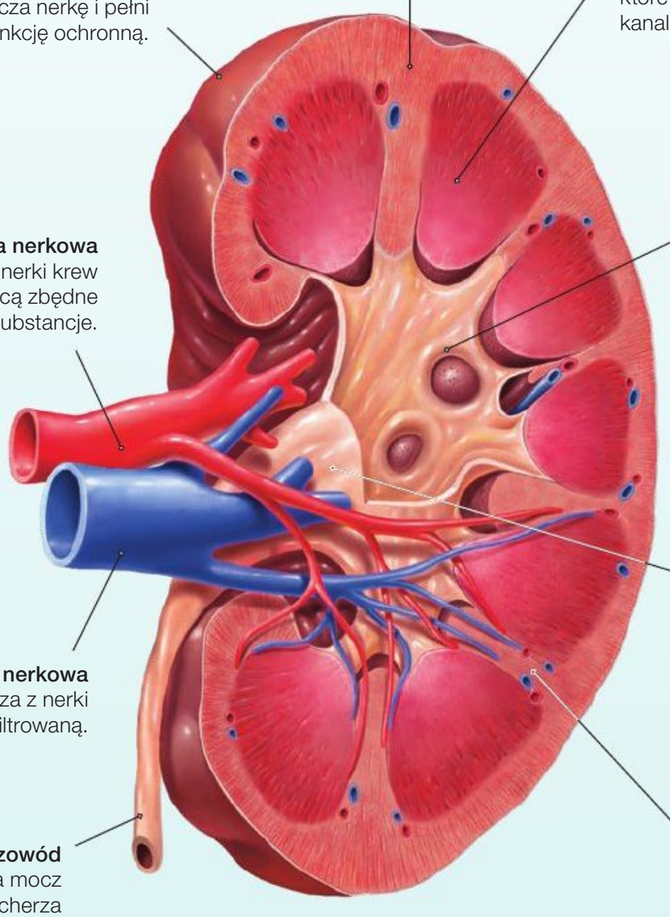
Budowa nerki

W budowie nerki 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 przez kielichy nerkowe i miedniczkę nerkową do dróg moczowych.

Kora nerkowa
jest zewnętrzną warstwą nerki. Zawiera ciałka nerkowe oraz kręte odcinki kanalików nerkowych.

Łącznotkankowa torebka
otacza nerkę i pełni funkcję ochronną.

Rdzeń nerkowy
jest wewnętrzną warstwą nerki. Składa się ze stożków zwanych piramidami nerkowymi, które zawierają proste odcinki kanalików nerkowych.



Kielichy nerkowe
to wyrostki miedniczki nerkowej w kształcie lejków, które zbierają mocz spływający z piramid nerkowych.

Tętnica nerkowa
doprowadza do nerki krew zawierającą zbędne lub szkodliwe substancje.

Miedniczka nerkowa
to rozszerzony początek moczowodu, do którego spływa mocz z kielichów nerkowych.

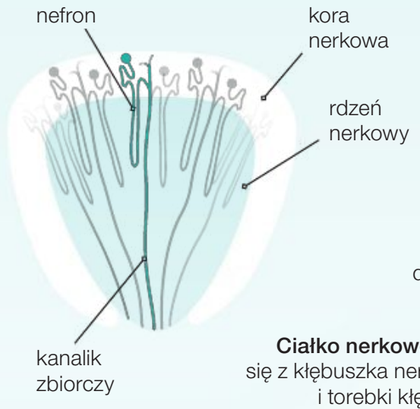
Żyła nerkowa
odprowadza z nerki krew przefiltrowaną.

Słupy nerkowe
to fragmenty kory, które wnikają do rdzenia.

Moczowód
odprowadza mocz z nerki do pęcherza moczowego.

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, pętli nefronu (pętli Henlego) i kanalika krętego II rzędu.



Ciałko nerkowe składa się z kłębuszka nerkowego i torebki kłębuszka.

tętniczka odprowadzająca

tętniczka doprowadzająca

Różnica między średnicą tętniczki doprowadzającej a średnicą tętniczki odprowadzającej powoduje, że do kłębuszka nerkowego napływa więcej krwi, niż z niego odpływa. Skutkuje to wzrostem ciśnienia w kłębuszku, co z kolei zwiększa filtrację krwi.

Kłębuszek nerkowy
to sieć włosowatych naczyń krwionośnych, która jest siecią dziwną tętniczo-tętniczą.

Torebka kłębuszka
jest zbudowana z nabłonka jednowarstwowego płaskiego.

Kanalik kręty I rzędu
jest zbudowany z nabłonka jednowarstwowego sześciennego zaopatrzonego w mikrokosmki.

Kanalik kręty II rzędu jest zbudowany z nabłonka jednowarstwowego sześciennego zaopatrzonego w mikrokosmki.

żyła

tętnica

KORA NERKOWA

RDZEŃ NERKOWY

ramię zstępujące

ramię wstępujące

Kanalik zbiorczy jest zbudowany głównie z nabłonka jednowarstwowego sześciennego zaopatrzonego w mikrokosmki. Do kanalika zbiorczego uchodzą kanaliki kręte II rzędu należące do kilku pobliskich nefronów.

Pętla nefronu jest zbudowana częściowo z nabłonka jednowarstwowego sześciennego zaopatrzonego w mikrokosmki, a częściowo z nabłonka jednowarstwowego płaskiego. Składa się ona z dwóch ramion – zstępującego oraz wstępującego.

Powstawanie moczu

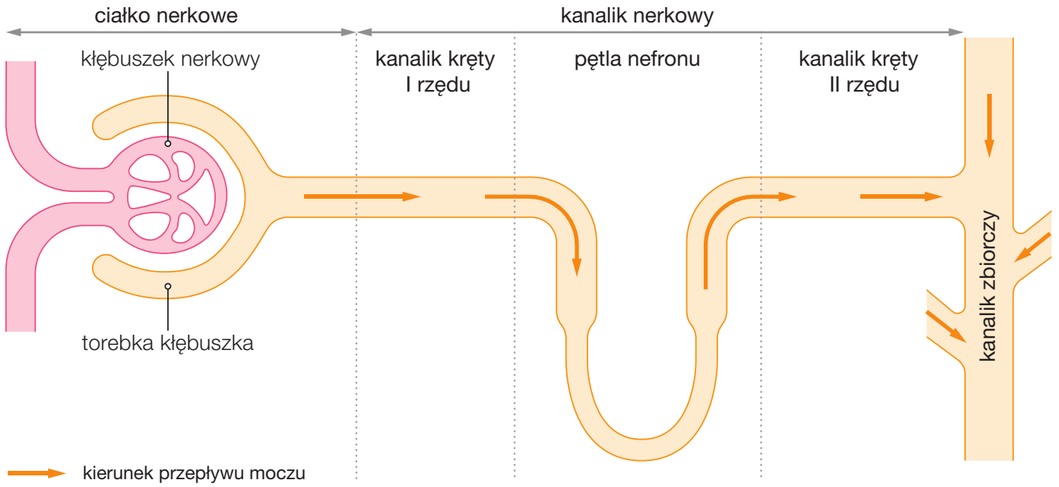
Na powstawanie moczu składają się trzy procesy fizjologiczne: filtracja, resorpcja (wchłanianie zwrotne) i sekrecja (wydzielanie).

Filtracja to proces, podczas którego część substancji przechodzi z krwi do torebki kłębuszka w nerkach. Filtracja zachodzi dzięki:

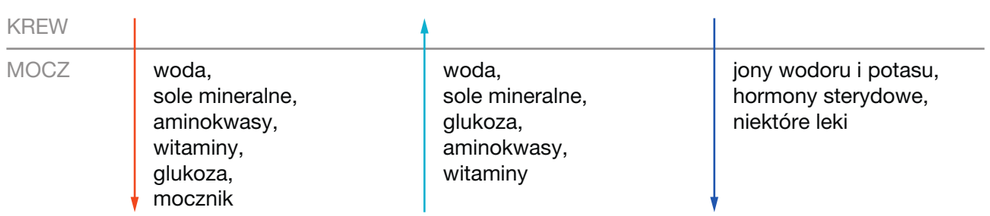
- różnicy ciśnień między krwią w kłębuszku nerkowym (wyższe ciśnienie) a płynem w torebce kłębuszka (niższe ciśnienie). Różnica ta umożliwia ruch substancji między krwią a płynem;
- dużej powierzchni filtracji, która wynika z rozbudowanej sieci naczyń krwionośnych w kłębuszku nerkowym;
- dużej przepuszczalności ścian naczyń krwionośnych kłębuszka nerkowego, które mają wiele porów między komórkami.

Powstawanie moczu

Mocz powstaje w trzech etapach, którymi są: filtracja, resorpcja i sekrecja.



FILTRACJA	RESORPCJA
Filtracja polega na przenikaniu części osocza wraz z niektórymi substancjami do torebki kłębuszka. W ten sposób powstaje **mocz pierwotny**, który zawiera zarówno substancje zbędne i szkodliwe, jak i substancje potrzebne organizmowi.	**SEKRECJA** **Resorpcja** polega na transporcie związków z kanalika nerkowego do krwi. Dzięki temu organizm odzyskuje z moczu pierwotnego potrzebne mu substancje. **Sekrecja** polega na wydzielaniu substancji do wnętrza kanalika nerkowego. W wyniku resorpcji oraz sekrecji mocz staje się gęstszy, zmienia się też jego skład. W ten sposób powstaje **mocz ostateczny**, który zawiera jedynie zbędne i szkodliwe substancje.



Z krwi do wnętrza torebki kłębuszka przenika ok. 20% objętości osocza. W ten sposób tworzy się **mocz pierwotny**, który spływa do kanalika nefronu. Mocz pierwotny jest izotoniczny w stosunku do osocza i ma zbliżony do niego skład chemiczny. Zawiera substancje, które pokonały barierę filtracyjną (ścianę naczynia włosowatego oraz ścianę torebki kłębuszka) – są to zarówno substancje zbędne i szkodliwe dla organizmu, jak i substancje potrzebne.

Substancje w osoczu	
pokonujące barierę filtracyjną	**niepokonujące bariery filtracyjnej**
• woda • jony soli mineralnych (np. sodu, potasu, chlorkowe, wodorowęglanowe) • drobnocząsteczkowe związki organiczne (np. aminokwasy, witaminy, glukoza, mocznik)	• białka • substancje związane z białkami • kwasy tłuszczowe

Resorpcja polega na wchłanianiu wielu substancji (m.in. glukozy, aminokwasów, witamin, wody i niektórych jonów soli mineralnych) z moczu pierwotnego z powrotem do krwi. Proces ten zachodzi w kanalikach krętych, w pętli nefronu i w kanaliku zbiorczym. Resorpcja przebiega z dużą intensywnością, ponieważ:

- kanaliki kręte oraz pętla nefronu są otoczone gęstą siecią włosowatych naczyń krwionośnych,
- nabłonek kanalików nerkowych i kanalików zbiorczych wytwarza na swojej powierzchni liczne mikrokosmki zwiększające powierzchnię chłonną,
- w ścianach kanalików znajdują się białka błonowe, które transportują jony i cząsteczki związków chemicznych.

Większość substancji (np. glukoza, jony Na^+ i jony K^+) jest wchłaniana na drodze **transportu czynnego**, czyli wbrew gradientowi stężeń. Transport czynny zachodzi za pośrednictwem białek błonowych. Pozostałe substancje (np. H_2O) są **wchłaniane biernie**, czyli zgodnie z gradientem stężeń. Transport bierny odbywa się na drodze dyfuzji prostej oraz przez białka błonowe. 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, jony wodorowe, metabolity hormonów steroidowych oraz niektóre leki, np. penicylina.

Resorpcja i sekrecja to procesy prowadzące do zagęszczenia moczu oraz do 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**. Zawiera on ok. 96% wody, 1,5% soli mineralnych (m.in. chlorków i fosforanów) oraz 2,5% związków organicznych, takich jak: mocznik, kwas moczowy, kreatynina (związek azotowy powstający w czasie przemian metabolicznych w mięśniach) oraz barwniki (np. urobilinogen – produkt rozkładu hemu).

Porównanie składu osocza krwi ze składem moczu pierwotnego i moczu ostatecznego

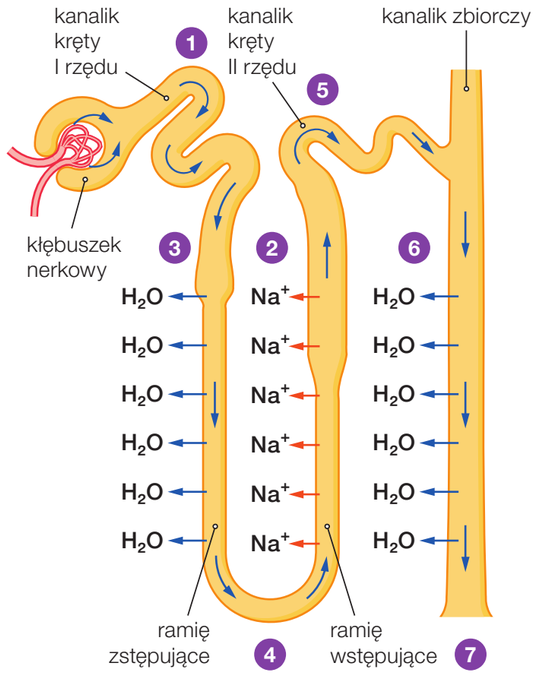
Składniki	Zawartość składników [g/cm^3 płynu]		
	osocze krwi	mocz pierwotny	mocz ostateczny
Woda	90,00–93,00	97,00–99,00	96,00–97,00
Glukoza	0,10	0,10	0,00
Białka	7,00–9,00	0,00	0,00
Mocznik	0,03	0,03	2,00
Sole mineralne	0,72	0,72	1,50

Dowiedz się więcej

Jak powstaje hipertoniczny mocz?

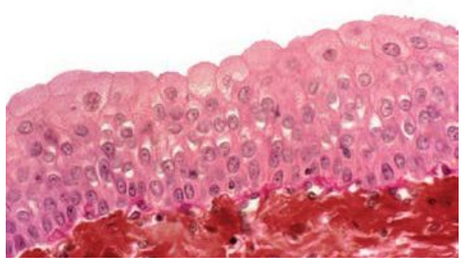
Wytwarzanie hipertonicznego moczu odbywa się m.in. dzięki odmiennym właściwościom obu ramion pętli nefronu. Ramię zstępujące jest dobrze przepuszczalne dla wody i słabo przepuszczalne dla jonów sodu. Natomiast ramię wstępujące jest nieprzepuszczalne dla wody i dobrze przepuszczalne dla jonów sodu. Jony 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. W powierzchniowych komórkach tego nabłonka znajdują się 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

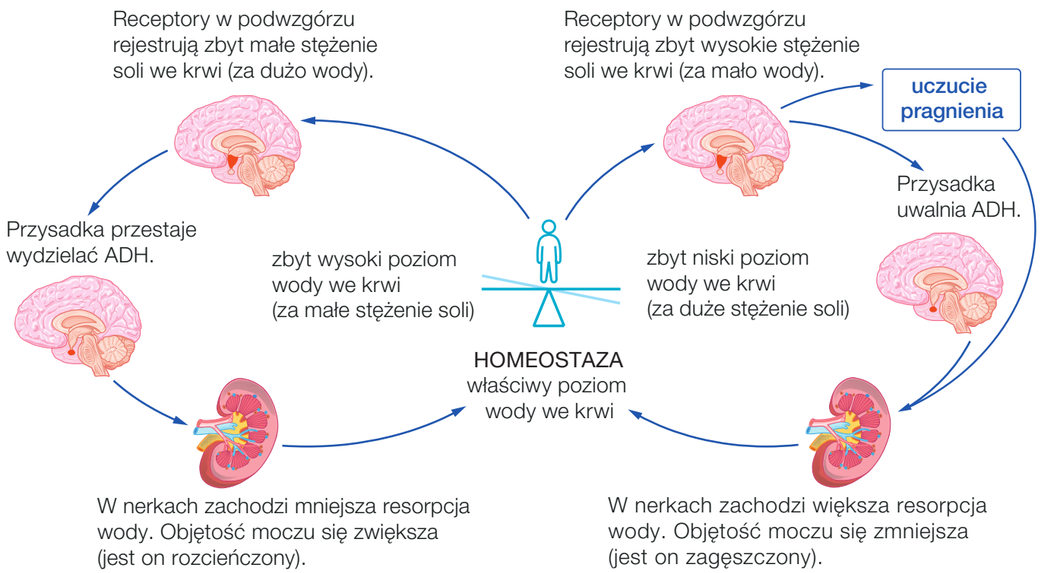
Ilość i stężenie moczu podlegają regulacji hormonalnej. Zależą one m.in. od stopnia uwodnienia organizmu. Do hormonów regulujących proces wytwarzania moczu należą:

- **wazopresyna** (hormon antydiuretyczny) – ADH – produkowana przez podwzgórze, a uwalniana przez tylny płat przysadki. Wazopresyna powoduje otwieranie się kanałów wodnych w kanalikach zbiorczych nerek. Zwiększa to wchłanianie zwrotne wody, co skutkuje zmniejszeniem objętości wydalanego moczu i jego zagęszczeniem;
- **aldosteron**, produkowany i wydzielany przez korę nadnerczy. Aldosteron pobudza wchłanianie zwrotne jonów sodu;
- **parathormon** – PTH – wytwarzany i wydzielany przez przytarczyce. Parathormon pobudza wchłanianie zwrotne jonów wapnia.

Hormony regulujące wytwarzanie moczu

Hormon	Miejsce wytwarzania	Miejsce uwalniania	Działanie
Wazopresyna (ADH)	podwzgórze	przysadka	Zwiększa wchłanianie zwrotne wody.
Aldosteron	kora nadnerczy	kora nadnerczy	Pobudza wchłanianie zwrotne jonów sodu.
Parathormon (PTH)	przytarczyce	przytarczyce	Pobudza wchłanianie zwrotne jonów wapnia.

Udział wazopresyny (ADH) w regulacji poziomu wody we krwi i objętości wydalanego moczu



Wydalanie moczu

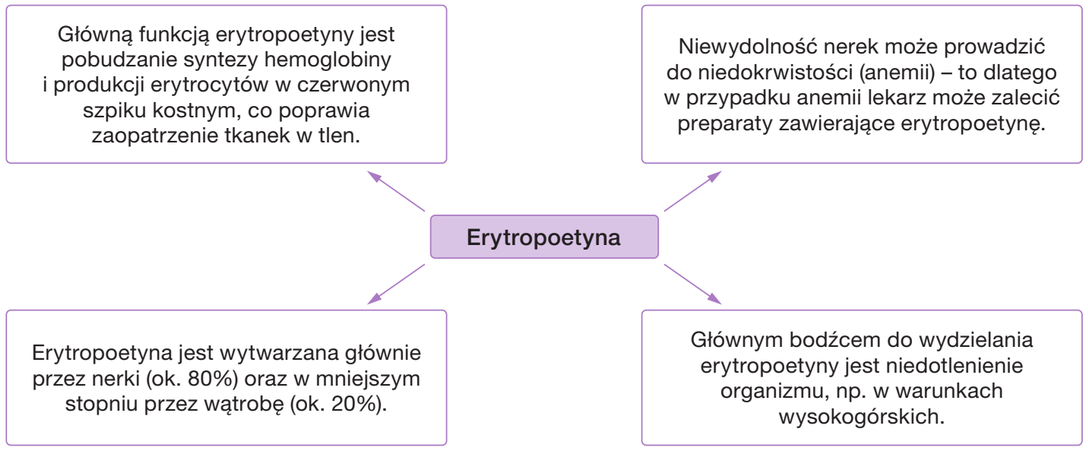
Wypływający z kanalików zbiorczych mocz najpierw spływa przez kielichy nerkowe do miedniczki nerkowej, a następnie płynie moczowodami do pęcherza moczowego. Wypełnienie pęcherza moczowego powoduje rozciągnięcie jego ścian i pobudzenie receptorów nerwowych. Informacja o wypełnieniu pęcherza dociera do ośrodków nerwowych, które regulują proces oddawania moczu, czyli proces **mikcji**. Do ośrodków tych należą:

- **główny ośrodek niezależnego od woli wydalania moczu** – znajduje się w krzyżowym odcinku rdzenia kręgowego. Ośrodek ten reguluje reakcje automatyczne, takie jak skurcz mięśni ścian pęcherza i rozkurcz mięśni zwieraczy cewki moczowej;
- **ośrodek zależnego od woli wydalania moczu** – znajduje się w płacie czołowym kory mózgowej. Ośrodek ten odpowiada za świadome hamowanie lub pobudzanie oddawania moczu.

Świadome wstrzymywanie lub oddawanie moczu wymaga nauki. Dzieci uczą się kontrolowania oddawania moczu dopiero między pierwszym a trzecim rokiem życia, kiedy kora mózgowa jest wystarczająco rozwinięta.

Erytropoetyna – przykład hormonu wydzielanego przez nerki

Nerki – poza oczyszczaniem krwi – pełnią również funkcję gruczołu dokrewnego – produkują i wydzielają hormony, m.in. **erytropoetynę**.



Polecenia kontrolne

1. Przedstaw główne funkcje układu moczowego oraz przystosowania w budowie układu moczowego do pełnienia tych funkcji.
2. Określ, w jaki sposób resorpcja i sekrecja wpływają na skład moczu ostatecznego.
3. Wyjaśnij terminy: *mocz pierwotny* i *mocz ostateczny*, a następnie opisz mechanizmy powstawania tych rodzajów moczu.
4. Przedstaw rolę wazopresyny w utrzymaniu równowagi wodnej organizmu.
5. Podaj dwa przykłady sytuacji, w których dobowa objętość wydalanego moczu jest zmniejszona.
6. Wykaż, że nerki pełnią funkcję wewnątrzwydzielniczą.

8.3. Choroby układu moczowego

Ważne w tym temacie!

- znaczenie badań diagnostycznych w profilaktyce chorób układu moczowego (badanie ogólne moczu)
- dializa jako metoda 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. To dlatego istotne jest wczesne wykrywanie i leczenie chorób tego układu. Dziedziną medycyny zajmującą się chorobami układu moczowego jest **nefrologia**. W diagnostyce chorób tego układu najczęściej wykonuje się **badanie ogólne moczu**.

Jak dbać o układ moczowy?

Wielu chorób układu moczowego możesz uniknąć dzięki stosowaniu prostych zasad.

Dbaj o higienę osobistą – myj codziennie miejsca intymne i zmieniaj bieliznę.

Noś ubiór stosowny do pogody – wychłodzenie narządów układu moczowego osłabia ich odporność na choroby.

Unikaj nadmiaru soli – zbyt wysokie stężenie soli we krwi sprawia, że woda w nefronach jest trudniej wchłaniana.

Pij 1,5–2 l wody na dobę – niedostateczna ilość płynów zaburza proces usuwania z organizmu zbędnych i szkodliwych produktów przemiany materii.

Opróżniaj regularnie pęcherz moczowy – w zalegającym zbyt długo moczu mogą rozwijać się chorobotwórcze bakterie.

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 pojawiają się 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: 18-01-2025, 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

Osad moczu uzyskuje się 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.

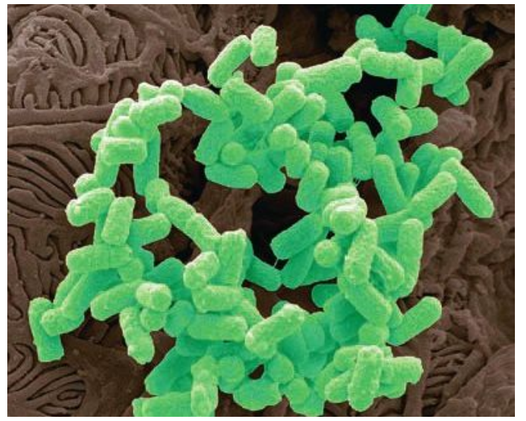
Badanie ogólne moczu pozwala na ocenę jego właściwości chemicznych i fizycznych, np. barwy.

Choroby układu moczowego

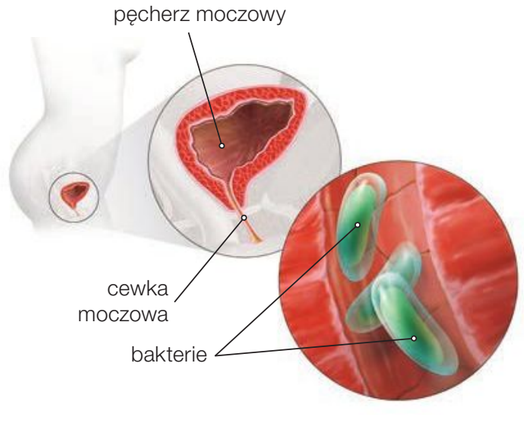
Zakażenia dróg moczowych

Zakażenie dróg moczowych dotyka częściej kobiet niż mężczyzn, ponieważ mają one krótszą cewkę moczową.

- **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, zwłaszcza miejsc intymnych, picie odpowiedniej ilości wody.



Bakterie *Escherichia coli* na powierzchni kłębuszków nerkowych (zdjęcie mikroskopowe SEM). Zakażenia dróg moczowych mogą prowadzić do zapalenia nerek.

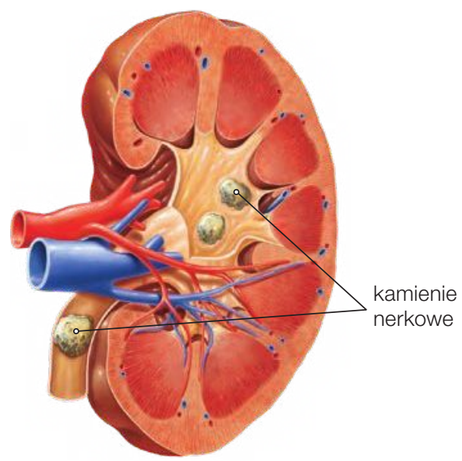


Do dróg moczowych bakterie dostają się najczęściej przez cewkę moczową.

Kamica nerkowa

Kamica nerkowa powstaje wtedy, gdy w nerkach lub w drogach moczowych tworzą się złogi mineralne nazywane kamieniami nerkowymi. Powstają one z substancji, które występują w moczu zwykle w postaci rozpuszczonej. Kamienie nerkowe są najczęściej zbudowane ze szczawianów lub z fosforanów wapnia, rzadziej np. z kwasu moczowego.

- **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.



Duże kamienie nerkowe mogą zablokować drogi moczowe.

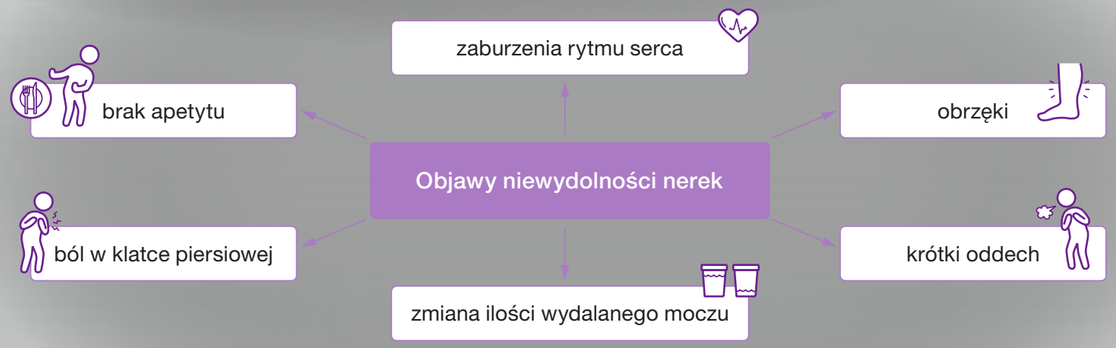
Niewydolność nerek. Dializa

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:

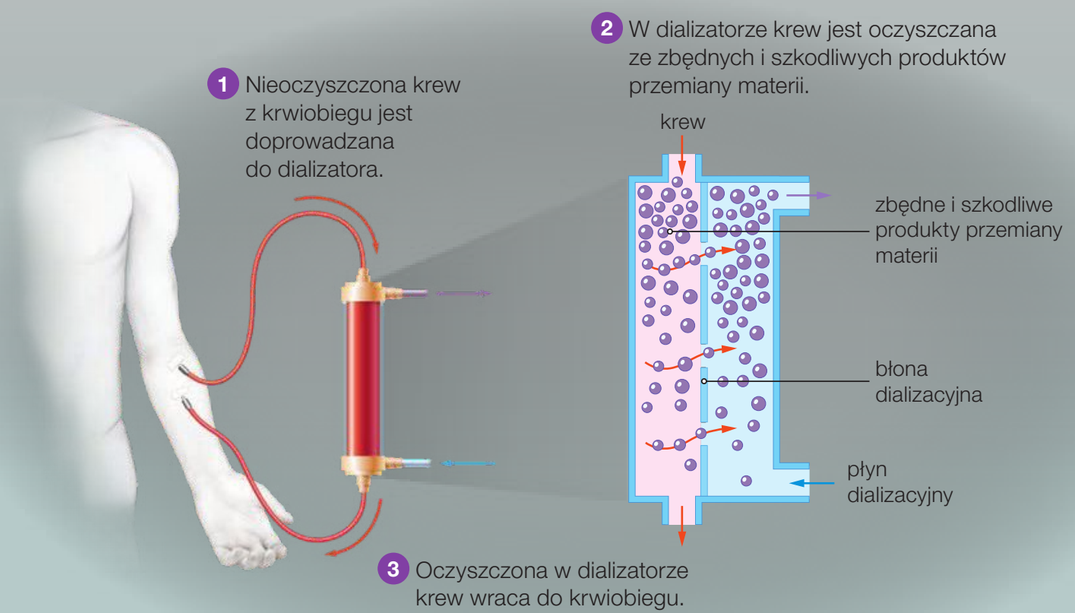
- choroby nerek (np. kamica nerkowa, odmiedniczkowe zapalenie nerek),
- uszkodzenia nerek na skutek innych chorób (np. nadciśnienia tętniczego, cukrzycy).



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

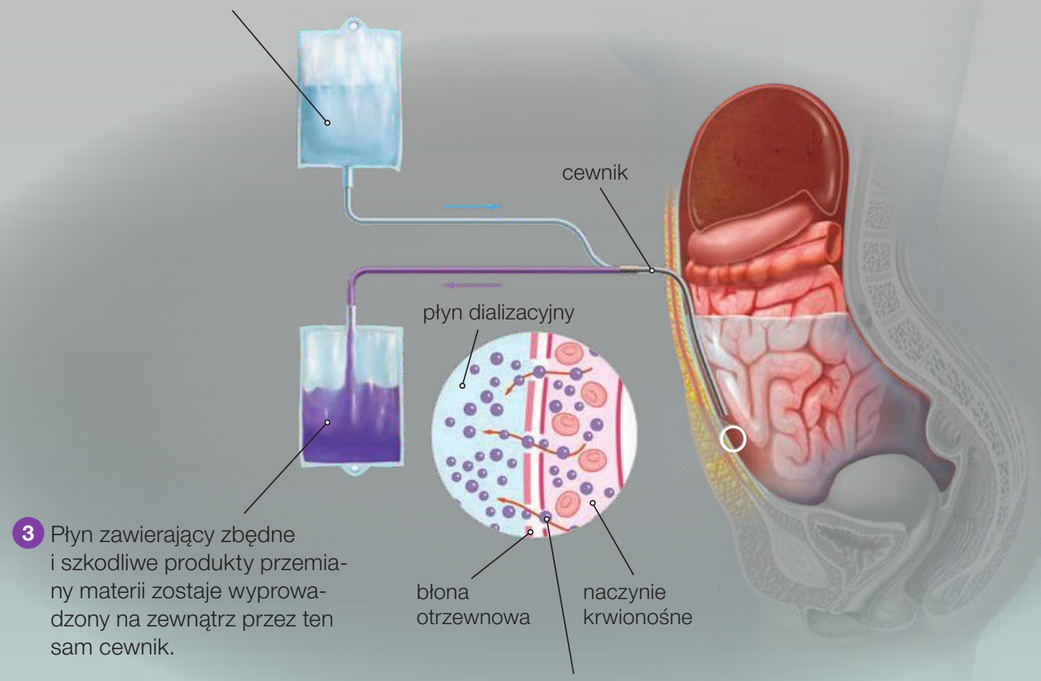


Dializa otrzewnowa

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.



Polecenia kontrolne

1. Podaj prawdopodobne przyczyny występowania w moczu:
   a. glukozy,
   b. erytrocytów,
   c. bakterii.
2. Wyjaśnij, dlaczego osoby, które mają zaawansowaną niewydolność nerek, muszą być poddawane dializie.
3. Podaj trzy przykłady objawów niewydolności nerek.
4. Podaj trzy działania profilaktyczne, które zapobiegają rozwojowi chorób układu moczowego.

Podsumowanie

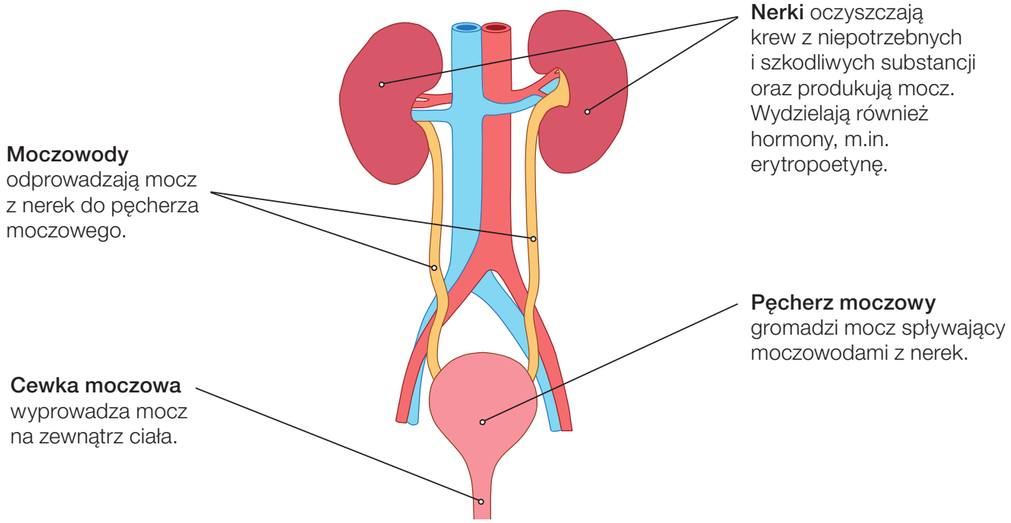
1 Funkcje układu wydalniczego:

- **wydalanie** – usuwanie z organizmu zbędnych oraz szkodliwych produktów przemiany materii,
- **osmoregulacja** – regulacja ilości wody i elektrolitów (soli mineralnych) w organizmie.

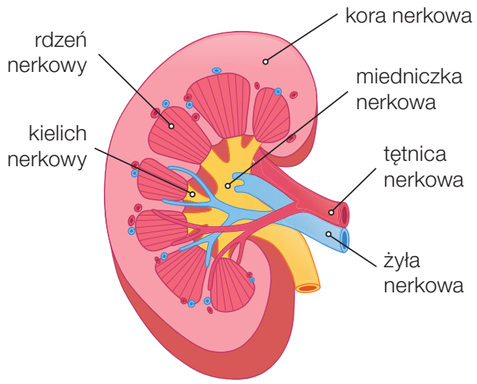
2 Sposoby i drogi wydalania zbędnych oraz szkodliwych produktów przemiany materii

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

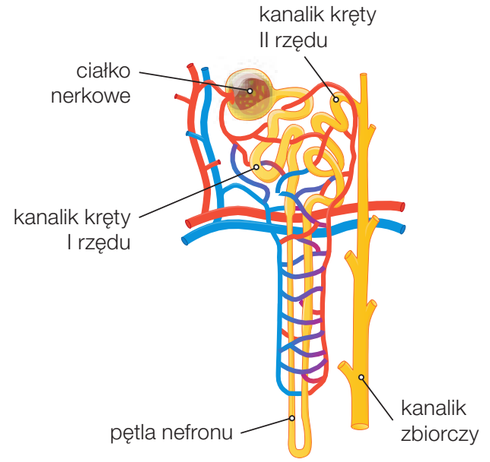
3 Budowa układu wydalniczego



4 Budowa nerki i budowa nefronu



Budowa nerki.



Budowa nefronu.

5 Powstawanie moczu

Na powstawanie moczu składają się trzy procesy fizjologiczne: filtracja, resorpcja (wchłanianie zwrotne) i sekrecja (wydzielanie).

Proces	Miejsce zachodzenia	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	Substancje potrzebne organizmowi – głównie woda, jony soli mineralnych i glukoza – są zwrotnie wchłanianie z moczu pierwotnego do krwi.
Sekrecja	kanalik nerkowy	Z krwi do kanalików są wydzielane np. jony potasu, jony wodorowe, metabolity hormonów steroidowych i leki. W ten sposób powstaje mocz ostateczny.

6 Produkcja moczu jest regulowana m.in. przez **wazopresynę** (hormon antydiuretyczny, ADH) syntetyzowaną przez podwzgórze, a uwalnianą przez przysadkę. ADH powoduje zwiększenie wchłaniania zwrotnego wody w kanalikach nerkowych.

7 **Badanie ogólne moczu** jest podstawowym badaniem diagnostycznym funkcjonowania układu wydalniczego. Polega ono na analizie właściwości fizykochemicznych moczu oraz na mikroskopowej ocenie jego osadu.

8 **Niewydolność nerek** to stan chorobowy, w którym praca nerek jest zaburzona i ograniczona. W przypadku zaawansowanej niewydolności nerek stosuje się dializę albo przeszczep nerki.

9 **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 W tabeli porównano skład osocza krwi ze składem moczu pierwotnego.

Składniki	Zawartość składników [g/cm^3]	
	osocze	mocz pierwotny
Woda	90,00–93,00	97,00–99,00
Glukoza	0,10	0,10
Białka	7,00–9,00	0,00
Mocznik	0,03	0,03
Sole mineralne	0,72	0,72

a) Na podstawie danych zawartych w tabeli oceń prawdziwość stwierdzenia: „Mocz pierwotny jest hipertoniczny w stosunku do osocza krwi”. Odpowiedź uzasadnij.

Roztwór hipertoniczny to ten z dwóch porównywanych roztworów, który ma wyższe stężenie związków osmotycznie czynnych. Przeanalizuj tabelę i porównaj skład osocza ze składem moczu pierwotnego. Zwróć uwagę na związki rozpuszczone, które są osmotycznie czynne (czyli na glukozę i sole mineralne).

Rozwiązanie:

– Stwierdzenie jest nieprawdziwe, ponieważ osocze krwi i mocz pierwotny zawierają taką samą ilość rozpuszczonych substancji osmotycznie czynnych (w 1 cm^3 płynu). Mają zatem zbliżone / takie samo stężenie.

– Nieprawdziwe, ponieważ w obu płynach (w 1 cm^3) jest taka sama zawartość glukozy i soli mineralnych. Oba płyny są więc roztworami izotonicznymi.

b) Wyjaśnij, dlaczego w moczu pierwotnym nie występują białka. W odpowiedzi uwzględnij proces prowadzący do powstania moczu pierwotnego.

Mocz pierwotny powstaje z osocza krwi w procesie filtracji. Zastanów się, jaka właściwość białek uniemożliwia im przenikanie z osocza do torebki kłębuszka nerkowego.

Rozwiązanie:

W moczu pierwotnym nie występują białka, ponieważ ich cząsteczki są zbyt duże, by przeniknąć z osocza (przez ścianę naczynia włosowatego i ścianę torebki kłębuszka) do wnętrza torebki kłębuszka podczas procesu filtracji.

Zadanie analogiczne

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 W tabeli porównano skład moczu pierwotnego ze składem moczu ostatecznego.

Składniki	Zawartość składników [g/cm^3]	
	mocz pierwotny	mocz ostateczny
Woda	97,00–99,00	96,00–97,00
Glukoza	0,10	0,00
Białka	0,00	0,00
Mocznik	0,03	2,00
Sole mineralne	0,72	1,50

a) Na podstawie danych zawartych w tabeli oceń prawdziwość stwierdzenia: „Mocz pierwotny jest hipotoniczny w stosunku do moczu ostatecznego”. Odpowiedź uzasadnij.

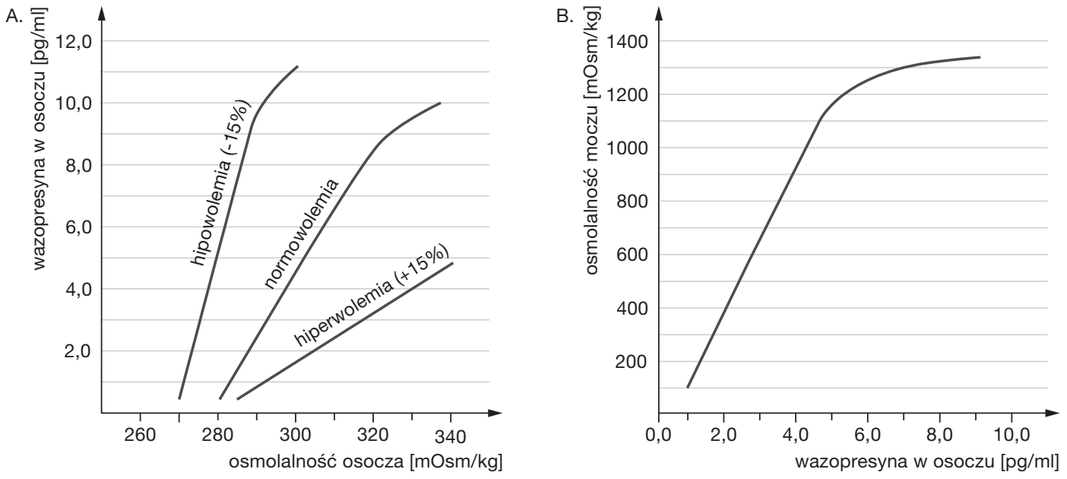
b) Wyjaśnij, dlaczego w moczu ostatecznym nie występuje glukoza. W odpowiedzi uwzględnij jeden z procesów prowadzących do powstania moczu pierwotnego.

Zadania powtórzeniowe

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Osmolalność to stężenie substancji rozpuszczonej w roztworze. Wyraża je liczba moli substancji czynnych osmotycznie, które są rozpuszczone w 1 kg 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.



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. Wybierz T, jeśli wniosek wynika z wykresu, albo N – jeśli z niego nie wynika.

1.	Wzrost osmolalności osocza pobudza wydzielanie wazopresyny.	T	N
2.	Jeżeli w naczyniach krwionośnych jest mała ilość krwi, wazopresyna jest wydzielana przy niższej osmolalności osocza niż w warunkach normalnego wypełnienia naczyń krwią.	T	N

b) Na podstawie wykresu B sformułuj wniosek dotyczący zależności między zawartością wazopresyny w osoczu a osmolalnością moczu. Wyjaśnij, z czego wynika ta zależność, uwzględniając rolę wazopresyny w procesie regulacji wydalania moczu.

c) Podaj nazwę narządu:

– produkującego wazopresynę,
– uwalniającego wazopresynę do krwi.

d) Podaj nazwę hormonu – innego niż wazopresyna – regulującego proces wydalania moczu oraz podaj jego rolę w tym procesie.

2 „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 to glikoproteina, której część białkowa jest produkowana w siateczce śródplazmatycznej (*gładkiej* / *szorstkiej*). Następnie erytropoetyna jest 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) Wykaż związek między stosowaniem środków zawierających erytropoetynę a zwiększonym ryzykiem wystąpienia zakrzepów.

3 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.

a) Podaj nazwę procesu fizycznego, dzięki któremu zbędne produkty przemiany materii przenikają z krwi do płynu dializacyjnego.

b) Wyjaśnij, dlaczego dawców do przeszczepu nerki w pierwszej kolejności szuka się wśród najbliższej rodziny.

9. Układ nerwowy

Fot. Nerwy rdzeniowe (obraz spod SEM).

9.1. Budowa i działanie układu nerwowego

Ważne w tym temacie!

- budowa i funkcje układu nerwowego
- związek między budową neuronu a przewodzeniem impulsu nerwowego
- działanie synaps chemicznych i przykłady neuroprzekaźników
- działanie synaps elektrycznych

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 pozwalają na utrzymanie homeostazy.

Podział układu nerwowego

Funkcjonalnie układ nerwowy dzieli się na:

- **somatyczny układ nerwowy** – kontroluje czynności mięśni szkieletowych oraz kieruje wykonywaniem ruchów świadomych,
- **autonomiczny układ nerwowy** – kontroluje metabolizm, czynności mięśni gładkich i mięśnia sercowego oraz funkcjonowanie narządów wewnętrznych.

Anatomicznie układ nerwowy dzieli się na:

- **ośrodkowy układ nerwowy** – należą do niego mózgowie i rdzeń kręgowy,
- **obwodowy układ nerwowy** – w jego skład wchodzą nerwy obwodowe (czaszkowe i rdzeniowe) oraz nerwy autonomiczne.

Komórki układu nerwowego

Podstawową jednostką anatomiczną i czynnościową układu nerwowego jest **komórka nerwowa – neuron** – która odpowiada za przepływ informacji w postaci impulsów nerwowych. W tkance nerwowej występują również **komórki glejowe**, które m.in. tworzą osłonki mielinowe, odżywiają neurony i uczestniczą w naprawie tkanki nerwowej.

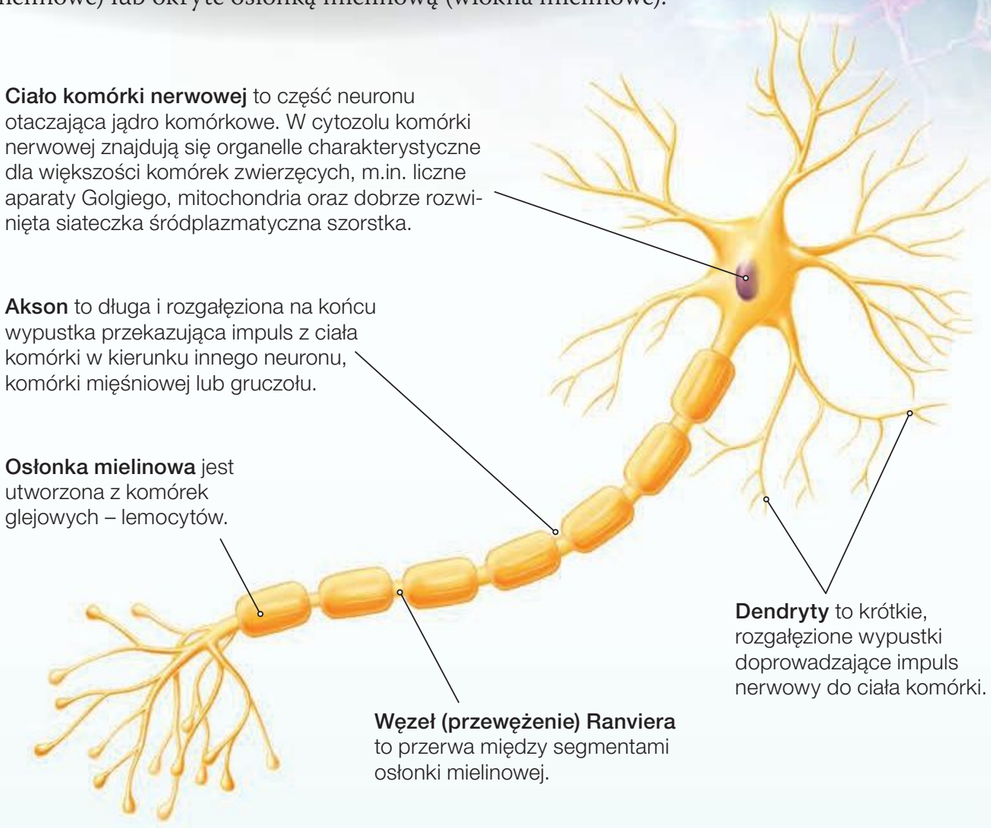
Komórki układu nerwowego

neurony	komórki glejowe
• Odpowiadają za przekazywanie impulsów nerwowych.	• Pełnią m.in. funkcje podporowe, regeneracyjne, izolacyjne i odżywcze.

Główne funkcje układu nerwowego

Budowa neuronu

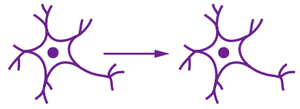
Typowy neuron jest zbudowany z **ciała komórki nerwowej** oraz z dwóch rodzajów wypustek – **dendrytów** i **aksonu**. W ciele komórki oraz w jej wypustkach występują białkowe włókienka zwane **neurofibrylami**. Aksony komórek nerwowych (a niekiedy także długie dendryty) określa się mianem **włókien nerwowych**. Mogą być one nagie (włókna bezmielinowe) lub okryte osłonką mielinową (włókna mielinowe).



Funkcjonalny podział neuronów

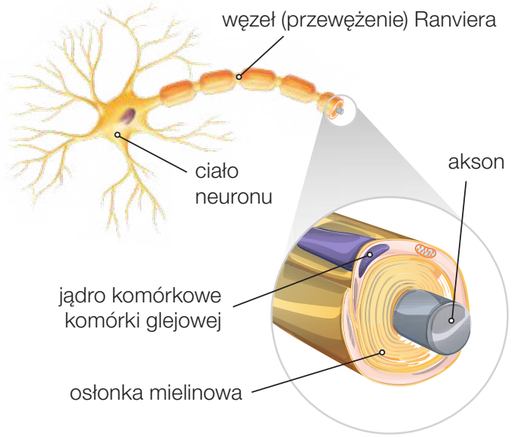
Biorąc pod uwagę pełnione funkcje, wyróżnia się trzy rodzaje neuronów.

Rodzaje neuronów

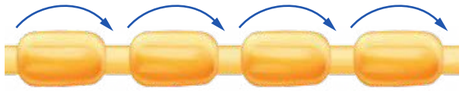
neurony czuciowe	neurony ruchowe	neurony pośredniczące
Przewodzą impulsy nerwowe od receptorów (np. receptora dotyku w skórze) do ośrodkowego układu nerwowego.	Przewodzą impulsy nerwowe z ośrodkowego układu nerwowego do odpowiednich narządów, np. mięśni.	 Przewodzą impulsy nerwowe pomiędzy neuronami czuciowymi a neuronami ruchowymi.

Włókna mielinowe i bezmielinowe

Aksony niektórych komórek nerwowych są osłonięte wyłącznie błoną komórkową. Nazywa się je **włóknami bezmielinowymi** lub bezrdzennymi. Z kolei we **włóknach mielinowych** (rdzennych) aksony są otoczone komórkami glejowymi, które owijają się wielokrotnie dookoła aksonu i tworzą osłonkę mielinową. Osłonka mielinowa pełni funkcję ochronną oraz zwiększa prędkość przepływu impulsów nerwowych.



We włóknach bezmielinowych impuls nerwowy przemieszcza się wzdłuż całego włókna. Takie przewodzenie jest powolne (np. 1 m/s w niektórych neuronach skóry) i kosztowne energetycznie (intensywna praca pompy sodowo-potasowej).



We włóknach mielinowych impuls nerwowy przemieszcza się skokowo między węzłami (przewężeniami) Ranviera. Takie przewodzenie jest szybkie (np. 100 m/s w neuronach mięśni szkieletowych), a nakład energetyczny jest znacznie mniejszy niż w przypadku włókien bezmielinowych.

Pobudliwość komórek nerwowych

Komórki nerwowe charakteryzują się **pobudliwością**, czyli zdolnością do reagowania na bodźce docierające ze środowiska zewnętrznego lub ze środowiska wewnętrznego organizmu. Odbiór bodźca wywołuje w komórce stan pobudzenia – dochodzi w niej do powstania i rozprzestrzeniania się **impulsu nerwowego**. Przewodzenie impulsu nerwowego jest związane ze zmianami ładunku elektrycznego po obu stronach błony neuronu.

Polaryzacja i potencjał spoczynkowy

Błona neuronu w stanie spoczynku jest **spolaryzowana** i wykazuje **spoczynkowy potencjał elektryczny**.

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, i tworzą na zewnętrznej powierzchni błony 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, a najtrudniej – kationy sodu;
- wyrównaniu stężeń po obu stronach błony przeciwdziała 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 powstaje w błonie aksonu pod wpływem działania **bodźców progowych** (najsłabszych bodźców, które wywołują stan pobudzenia w komórce) i **bodźców nadprogowych**. Przyczyną powstawania potencjału czynnościowego jest krótkotrwała **depolaryzacja** błony neuronu, polegająca na zmianie ładunków po obu jej stronach. Depolaryzacja jest wynikiem 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.

Repolaryzacja

Po ustaniu działania bodźca zaczyna się etap **repolaryzacji**, czyli przywracania potencjału spoczynkowego błony neuronu. Przepuszczalność błony dla jonów sodu się zmniejsza, 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 rozkład charakterystyczny dla potencjału spoczynkowego. Na tym etapie w cytozolu neuronu panuje wysokie stężenie jonów sodu, a w płynie pozakomórkowym – wysokie stężenie jonów potasu (czyli odwrotnie niż w stanie spoczynku). Pompa sodowo-potasowa przywraca rozmieszczenie jonów typowe dla stanu polaryzacji. Spolaryzowana błona może ponownie ulegać wzbudzeniu i przewodzić kolejne impulsy nerwowe.

Przypomnij sobie

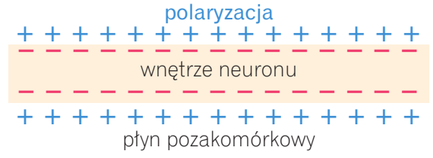
Działanie neuronów

Neurony pod wpływem bodźca przechodzą ze stanu spoczynku w stan pobudzenia. Oznacza to, że dochodzi w nich do powstania i przewodzenia impulsu nerwowego.

Ogólny mechanizm przewodzenia impulsu nerwowego

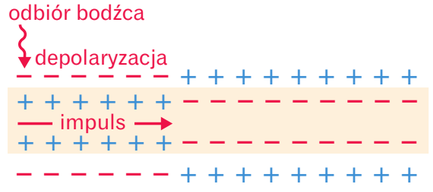
1 Stan spoczynku. Polaryzacja

W stanie spoczynku wewnątrz neuronu znajduje się więcej jonów ujemnych niż jonów dodatnich, a w płynie pozakomórkowym – więcej jonów dodatnich niż jonów ujemnych. Jest to stan **polaryzacji**.



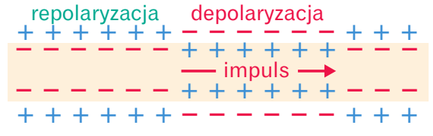
2 Odbiór bodźca. Depolaryzacja

Odbiór bodźca wywołuje w neuronie stan pobudzenia. Stan ten jest spowodowany **depolaryzacją**, czyli masowym przepływem jonów dodatnich z płynu pozakomórkowego do wnętrza neuronu i chwilową zmianą proporcji ładunków między dwoma środowiskami.



3 Repolaryzacja. Przewodzenie impulsu

Stan pobudzenia przemieszcza się wzdłuż neuronu. Jednocześnie wcześniejsze odcinki neuronu przechodzą w stan spoczynku dzięki **repolaryzacji**.



Zmiany elektrochemiczne w neuronie

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.

Wyróżnia się trzy główne fazy przewodzenia impulsu nerwowego: polaryzację, depolaryzację i repolaryzację.

1 polaryzacja – błona w stanie spoczynku → 2 depolaryzacja błony i wytworzenie impulsu nerwowego → 3 repolaryzacja błony

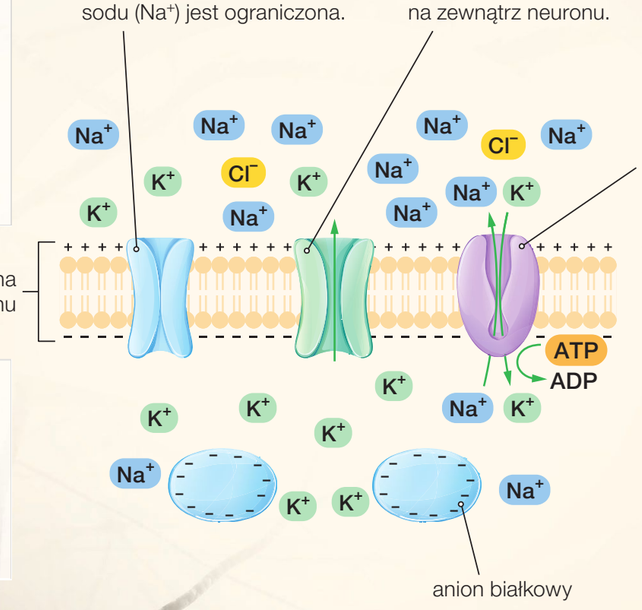
1 Polaryzacja błony neuronu

W sytuacji braku bodźców, czyli w stanie spoczynku, błona komórkowa neuronu jest spolaryzowana – 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.

Środowisko zewnątrzkomórkowe
Na zewnątrz neuronu przeważa dodatni ładunek elektryczny, który wynika z dużego stężenia kationów, głównie kationów sodu.

Większość **kanałów sodowych** jest zamknięta, dlatego dyfuzja przez błonę kationów sodu (Na^+) jest ograniczona.

Niektóre **kanały potasowe** są otwarte. Zachodzi przez nie dyfuzja jonów potasu (K^+) na zewnątrz neuronu.



Pompa sodowo-potasowa zapobiega wyrównaniu stężeń kationów sodu i potasu po obu stronach błony.

Wnętrze neuronu
Wewnątrz neuronu przeważa ujemny ładunek elektryczny, który wynika z obecności dużych, nieruchliwych anionów białkowych.

2 Depolaryzacja błony neuronu i wytworzenie impulsu nerwowego

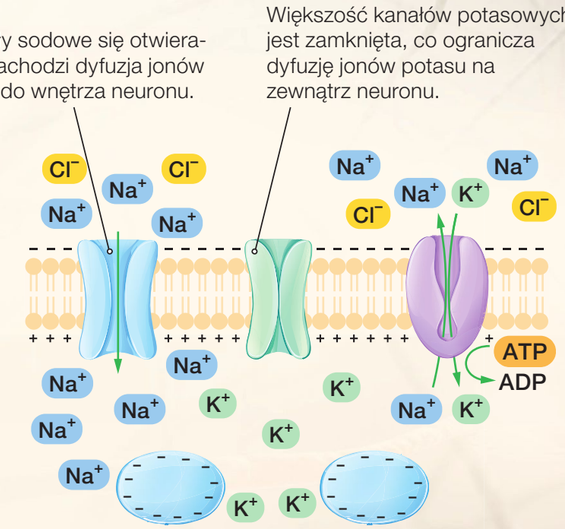
W wyniku działania bodźca o odpowiedniej sile błona neuronu ulega depolaryzacji. Zjawisko to polega na chwilowym odwróceniu ładunku elektrycznego po obu stronach błony. Zewnętrzna strona błony jest wówczas naładowana ujemnie, a wewnętrzna – dodatnio. Depolaryzacja jest wynikiem znacznego zwiększenia 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.

Kanały sodowe się otwierają – zachodzi dyfuzja jonów sodu do wnętrza neuronu.

Większość kanałów potasowych jest zamknięta, co ogranicza dyfuzję jonów potasu na zewnątrz neuronu.

Środowisko zewnątrzkomórkowe
Na zewnątrz neuronu przeważa ujemny ładunek elektryczny, który wynika z obecności anionów chlorkowych (Cl^-).

Wnętrze neuronu
Wewnątrz neuronu przeważa dodatni ładunek elektryczny, który wynika z dużego stężenia kationów sodu (Na^+).



3 Repolaryzacja błony neuronu

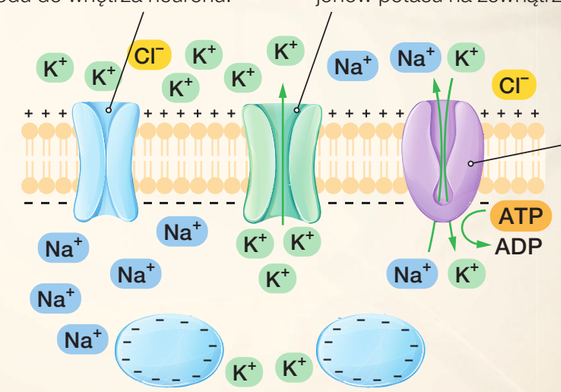
Po ustaniu działania bodźca zaczyna się etap repolaryzacji, czyli przywracania potencjału spoczynkowego błony neuronu. Repolaryzacja błony jest możliwa dzięki otwieraniu się kanałów potasowych oraz dzięki pracy pompy sodowo-potasowej.

Kanały sodowe się zamykają, co ogranicza dyfuzję jonów sodu do wnętrza neuronu.

Kanały potasowe się otwierają. Dzięki temu zachodzi gwałtowna dyfuzja jonów potasu na zewnątrz neuronu.

Środowisko zewnątrzkomórkowe
Po zewnętrznej stronie błony neuronu stopniowo jest przywracany ładunek dodatni.

Wnętrze neuronu
Po wewnętrznej stronie błony neuronu stopniowo jest przywracany ładunek ujemny.



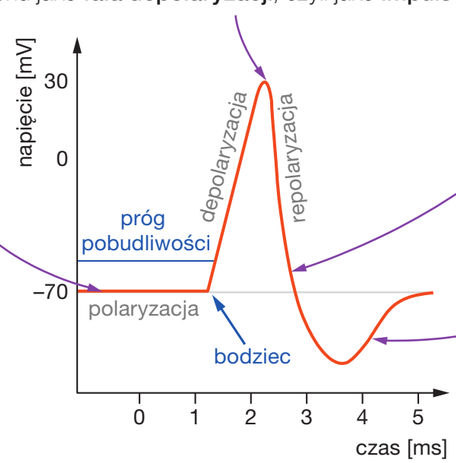
Pompa sodowo-potasowa przywraca rozmieszczenie jonów typowe dla stanu polaryzacji.

Zmiany potencjału w komórce nerwowej

Pod wpływem bodźca o odpowiedniej sile zmienia się potencjał błonowy komórki nerwowej.

2 Pod wpływem działania bodźca w błonie aksonu powstaje **potencjał czynnościowy**. Potencjał ten wynosi ok. +30 mV i jest spowodowany krótkotrwałą **depolaryzacją** błony neuronu. Potencjał czynnościowy rozprzestrzenia się wzdłuż neuronu jako **fala depolaryzacji**, czyli jako **impuls nerwowy**.

1 Niepobudzona komórka nerwowa wykazuje **potencjał spoczynkowy**, który wynosi ok. –70 mV. Potencjał spoczynkowy wynika z **polaryzacji** błony neuronu.



3 Po ustaniu działania bodźca zaczyna się etap **repolaryzacji**, czyli przywracania potencjału spoczynkowego.

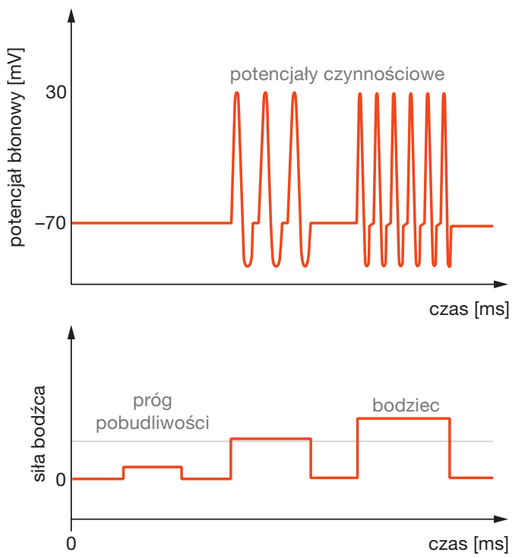
4 W niektórych przypadkach potencjał błonowy może chwilowo spaść poniżej wartości spoczynkowej, co nazywa się **hiperpolaryzacją**.

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 są zawarte 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.

Synapsy

Synapsy to wyspecjalizowane połączenia, dzięki którym neurony przekazują sobie impulsy nerwowe.

Synapsy zwykle występują między zakończeniem aksonu jednego neuronu a dendrytem kolejnego neuronu. Mogą też występować między zakończeniem aksonu neuronu a inną komórką, np. komórką mięśniową lub komórką gruczołową. W organizmie człowieka wyróżnia się dwa rodzaje synaps:

- synapsy chemiczne,
- synapsy elektryczne.

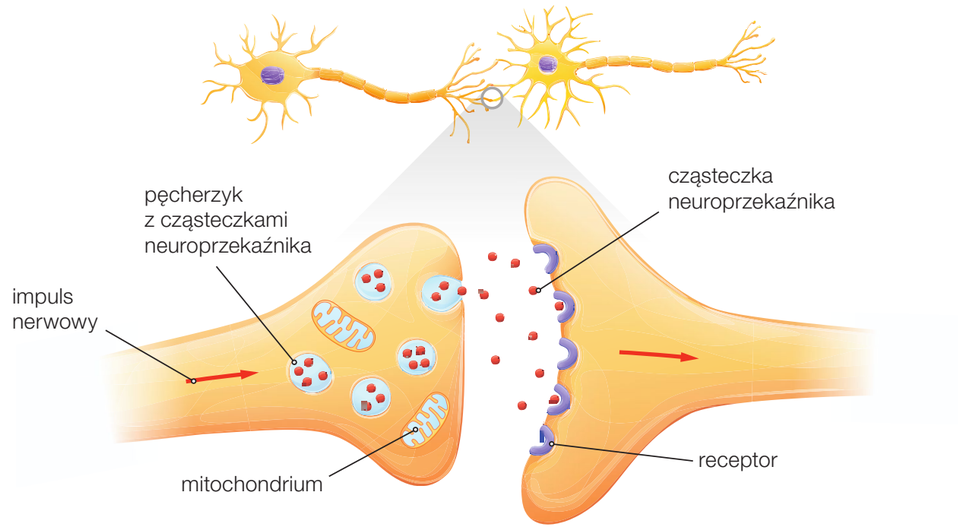
Synapsy chemiczne

Synapsa chemiczna składa się z błony presynaptycznej, ze szczeliny synaptycznej i z 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. Dlatego przekazywanie impulsu nerwowego jest wolniejsze w synapsach chemicznych niż w synapsach elektrycznych. Jednak dzięki występowaniu wielu różnych neuroprzekaźników i receptorów sygnał może być modyfikowany, np. wzmacniany lub wyciszany.

Mechanizm przekazywania informacji między neuronami w synapsie chemicznej



1 Impuls nerwowy dociera do zakończenia aksonu, z którego są wydzielane 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**. Neuroprzekaźniki pobudzające wywołują impuls elektryczny w następnym neuronie, dzięki czemu sygnał jest przekazywany dalej. Należą do nich m.in. dopamina, serotonina, acetylocholina oraz adrenalina. Neuroprzekaźniki hamujące powodują wyciszenie sygnału. Ich przykładem jest GABA (kwas γ-aminomasłowy).

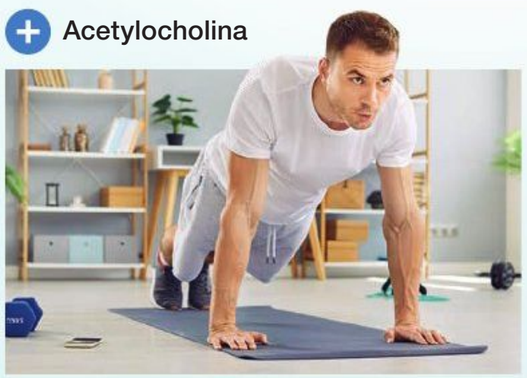
Dopamina

Dopamina odpowiada m.in. za emocje i odczuwanie przyjemności. Ma też duże znaczenie dla wykonywania ruchów. Jej niedobór prowadzi do wystąpienia choroby Parkinsona.

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 spadek nastroju.

Acetylocholina



Acetylocholina mobilizuje mięśnie szkieletowe i mięśnie gładkie do skurczów, dzięki czemu m.in. umożliwia wykonywanie ruchów i pobudza perystaltykę jelit. Ponadto wpływa na obniżenie ciśnienia krwi oraz spowalnia pracę serca.

Adrenalina

Adrenalina odgrywa decydującą rolę w reakcji na stres. Mobilizuje organizm do działania m.in. przez przyspieszenie pracy serca, podniesienie ciśnienia krwi i rozszerzenie oskrzeli.

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.

Synapsy chemiczne pobudzające i hamujące

Ze względu na sposób działania wyróżnia się:

- **synapsy chemiczne pobudzające** – stymulują aktywność unerwianych przez nie tkanek i narządów,
- **synapsy chemiczne hamujące** – zmniejszają (hamują) aktywność unerwianych przez nie tkanek i narządów.

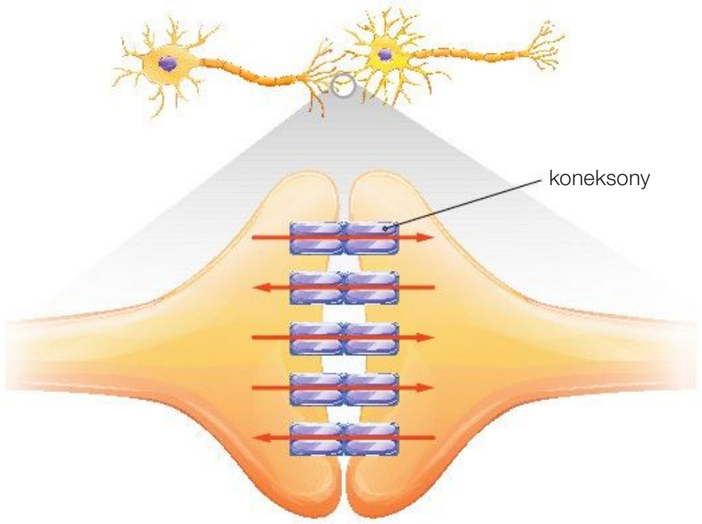
Na pojedynczym neuronie znajdują się jednocześnie synapsy w stanie spoczynku oraz działające synapsy pobudzające i hamujące. Neuron sumuje potencjały pobudzające i odejmuje od nich potencjały hamujące. W sytuacji gdy ostateczny wynik ma wartość potencjału progowego lub nadprogowego, neuron wytwarza potencjał czynnościowy.

Synapsy elektryczne

W synapsach elektrycznych akson jednej komórki styka się ściśle z dendrytem drugiej komórki. Przepływ jonów między dwoma neuronami zachodzi przez kanały **koneksonów** (połączenia szczelinowe). Tak ścisłe połączenie powoduje, że między koneksonami występuje ciągłość elektryczna. Dzięki temu impuls nerwowy jest przekazywany z jednej komórki do drugiej w sposób bezpośredni (bez opóźnienia synaptycznego). To dlatego synapsy elektryczne charakteryzuje bardzo szybkie tempo przekazywania sygnału. Mogą one także działać dwukierunkowo.

Synapsy elektryczne znajdują się m.in. w mięśniach gładkich, sercu oraz niektórych częściach kory mózgu.

Mechanizm przekazywania informacji między neuronami w synapsie elektrycznej



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.

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.

9.2. Ośrodkowy układ nerwowy

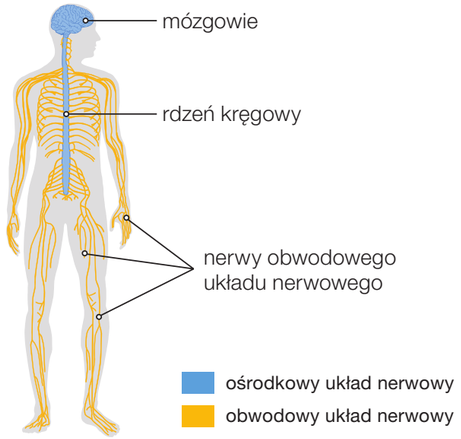
Ważne w tym temacie!

- budowa ośrodkowego układu nerwowego
- budowa i funkcje mózgowia oraz rdzenia kręgowego

Ośrodkowy układ nerwowy (OUN) nadzoruje wszelkie czynności życiowe. Analizuje informacje docierające ze środowiska zewnętrznego i środowiska wewnętrznego organizmu, a następnie podejmuje decyzje dotyczące reakcji na bodźce. W skład OUN 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.

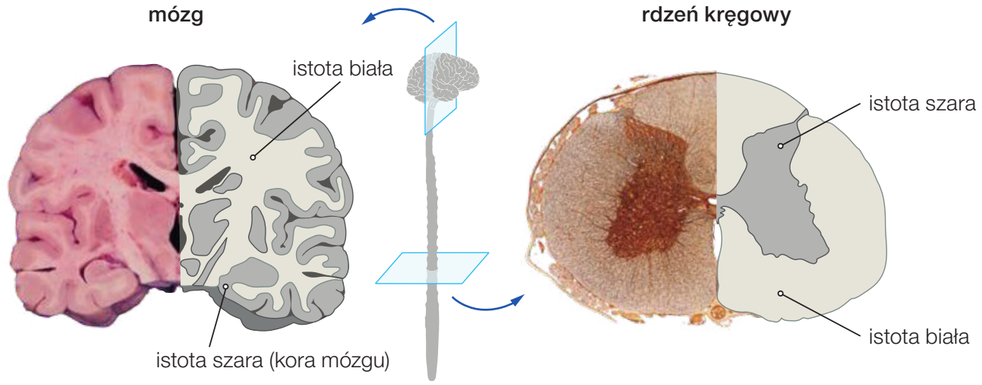


Budowa układu nerwowego człowieka.

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 (co stanowi niewielką część ogólnej masy ciała) i zużywa aż 20% tlenu pobieranego przez organizm podczas spoczynku – jest więc wyjątkowo wrażliwe na niedotlenienie.

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**.

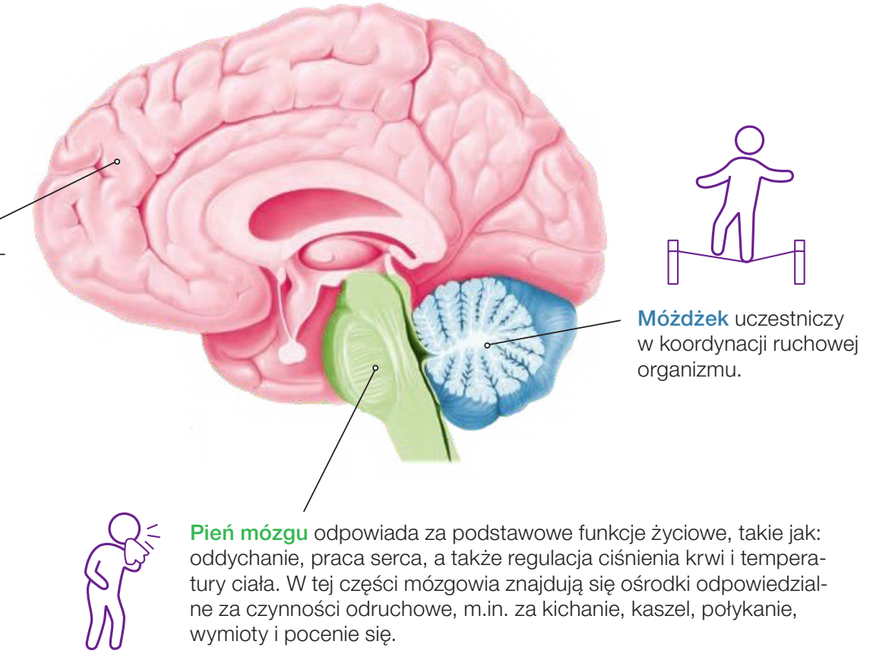


Istota szara i istota biała są ułożone w inny sposób w mózgu i w rdzeniu kręgowym. W mózgu istota szara tworzy zewnętrzną warstwę (zwaną korą mózgu), pod nią zaś znajduje się istota biała. Z kolei w rdzeniu kręgowym układ jest odwrotny: na zewnątrz znajduje się istota biała, a wewnątrz – istota szara.

Elementy budowy mózgowia

Mózgowie		
mózg	**pień mózgu**	**móżdżek**
• kresomózgowie • międzymózgowie	• śródmózgowie • most (tyłomózgowie wtórne) • rdzeń przedłużony	• móżdżek (tyłomózgowie wtórne)

Funkcje poszczególnych części mózgowia



Mózg

Mózg jest zbudowany z dwóch elementów:

- z **kresomózgowia**. Jest to największa część mózgowia. Kresomózgowie ma postać dwóch półkul połączonych ze sobą ciałem modzelowatym. W skład półkul wchodzą: istota szara, tworząca **korę mózgu** (korę nową) i **jądra podkorowe**[1], oraz położona pod nią istota biała, tworząca **drogi nerwowe** (aksony). Kora mózgu układa się w liczne fałdy porozdzielane bruzdami, co zwiększa jej powierzchnię;
- z **międzymózgowia**, które jest ukryte pod półkulami kresomózgowia. W międzymózgowiu znajdują się ośrodki czynności wegetatywnych (niezależnych od woli), np. ośrodki termoregulacji, pragnienia, głodu i sytości. Ważną częścią międzymózgowia jest **podwzgórze**. Poza regulacją czynności wegetatywnych pełni ono funkcję wydzielniczą, która jest nadrzędna w stosunku do układu hormonalnego.

Pień mózgu

W skład pnia mózgu wchodzą:

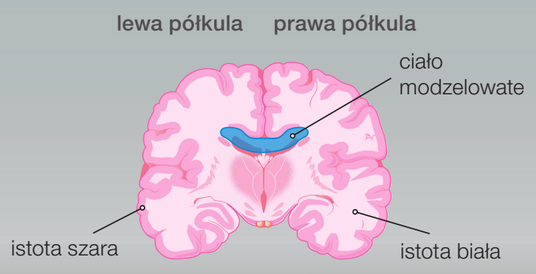
- **śródmózgowie** – zawiera m.in. ośrodki reakcji wzrokowych i słuchowych, takich jak zmiana średnicy źrenic, ruchy powiek czy odwracanie głowy w kierunku źródła dźwięku. Jest też miejscem koordynacji ruchów mimowolnych oraz ruchów szybkich;

[1] **Jądra podkorowe** to skupiska istoty szarej położone głęboko w półkulach mózgowych.

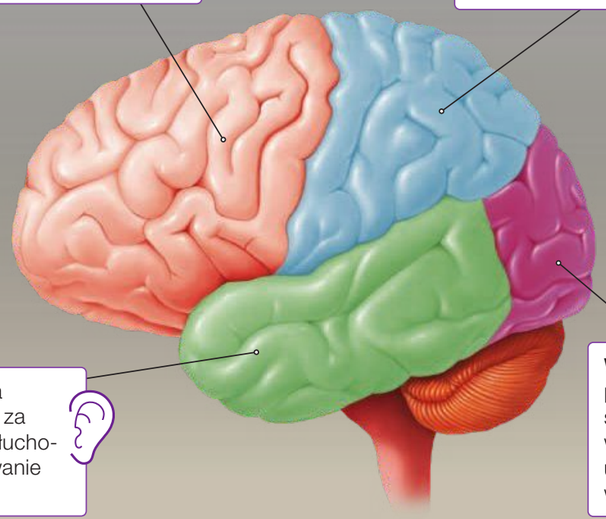
- **most** – fragment pnia mózgu położony między śródmózgowiem a rdzeniem przedłużonym. Pośredniczy w przepływie sygnałów między mózgiem, móżdżkiem i rdzeniem przedłużonym;
- **rdzeń przedłużony** – część mózgowia, która łączy się z rdzeniem kręgowym. Znajdują się w nim ośrodki nerwowe wielu ważnych czynności odruchowych, takich jak: ssanie, połykanie, żucie oraz odruchy obronne (np. kaszel, mruganie powiekami, wymioty). W obrębie rdzenia przedłużonego znajdują się również:
  - **ośrodek oddechowy**, który reguluje czynność oddechową,
  - **ośrodek naczynioruchowy**, który wpływa na zmianę średnicy naczyń krwionośnych, a tym samym reguluje ciśnienie i tempo przepływu krwi,
  - **ośrodek regulacji czynności serca**, który zwiększa częstość skurczów serca. Uszkodzenie rdzenia przedłużonego powoduje ciężkie zaburzenia czynnościowe całego organizmu, które mogą prowadzić do śmierci.

Budowa i funkcje mózgu

Mózg jest zbudowany z kresomózgowia i z międzymózgowia. Kresomózgowie (główna część mózgu) składa się z dwóch półkul. Ich zewnętrzna warstwa – kora mózgu – jest silnie pofałdowana i tworzy liczne bruzdy. Największe bruzdy dzielą korę mózgu na płaty.



Budowa kresomózgowia.



W płacie czołowym znajdują się ośrodki kontrolujące pracę mięśni szkieletowych, w tym ośrodki ruchowe mowy (umożliwiające wypowiadanie wyrazów). Płat czołowy odpowiada także m.in. za analizę i kontrolę emocji oraz planowanie i przewidywanie konsekwencji działań.

Płat ciemieniowy zawiera ośrodki, które zbierają informacje z receptorów dotyku, ucisku, rozciągania, temperatury i bólu, które są rozmieszczone w całym ciele.

Płat skroniowy zawiera ośrodki odpowiedzialne za przetwarzanie wrażeń słuchowych, w tym rozpoznawanie słyszanych słów.

W płacie potylicznym znajdują się głównie ośrodki wzroku, w tym ośrodki umożliwiające czytanie wyrazów.

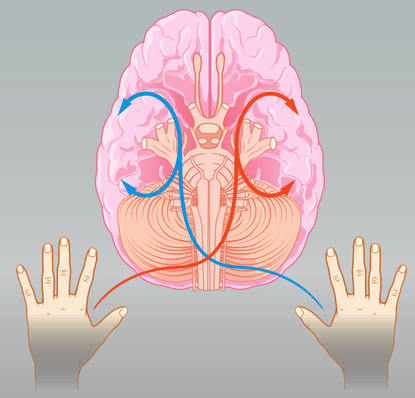
Móżdżek

Móżdżek składa się z dwóch połączonych ze sobą półkul. Jest pokryty cienką warstwą istoty szarej, która tworzy tzw. **korę móżdżku**. Pod korą znajduje się istota biała. W obrębie móżdżku są umiejscowione ośrodki nerwowe odpowiedzialne za utrzymanie odpowiedniego stanu napięcia mięśni i koordynację ruchów. Do objawów uszkodzenia móżdżku należą m.in.:

- utrata napięcia mięśniowego,
- zaburzenia koordynacji ruchów – ruchy stają się niezręczne, mają zbyt duży lub zbyt mały zasięg (np. pojawiają się trudności z dotknięciem czubka nosa palcem),
- niemożność wykonania w przyspieszonym tempie ruchów naprzemiennych, np. odwracania i nawracania ręki,
- silne drżenie kończyn przy wykonywaniu ruchów,
- skłonność do upadków,
- szybkie męczenie się,
- oczopląs – nieskoordynowane ruchy poziome oczu, będące przejawem upośledzenia pracy mięśni poruszających gałkami ocznymi.

Szlaki nerwowe

Szlaki nerwowe (drogi nerwowe) to grupy włókien nerwowych, którymi impulsy nerwowe przemieszczają się między różnymi elementami układu nerwowego. Szlaki nerwowe dla niektórych wrażeń zmysłowych lub czynności są ze sobą skrzyżowane. Oznacza to, że określona półkula kontroluje czynności przeciwległej strony ciała. Jednak podczas wykonywania większości zadań mózg działa jako całość, a obie półkule ze sobą współpracują.

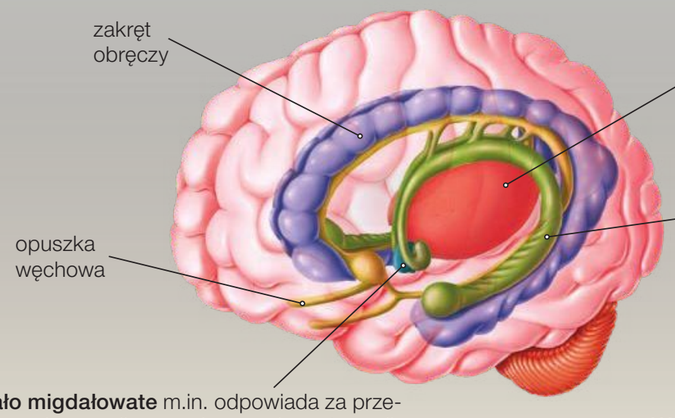


Szlaki nerwowe dla bodźców dotykowych dłoni oraz czynności motorycznych są skrzyżowane: lewa półkula mózg kontroluje prawą rękę, a prawa półkula – lewą rękę.

Dowiedz się więcej

Układ limbiczny

Układ limbiczny to grupa struktur mózgu, które odpowiadają m.in. za tworzenie pamięci, uczenie się, odczuwanie i regulację emocji, motywację oraz zachowania (m.in. seksualne). Układ ten obejmuje niektóre obszary międzymózgowia i kresomózgowia.



Wzgórze m.in. integruje informacje czuciowe i ruchowe oraz kontroluje dostęp do informacji czuciowych.

Hipokamp odpowiada m.in. za tworzenie pamięci długotrwałej – dzięki temu bierze udział w procesie uczenia się.

Ciało migdałowate m.in. odpowiada za przetwarzanie emocji oraz odczuwanie motywacji.

Wybrane struktury układu limbicznego.

Budowa i rola rdzenia kręgowego

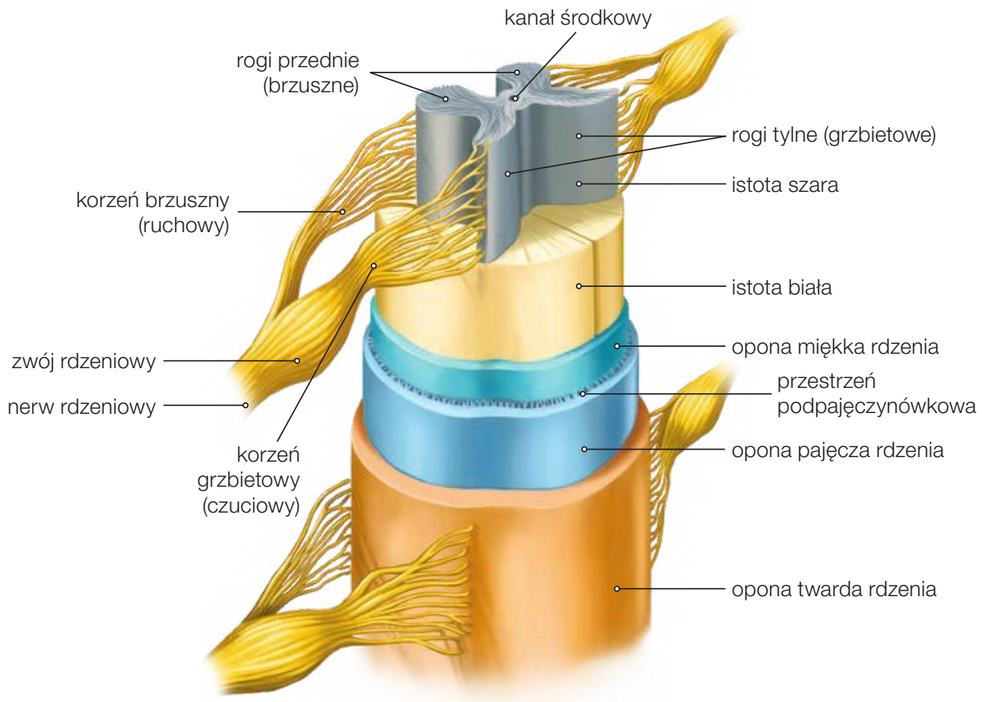
Rdzeń kręgowy przebiega przez **kanał kręgowy** utworzony przez otwory w kręgach kręgosłupa. Ma kształt nieco spłaszczonego walca, którego podłużne wygięcia odpowiadają krzywiznom kręgosłupa. W rdzeniu kręgowym wyróżnia się pięć odcinków: **szyjny**, **piersiowy**, **lędźwiowy**, **krzyżowy** i **guziczny** (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.

Głównymi funkcjami rdzenia kręgowego są:

- kontrola reakcji odruchowych zachodzących bez udziału naszej woli (odruchów rdzeniowych), np. odruchu kolanowego (→ s. 333),
- przewodzenie impulsów nerwowych między mózgowiem a resztą ciała.

Budowa rdzenia kręgowego



Płyn mózgowo-rdzeniowy

Płyn mózgowo-rdzeniowy to wodnista ciecz, która krąży w komorach mózgu (przestrzeniach w obrębie mózgowia) – w przestrzeni podpajęczynówkowej (→ s. 329) oraz w kanale centralnym rdzenia kręgowego. Płyn ten jest przesączem osocza z sieci włosowatych naczyń krwionośnych, który zawiera niewielką ilość białka, glukozy i jonów potasu, dużą ilość jonów sodu i jonów chlorkowych, a także śladową ilość limfocytów. 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:

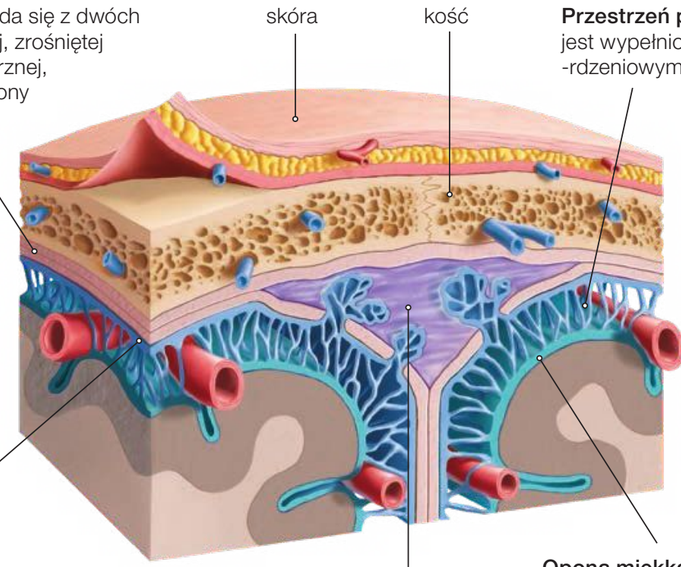
- tworzy warstwę ochronną ośrodkowego układu nerwowego (płyn amortyzuje wstrząsy i oddziela tkankę nerwową od struktur kostnych),
- zapewnia równomierny rozkład ciśnienia w jamie czaszki,
- odżywia neurony i usuwa zbędne produkty ich metabolizmu.

Bariera krew–mózg to fizyczna bariera między płynem rdzeniowo-mózgowym a krwią, która zabezpiecza płyn przed przenikaniem z krwi szkodliwych dla neuronów substancji. Tworzą ją nieprzepuszczalne ściany naczyń włosowatych mózgu i otaczające je komórki glejowe (astrocyty). Bariera ta nie przepuszcza wielu substancji wielkocząsteczkowych, w tym np. leków. Przechodzą przez nią natomiast: 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).

Opony mózgowia

Mózgowie i rdzeń kręgowy to bardzo delikatne struktury – to 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 podaj ich funkcje.
2. Podaj funkcje kory mózgu.
3. Przedstaw różnicę między istotą szarą a istotą białą.
4. Porównaj usytuowanie istoty szarej i istoty białej w obrębie mózgowia oraz rdzenia kręgowego.
5. Podaj główne funkcje rdzenia kręgowego.
6. Wykaż, że obecność opon mózgowia i rdzenia kręgowego stanowi ochronę tych struktur przez urazami.

9.3. Obwodowy układ nerwowy

Ważne w tym temacie!

- budowa i funkcje obwodowego układu nerwowego
- zasada działania łuku odruchowego
- odruchy bezwarunkowe i warunkowe
- rola 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

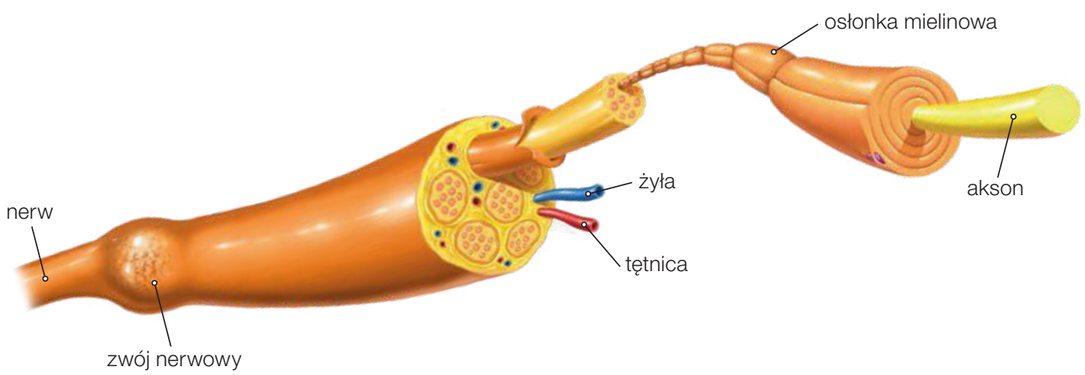
Obwodowy układ nerwowy jest zbudowany z nerwów oraz ze zwojów nerwowych.

Nerwy są pęczkami włókien nerwowych, czyli wypustek neuronów (głównie aksonów) podtrzymywanych i chronionych przez tkankę łączną właściwą.

Zakończenia niektórych nerwów pełnią funkcję receptorową – odbierają bodźce ze środowiska zewnętrznego lub środowiska wewnętrznego organizmu. Między 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, która przebiega 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 skupienia ciał komórek nerwowych poza ośrodkowym układem nerwowym. Ich funkcją jest kontrolowanie czynności narządów.

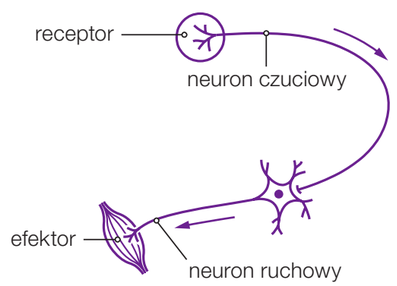
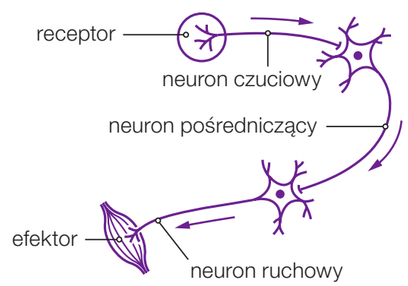
Łuk odruchowy

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 skład łuku odruchowego 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).

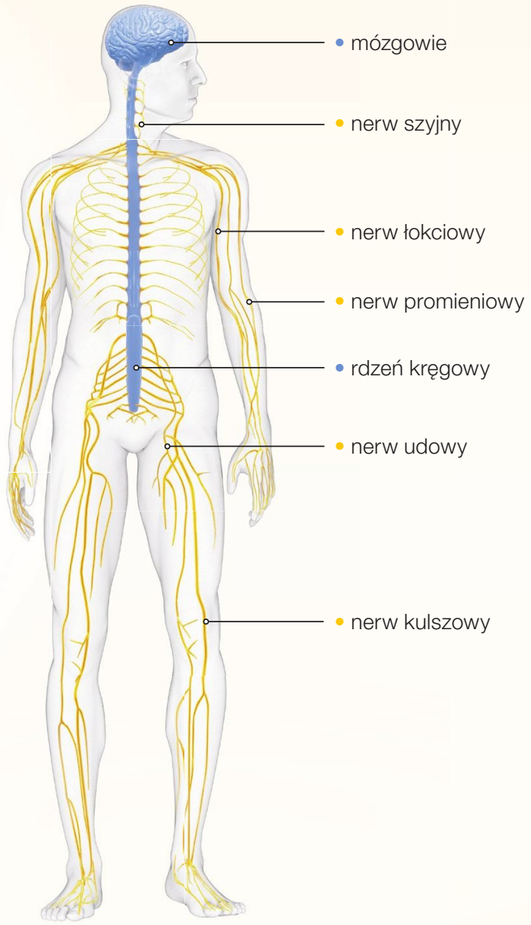
Efektory to inaczej narządy wykonawcze. Są one ostatnim elementem łuku odruchowego. Do efektorów należą głównie mięśnie oraz gruczoły.

Podział odruchów ze względu na liczbę synaps

odruch monosynaptyczny	odruch polisynaptyczny
	
• Występuje w nim jedna synapsa. • Między 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. • Między 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

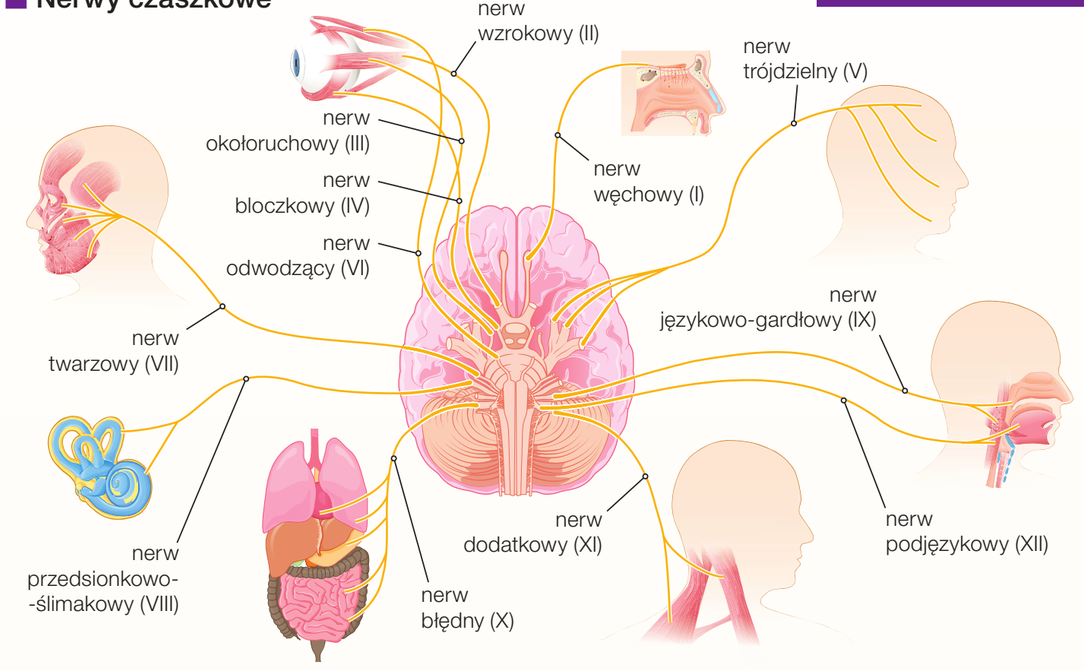
Nerwy przekazują informację między ośrodkowym układem nerwowym a wszystkimi innymi częściami ciała. **Nerwy czaszkowe** unerwiają głównie okolice głowy i szyi. Wyjątkami są nerw błędny, który unerwia serce, oskrzela, płuca, żołądek i jelita, oraz nerw dodatkowy, który unerwia mięśnie obręczy barkowej. **Nerwy rdzeniowe** unerwiają skórę, mięśnie, narządy wewnętrzne i naczynia krwionośne.



ośrodkowy układ nerwowy
obwodowy układ nerwowy

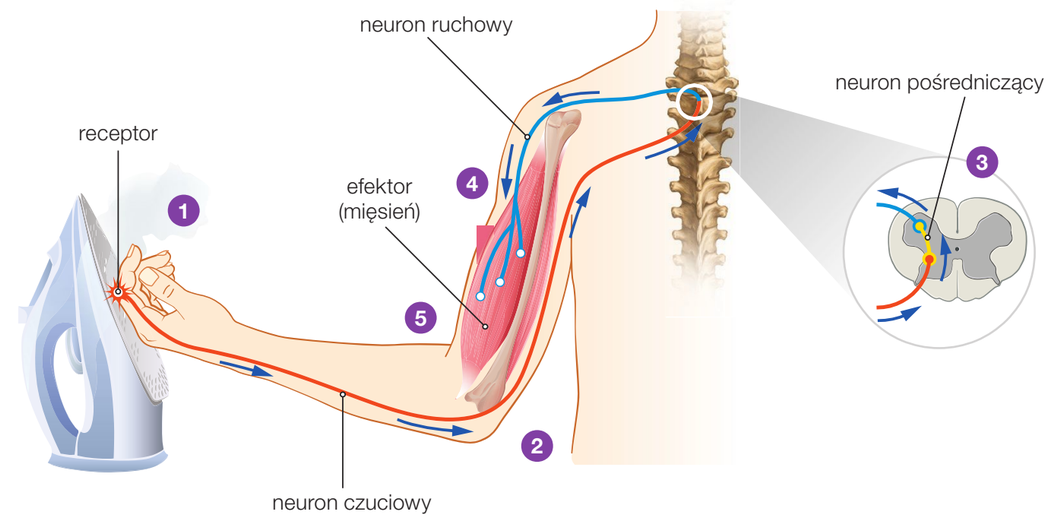
Nerwy czaszkowe

Dowiedz się więcej



Łuk odruchowy

Łuk odruchowy to droga, którą pokonuje impuls nerwowy od receptora do efektora. Droga ta obejmuje 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 się kurczy, 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 dzięki 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 powstają na bazie odruchów bezwarunkowych i są wytwarzane przez całe życie. Dzięki temu 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 – to dlatego efektywna nauka wymaga regularnych, licznych powtórzeń.

Wyróżnia się dwa rodzaje odruchów warunkowych – odruchy klasyczne i odruchy instrumentalne.

Klasyczne odruchy warunkowe powstają w wyniku kojarzenia pierwotnie neutralnego bodźca (np. dźwięku dzwonka) z bodźcem kluczowym, który wywołuje reakcję bezwarunkową (np. jedzeniem, na którego widok pies się ślini). W wyniku wielokrotnego łączenia obu bodźców (np. widoku jedzenia i dźwięku dzwonka) powstaje odruch warunkowy, czyli reakcja na pierwotnie neutralny bodziec (pies ślini się na sam dźwięk dzwonka).

Instrumentalne odruchy warunkowe powstają w toku nauki. W ich wytworzeniu ważna jest motywacja, czyli dążenie organizmu do zaspokojenia określonej potrzeby (np. jedzenia lub bliskości). Reakcję tę wykorzystuje się m.in. podczas tresury zwierząt: poprawne wykonanie danej czynności skutkuje otrzymaniem nagrody lub uniknięciem kary (np. pies uczy się, że otrzyma jedzenie wtedy, gdy naciśnie przycisk).

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

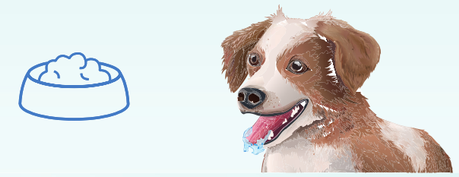
Odruch ssania jest odruchem bezwarunkowym. Pojawia się ok. 17. tygodnia życia płodowego. W okresach noworodkowym i niemowlęcym umożliwia dziecku zaspokajanie głodu. Prawidłowo wykształcony odruch ssania jest też istotny podczas nauki mowy.

Odruch wydzielania śliny na widok cytryny lub na myśl o niej jest przykładem odruchu warunkowego. Wynika on bowiem nie z bezpośredniego kontaktu z kwaśną substancją, ale ze wspomnień dotyczących smaku, które są przywoływane na widok cytryny.

W jaki sposób powstaje klasyczny odruch warunkowy?

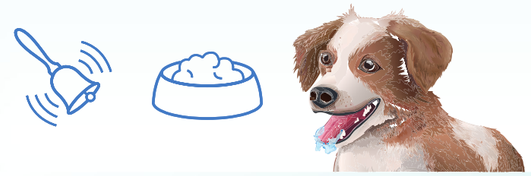
Proces powstawania odruchu warunkowego można prześledzić na przykładzie eksperymentu przeprowadzonego pod koniec XIX w. przez rosyjskiego fizjologa Iwana Pawłowa. Obiektem badawczym w tym eksperymencie były psy. Naukowiec wytworzył u nich odruch wydzielania śliny na obojętny bodziec, którym był dźwięk dzwonka.

1 Obecność pokarmu w pysku psa sprawia, że wydziela on ślinę. Pokarm jest bodźcem kluczowym (bezwarunkowym), który powoduje bezwarunkową reakcję, czyli wydzielanie śliny.

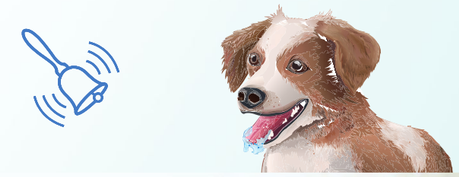


2 Dźwięk dzwonka nie powoduje wydzielania śliny u psa. Jest więc bodźcem obojętnym – nie wywołuje odruchu.

3 Eksperyment Pawłowa polegał na dzwonieniu dzwonkiem podczas podawania psu pokarmu. Czynność ta była powtarzana wielokrotnie.



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. Ponadto 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.

Rola odruchów warunkowych w procesie uczenia się

Uczenie się to proces zdobywania wiedzy lub umiejętności. Jednym z podstawowych mechanizmów uczenia się są odruchy warunkowe. Z fizjologicznego punktu widzenia odruchy te powstają dzięki tworzeniu się nowych połączeń synaptycznych między neuronami (głównie w obrębie kory mózgowej). W ciągu życia człowiek nieustannie kształtuje nowe odruchy warunkowe. Mogą być one wzmacniane (gdy są powtarzane) bądź osłabiane lub wygaszane (gdy nie są utrwalane).

Tworzeniu nowych odruchów warunkowych sprzyjają:

- motywacja – czyli chęć uzyskania nagrody lub uniknięcia kary. Motywacją może być także potrzeba nauczenia się czegoś nowego (np. nauka jazdy na rowerze);
- powtarzanie określonych czynności, co prowadzi do utrwalenia odruchu;
- unikanie bodźców, które odciągają uwagę.

Ludzie uczą się albo przez przyzwyczajanie się, albo przez wykorzystanie metody prób i błędów. Oznacza to, że ludzie potrafią rozwiązywać problemy na podstawie swoich wcześniejszych doświadczeń. W trakcie rozwoju wykształca się również zdolność wyciągania wniosków z doświadczeń – umiejętność ta nosi nazwę **myślenia abstrakcyjnego**. Myślenie abstrakcyjne umożliwia świadome uczenie się, rozwijanie wyobraźni oraz nadawanie sensu procesom i zjawiskom. Pozwala także planować określone działania i przewidywać ich skutki.

Odruch uczenia się

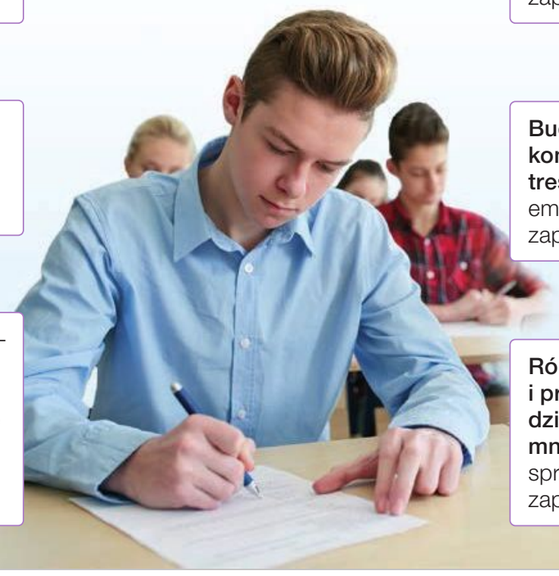
Dzięki systematycznej pracy można opanować nie tylko naukę niektórych umiejętności (np. jazdę na rowerze czy grę na pianinie), lecz także odruch uczenia się.

Jak się uczyć?

Postaw na aktywność – dobra kondycja fizyczna powoduje, że mózg pracuje sprawniej.

Kieruj się tym, co lubi Twój mózg – nowe, ciekawe i przydatne treści zapamiętuje się szybciej.

Wysypiaj się – podczas snu mózg utrwala nowe informacje nabyte w ciągu dnia.



Buduj pozytywne konteksty dla nowych treści – pozytywne emocje sprzyjają zapamiętywaniu.

Stosuj mnemotechniki – np. układaj zabawne wierszyki z trudnych pojęć lub zdania złożone z pierwszych liter wyrazów, które musisz zapamiętać.

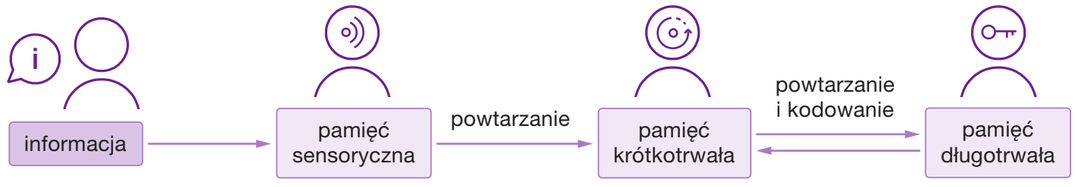
Rób częste powtórki i przerwy w nauce, dziel materiał na mniejsze partie – sprzyja to trwalszemu zapamiętywaniu.

Dowiedz się więcej

Rola pamięci w procesie uczenia się

Pamięć to zdolność mózgu do przechowywania i odtwarzania informacji, których się nauczyliśmy. Współcześnie wyróżnia się trzy rodzaje pamięci: pamięć sensoryczną, pamięć krótkotrwałą oraz pamięć długotrwałą.

Pamięć długotrwała jest bardzo pojemna, jednak mózg nie przetrzymuje w niej wszystkich pozyskanych informacji – zbędne wiadomości są z niej regularnie usuwane. To dlatego warto powtarzać te informacje, które chce się zapamiętać.



1 Narządy zmysłów
Odbierają informacje, np. wypowiedziane przez kogoś zdanie pobudza receptory słuchu w uchu wewnętrznym.

2 Pamięć sensoryczna (zmysłowa)
Pamięć o znacznej pojemności, lecz krótkim czasie trwania. Informacje odbierane za pomocą zmysłów (np. usłyszane zdanie) są w niej przechowywane zaledwie przez sekundę.

3 Pamięć krótkotrwała
Pamięć o niewielkiej pojemności (zwykle 6–8 elementów). Zarejestrowane w niej informacje, jeśli nie są powtarzane, zostają utracone w czasie od kilku sekund do kilku minut. Pamięć krótkotrwała pośredniczy w gromadzeniu informacji oraz w wydobywaniu ich z pamięci długotrwałej.

4 Pamięć długotrwała
Pamięć o znacznej pojemności. Warunkiem przeniesienia informacji do pamięci długotrwałej jest ich powtarzanie, a następnie grupowanie w odpowiednie kategorie (tzw. kodowanie). Odtworzenie informacji przechowywanych w pamięci długotrwałej wymaga ich czasowego przeniesienia do pamięci krótkotrwałej.

Polecenia kontrolne

1. Przedstaw 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 odruchu bezwarunkowego.

9.4. Autonomiczny układ nerwowy

Ważne w tym temacie!

- podział autonomicznego układu nerwowego na układ współczulny i układ przywspółczulny
- lokalizacja ośrodków części współczulnej i części przywspółczulnej
- rola autonomicznego układu nerwowego w utrzymywaniu homeostazy

Ze względu na pełnione funkcje układ nerwowy dzieli się na układ somatyczny i układ 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. Układ autonomiczny współpracuje z układem somatycznym, dzięki czemu umożliwia przystosowanie się organizmu do zmiennych warunków otoczenia i utrzymanie homeostazy.

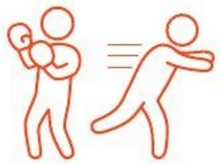
Układ współczulny i układ przywspółczulny

W obrębie układu autonomicznego wyróżnia się układy współczulny i przywspółczulny. Oba przekazują impulsy do tych samych narządów, choć 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 rozkurcz 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. spowolnienie 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 odpoczynku lub po obfitym posiłku.

Autonomiczny układ nerwowy	
układ współczulny	**układ przywspółczulny**
• Koordynuje pracę narządów w sytuacji stresowej.	• Koordynuje pracę narządów w stanie spoczynku.
	
Walcz lub uciekaj.	Odpoczywaj.

Podczas pisana egzaminu dominuje układ współczulny, dzięki któremu m.in. zwiększa się aktywność mózgu i narządów zmysłów.

Rola autonomicznego układu nerwowego w utrzymywaniu homeostazy

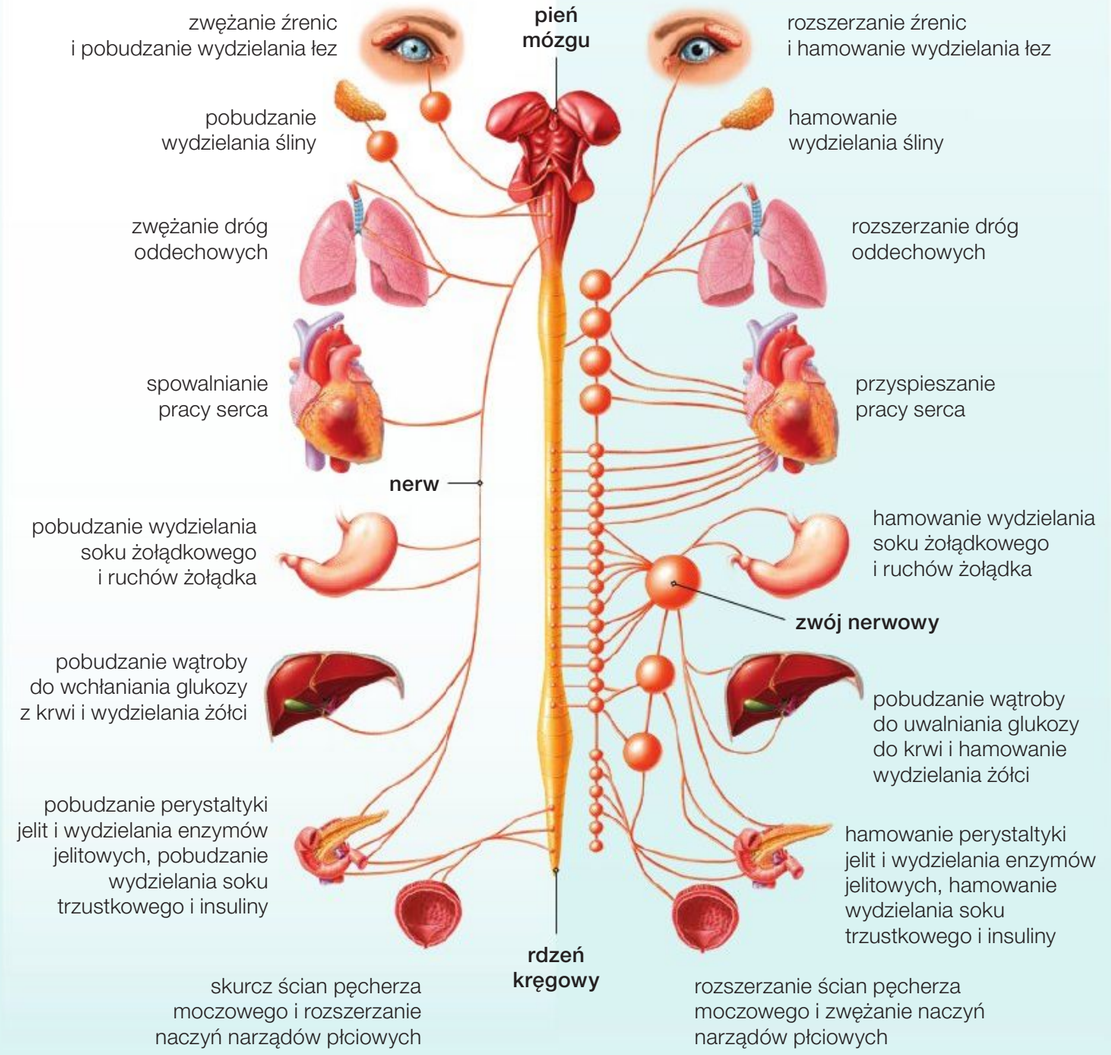
Rola autonomicznego układu nerwowego w utrzymywaniu homeostazy polega na dostosowywaniu pracy narządów wewnętrznych do sytuacji, w której znajduje się organizm.

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.



Budowa układu współczulnego

Układ współczulny ma budowę segmentową. Wyróżnia się w nim: część ośrodkową, pnie współczulne i część obwodową.

Część ośrodkową stanowią ośrodki nerwowe znajdujące się w istocie szarej rdzenia kręgowego. Do ośrodków tych zalicza się m.in. ośrodek naczynioruchowy oraz ośrodek wydzielania potu. Od ośrodków rdzenia kręgowego odchodzą włókna nerwowe (przedzwojowe), które prowadzą do pni współczulnych.

Pnie współczulne są utworzone przez zwoje nerwowe, które znajdują się po obu stronach kręgosłupa.

Część obwodowa składa się z włókien zazwojowych, które mają początek w zwojach pnia współczulnego. Włókna te docierają do unerwianych narządów.

Neuroprzekaźnikami układu współczulnego są acetylocholina, adrenalina i noradrenalina.

Budowa układu przywspółczulnego

W układzie przywspółczulnym wyróżnia się dwie części: część mózgową i część rdzeniową.

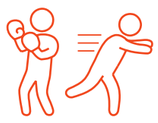
Część mózgowa obejmuje ośrodki nerwowe umiejscowione w śródmózgowiu i rdzeniu przedłużonym.

Część rdzeniowa jest zbudowana z ośrodków nerwowych umiejscowionych w istocie szarej rdzenia kręgowego.

Z ośrodków nerwowych części głowowej i części rdzeniowej odchodzą długie włókna przedzwojowe, które kończą swój bieg w zwojach. Zwoje układu przywspółczulnego nie tworzą zwartego pnia, lecz znajdują się bezpośrednio w narządach lub w ich niedalekim sąsiedztwie. Dopiero ze zwojów odchodzą stosunkowo krótkie włókna zazwojowe, które docierają do unerwianych narządów.

Neuroprzekaźnikiem układu przywspółczulnego jest acetylocholina.

Lokalizacja ośrodków nerwowych i zwojów nerwowych w układzie przywspółczulnym oraz w układzie współczulnym

Układ	Lokalizacja ośrodków nerwowych	Lokalizacja zwojów nerwowych
przywspółczulny	istota szara pnia mózgu oraz istota szara rdzenia kręgowego w odcinku krzyżowym	narządy wewnętrzne lub ich bezpośrednie sąsiedztwo
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. Przedstaw funkcje autonomicznego układu nerwowego.
3. Wyjaśnij, w jaki sposób układ współczulny przygotowuje organizm do wysiłku fizycznego.
4. Podaj przykłady dwóch sytuacji, w których dominuje czynność przywspółczulnego układu nerwowego.
5. Wyjaśnij termin *antagonizm czynnościowy*. Podaj przykład tego zjawiska.

9.5. Higiena i choroby układu nerwowego

Ważne w tym temacie!

- biologiczne znaczenie snu
- wpływ substancji psychoaktywnych na funkcjonowanie organizmu człowieka
- charakterystyka choroby Alzheimera, choroby Parkinsona i depresji oraz znaczenie wczesnej diagnostyki dla ograniczenia społecznych skutków tych chorób

Szybkie tempo życia, stres, niewystarczająca ilość snu i duża liczba bodźców obciążają układ nerwowy, co może zakłócać jego funkcjonowanie oraz prowadzić do rozwoju wielu 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.

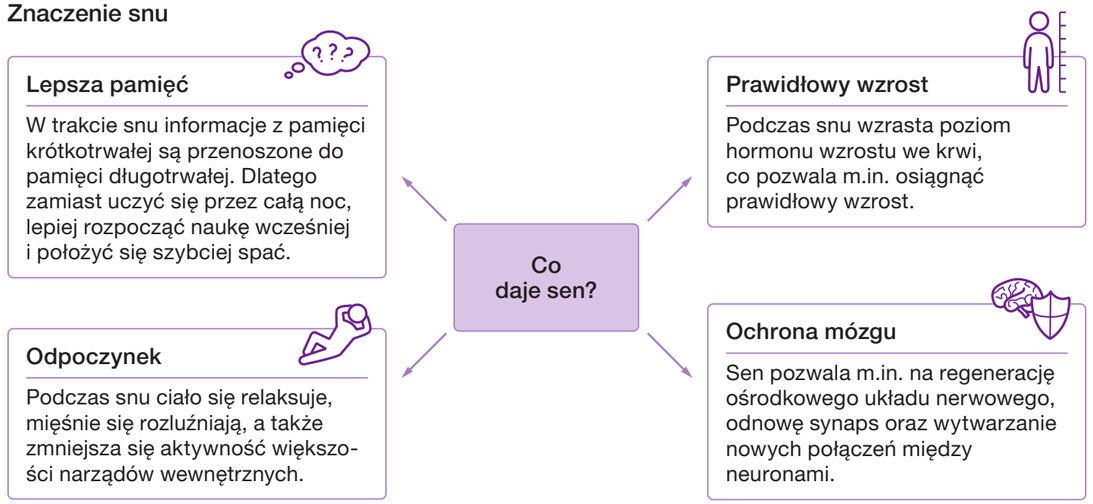
Sen

Sen jest fizjologicznym stanem odpoczynku całego ciała. Może on zostać łatwo przerwany przez bodźce zewnętrzne, np. głośny dźwięk. Sen 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 spowolnienia 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. Podczas snu cykle powinny się powtarzać od 4 do 6 razy. 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.

Znaczenie snu

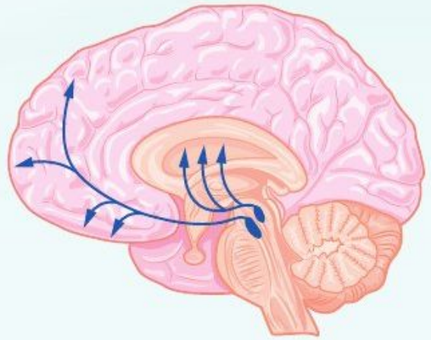


Jak substancje psychoaktywne wpływają na funkcjonowanie organizmu?

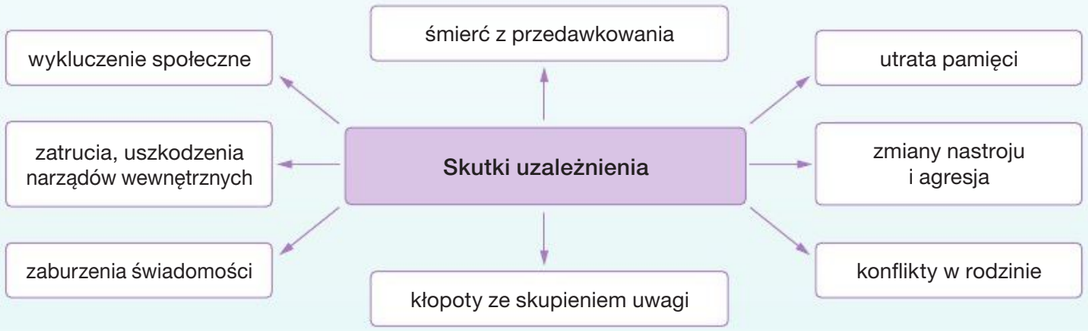
Substancje psychoaktywne to związki chemiczne, które zmieniają stan świadomości i zachowanie człowieka przez oddziaływanie na jego układ nerwowy. Do substancji psychoaktywnych zalicza się m.in. substancje narkotyczne, dopalacze, alkohol, tytoń i niektóre leki, np. o działaniu uspokajającym lub nasennym.

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, które 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 zażywanie narkotyków 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 występują w roślinach, np. kokaina jest wytwarzana z liści krasnodrzewu pospolitego.

Alkohol

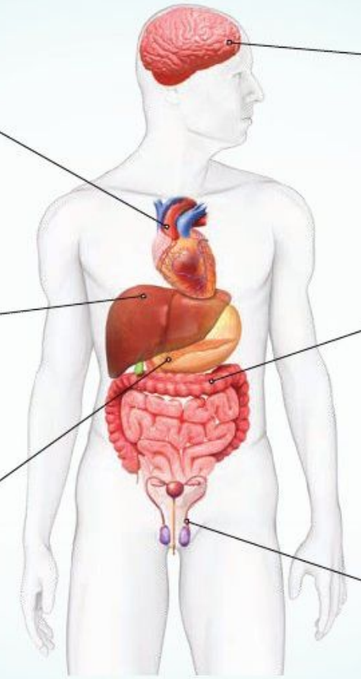
Alkohol jest substancją silnie uzależniającą, dlatego częste jego spożywanie może prowadzić do uzależnienia, czyli **alkoholizmu**. Alkoholizm może dotknąć każdego, niezależnie od wykształcenia czy statusu społecznego.

Wpływ alkoholu na organizm człowieka

Układ krążenia: wzrost tętna i ciśnienia krwi, nieregularna praca serca, zaburzenia termoregulacji, wzrost ryzyka zawału serca i udaru mózgu.

Wątroba: zapalenie wątroby, marskość wątroby, rak wątroby.

Trzustka: zniszczenie struktur odpowiedzialnych za wydzielanie enzymów trawiennych i hormonów.



Układ nerwowy: zmiany nastroju, utrata koordynacji ruchów, 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 nowotwory narządów układu pokarmowego.

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 w płynach stosowanych w e-papierosach. Podczas palenia wyrobów nikotynowych wraz z dymem do organizmu dostaje się też wiele innych szkodliwych związków, w tym działających drażniąco, toksycznie lub rakotwórczo.

E-papierosy są równie szkodliwe dla organizmu jak tradycyjne papierosy.

Leki

Do środków psychoaktywnych należą niektóre leki, m.in. leki przeciwbólowe, nasenne lub o działaniu uspokajającym i przeciwdepresyjnym. Przyjmowanie tych środków niezgodnie z zaleceniami może prowadzić do uzależnienia oraz powodować poważne skutki uboczne, w tym zaburzenia pamięci, upośledzenie funkcji poznawczych, halucynacje oraz uszkodzenia różnych narządów.

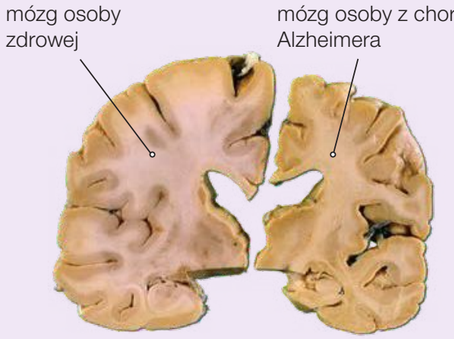
Uzależnienie od leków i innych środków farmaceutycznych nazywa się lekomanią.

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 przebiegu choroby Alzheimera dochodzi do zaniku kory mózgowej, co może prowadzić do zmniejszenia objętości mózgu.

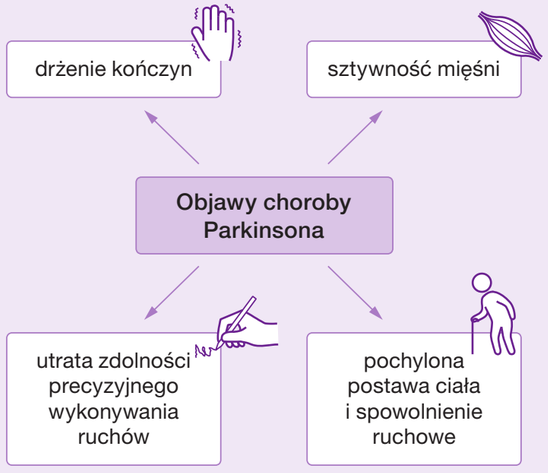
Czynniki ryzyka rozwoju choroby Alzheimera:
– starszy wiek (powyżej 65 lat),
– płeć żeńska,
– cukrzyca,
– występowanie w rodzinie choroby Alzheimera.

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 z chorobą Parkinsona.

- **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.

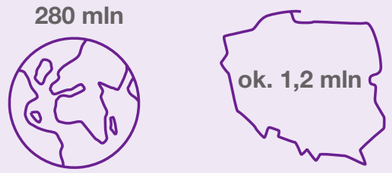


Diagnostyka:
– obserwacja pacjenta,
– tomografia komputerowa,
– rezonans magnetyczny.

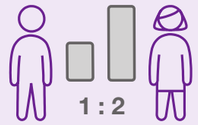
Depresja

Depresja jest jednym z najczęściej występujących zaburzeń nastroju. Charakteryzuje się m.in. długotrwałym obniżeniem samopoczucia, co uniemożliwia osobie z depresją codzienne prawidłowe funkcjonowanie. Depresja jest najczęstszą przyczyną samobójstw, dlatego tak ważne jest jej szybkie wykrycie i leczenie.

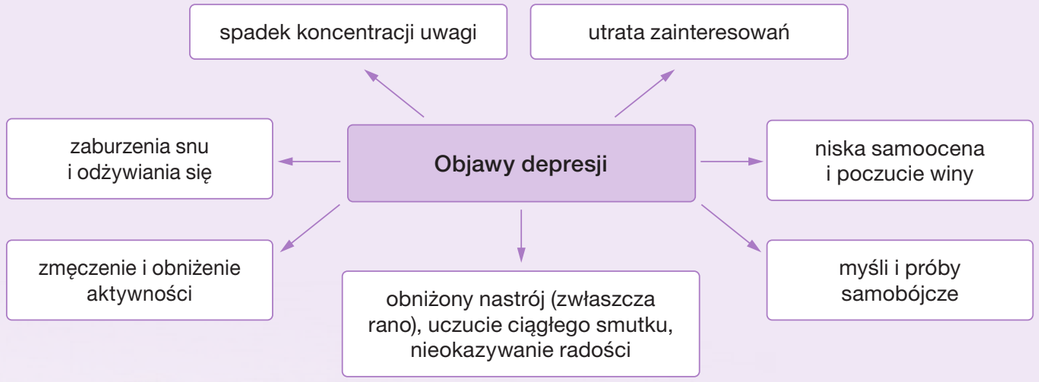
- **Przyczyny:** najczęściej złożone, m.in. czynniki genetyczne, zaburzenia przekazywania informacji w mózgu, występowanie chorób przewlekłych, uzależnienia, trudne i stresujące wydarzenia życiowe, samotność.
- **Profilaktyka:** m.in. bliskie i szczere relacje z innymi, dbanie o zdrowy sen i aktywność fizyczną, konsultacje psychiatryczne i psychologiczne.



Depresja dotyka ponad 280 mln ludzi na świecie, w tym ok. 1,2 mln w Polsce.



Kobiety zgłaszają objawy depresji dwukrotnie częściej niż mężczyźni.



Jeżeli objawy wskazujące na depresję utrzymują się ponad dwa tygodnie, to warto porozmawiać o tym ze specjalistą.

Kryzys psychiczny

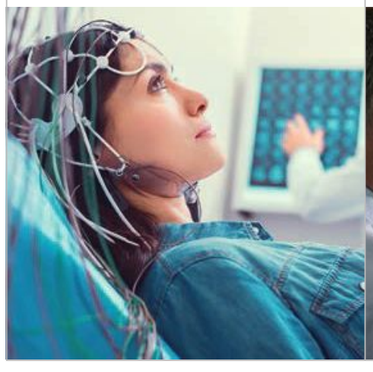
Kryzys psychiczny (zwany potocznie załamaniem nerwowym) to bardzo silna reakcja człowieka na trudną sytuację życiową. Kryzys może być wywołany przez śmierć kogoś bliskiego, rozwód rodziców, doświadczenie przemocy, problemy rodzinne lub kłopoty w szkole. Każda osoba dotknięta kryzysem psychicznym przeżywa 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.

Diagnostyka chorób układu nerwowego

Badania diagnostyczne chorób układu nerwowego zleca **neurolog**. 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 umieszcza się elektrody, które rejestrują zmiany potencjału elektrycznego, wynikające z pracy kory mózgowej.	Metoda wykorzystująca promieniowanie rentgenowskie, która pozwala uzyskać obrazy wnętrza organizmu. W neurologii najczęściej wykonuje się tomografię komputerową głowy.	Metoda ta służy do uzyskania obrazów wnętrza organizmu. Nie wykorzystuje się w niej jednak szkodliwego promieniowania rentgenowskiego, lecz pole magnetyczne.
		

Polecenia kontrolne

1. Przedstaw 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:

- 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 między 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 impulsu elektrycznego (impulsu nerwowego).

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 między 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 się otwierają, co powoduje, że jony sodu przemieszczają się do wnętrza neuronu. Następuje chwilowe odwrócenie ładunków po obu stronach błony, czyli depolaryzacja.		Kanały sodowe się zamykają, 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.

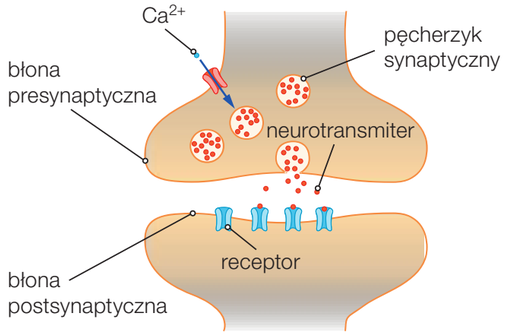
Rodzaje synaps

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, acetylocholina) 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 Główne funkcje rdzenia kręgowego:

- 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

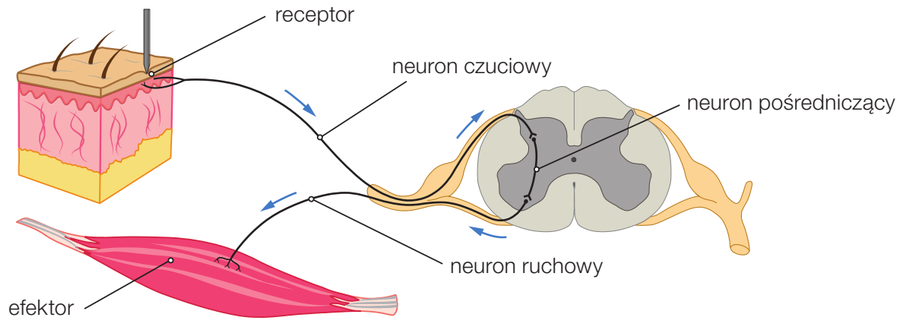
odruchy bezwarunkowe

- 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

- Koordynuje pracę narządów w **sytuacji stresowej**.
- Powoduje m.in. przyspieszenie rytmu serca, rozszerzenie źrenic oraz skurcz mięśni oskrzeli.
- Jego ośrodki nerwowe znajdują się w istocie szarej rdzenia kręgowego w odcinku piersiowo-lędźwiowym.

przywspółczulny

- Koordynuje pracę narządów w **stanie spoczynku**.
- Powoduje m.in. spowolnienie rytmu serca, zwężenie źrenic i rozluźnienie mięśni oskrzeli.
- Jego ośrodki nerwowe znajdują się w istocie szarej pnia mózgu oraz istocie szarej rdzenia kręgowego w odcinku krzyżowym.

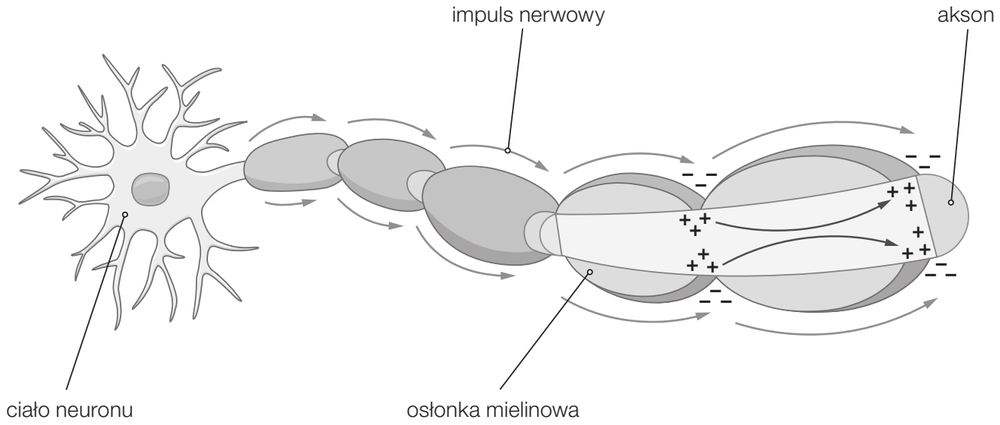
12 Choroby układu nerwowego. Depresja

Nazwa	Główne objawy	Przyczyny	Profilaktyka
Choroba Alzheimera	Zaburzenia pamięci, mowy, orientacji w czasie i przestrzeni.	Powstawanie w mózgu nieprawidłowych form 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.	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.
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 fizyczną, 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.

Po odbiorze bodźca dochodzi do krótkotrwałej depolaryzacji błony, czyli do zmiany ładunku po obu jej stronach. Zastanów się, w jaki sposób podczas depolaryzacji jony dodatnie są transportowane w poprzek błony. Czy ten transport wymaga nakładu energii czy odbywa się zgodnie z gradientem stężeń?

a) Wyjaśnij, w jaki sposób podczas depolaryzacji dochodzi do utworzenia dodatniego ładunku na wewnętrznej powierzchni błony neuronu.

Podczas spoczynku błona neuronu jest spolaryzowana, ponieważ wewnątrz neuronu znajduje się więcej jonów ujemnych niż jonów dodatnich, a w płynie pozakomórkowym – więcej jonów dodatnich niż jonów ujemnych.

Przykładowe rozwiązania:

- Podczas depolaryzacji dochodzi do otwarcia kanałów jonowych. W efekcie jony przemieszczają się w poprzek błony neuronu zgodnie z gradientem stężeń. Przepływ jonów sodu do wnętrza neuronu powoduje zmianę ładunku ujemnego na ładunek dodatni.
- Podczas depolaryzacji zwiększa się przepuszczalność błony neuronu dla kationów sodu / jonów Na^+, które zgodnie z gradientem stężeń dyfundują z płynu pozakomórkowego do wnętrza neuronu. Powoduje to zmianę ładunku wewnętrznej powierzchni błony z ładunku ujemnego na ładunek dodatni.

Pamiętaj, że w odpowiedzi na tak sformułowane polecenie musi znaleźć się informacja, że stwierdzenie jest prawdziwe bądź nieprawdziwe.

b) Oceń prawdziwość stwierdzenia: „Impuls nerwowy jest przekazywany szybciej przez włókna mielinowe niż przez włókna bezmielinowe”. Odpowiedź uzasadnij.

Impuls nerwowy we włóknach mielinowych przemieszcza się skokowo między węzłami (przewężeniami) Ranviera. Z kolei we włóknach bezmielinowych przemieszcza się wzdłuż całego włókna. Zastanów się, który sposób przemieszczania się jest szybszy.

Rozwiązanie:

Stwierdzenie jest prawdziwe, ponieważ we włóknach mielinowych impuls nerwowy przemieszcza się skokowo między węzłami (przewężeniami) Ranviera, natomiast we włóknach bezmielinowych musi pokonać długość całego neuronu.

c) Podaj nazwę pierwiastka, którego aniony biorą udział w przewodzeniu impulsu nerwowego.

Aniony to jony ujemne. Przypomnij sobie: jony jakich pierwiastków biorą udział w przewodzeniu impulsów nerwowych? Zastanów się, które z nich są anionami.

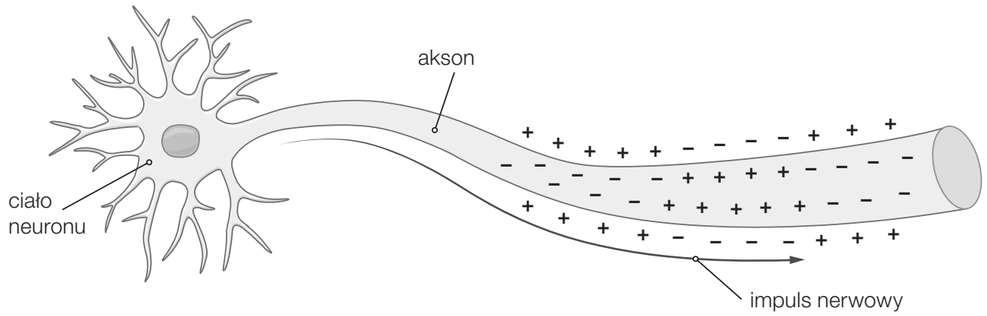
Rozwiązanie:

Chlor / Cl

Zadanie analogiczne

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Schemat przedstawia przewodzenie impulsu nerwowego we włóknie bezmielinowym.



a) Wyjaśnij, w jaki sposób podczas repolaryzacji dochodzi do przywrócenia potencjału spoczynkowego błony neuronu.

b) Oceń prawdziwość stwierdzenia: „Impuls nerwowy jest przekazywany wolniej w synapsach elektrycznych niż w synapsach chemicznych”. Odpowiedź uzasadnij.

c) Podaj nazwę pierwiastka, którego kationy biorą udział w przewodzeniu impulsu nerwowego.

Zadania powtórzeniowe

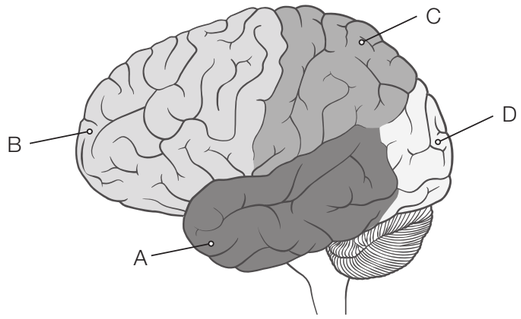
WYKONAJ W ZESZYCIE

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.

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. W chorobie Parkinsona występuje niedobór (*GABA* / *serotoniny* / *dopaminy* / *adrenaliny*).
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.

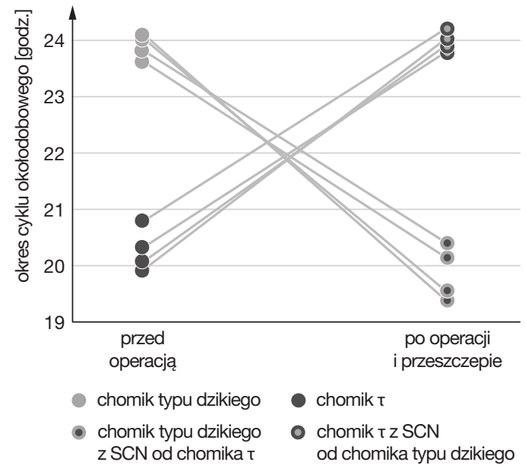
Korę mózgu tworzy

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. Wybierz 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 aktywność autonomicznego układu nerwowego zmienia się w ciągu doby. 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.

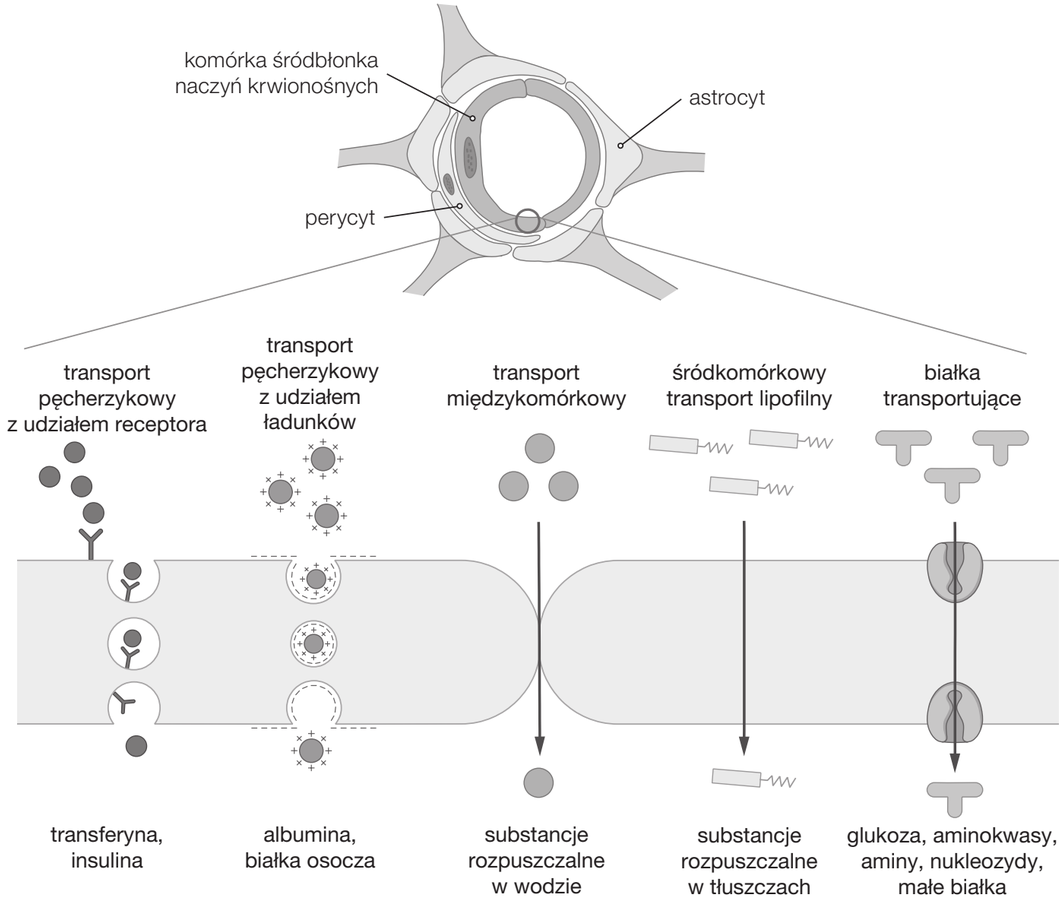
b) Do podanych poniżej nazw części autonomicznego układu nerwowego (A–B) dopasuj właściwe reakcje układu pokarmowego człowieka, warunkowane przez pobudzenie odpowiedniej części AUN (1–4).

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) Wyjaśnij, dlaczego do przenoszenia substancji rozpuszczalnych w tłuszczach jest wykorzystywany transport śródkomórkowy, a nie – transport międzykomórkowy.

c) Oceń, czy poniższe stwierdzenia dotyczące transportu przez barierę krew–mózg są prawdziwe. Wybierz P, jeśli stwierdzenie jest prawdziwe, albo F – jeśli jest fałszywe.

1.	Transport pęcherzykowy w komórkach śródbłonka jest transportem aktywnym.	P	F
2.	Transport pęcherzykowy 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

10. Narządy zmysłów

Fot. Fotoreceptory siatkówki (obraz spod SEM).

10.1. Narządy zmysłów u zwierząt

Ważne w tym temacie!

- podział receptorów ze względu na rodzaj odbieranego bodźca
- budowa narządów zmysłów

Bodźce są odbierane przez **receptory** – wyspecjalizowane komórki lub wolne zakończenia nerwowe (dendryty). Receptory reagują na określone bodźce i przekazują je w postaci impulsów nerwowych do ośrodkowego układu nerwowego, gdzie są one przetwarzane. Receptory mogą być rozproszone w ciele albo skupione w narządach zmysłów.

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

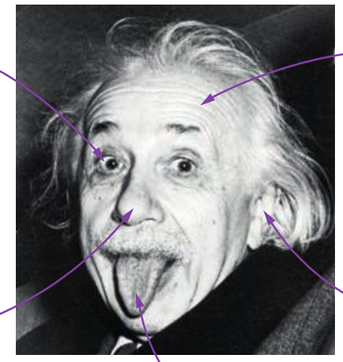
Narządy zmysłów są zbudowane z komórek receptorowych, którym towarzyszą zazwyczaj inne komórki ułatwiające odbiór bodźca. U poszczególnych gatunków zwierząt są one rozwinięte w różnym stopniu. Do podstawowych rodzajów zmysłów należą: dotyk, wzrok, słuch, równowaga, węch oraz smak.

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, w 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 w narządach wewnętrznych.
Nocyceptory	• 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 niektórych zwierząt.

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.



Albert Einstein [wym. ainsztain].

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.

Ucho

Ucho jest narządem słuchu oraz narządem równowagi. Umożliwia odbiór fal dźwiękowych i ocenę położenia ciała.

Kubki smakowe

Kubki smakowe są narządem smaku. Znajdują się głównie w brodawkach języka.

Zmysł, który u konkretnego gatunku odgrywa główną rolę, określa się mianem zmysłu 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.

Linia boczna

Linia boczna to narząd zmysłu ryb, larw płazów oraz niektórych dorosłych płazów. Jest on złożony z mechanoreceptorów umiejscowionych w linii tuż pod powierzchnią skóry. Dzięki linii bocznej zwierzęta odczuwają ruchy i drgania 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.

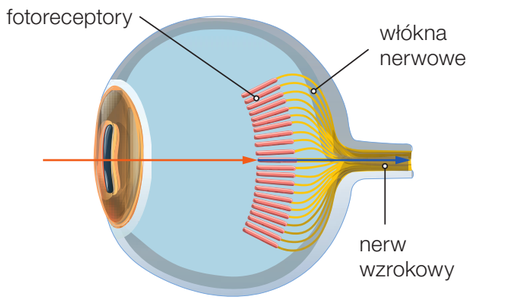
Zmysł wzroku

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. Wyróżnia się dwa główne rodzaje oczu: oczy proste (większość zwierząt) i oczy złożone (większość stawonogów).

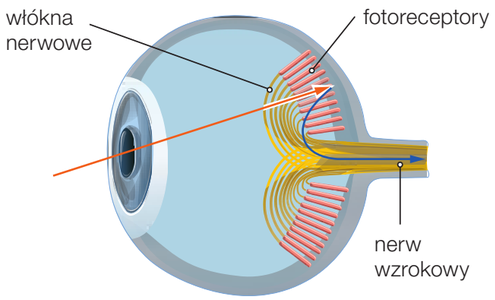
Dowiedz się więcej

Oczy głowonogów i oczy kręgowców

W budowie oczu głowonogów i oczu kręgowców można wyróżnić podobne elementy, m.in. źrenicę, soczewkę, ciało szkliste i siatkówkę. Narządy te powstały jednak w toku ewolucji niezależnie od siebie, czyli są przykładem narządów analogicznych.



Budowa oka głowonogów. W oku głowonogów włókna nerwowe (aksony) znajdują się pod warstwą fotoreceptorów i zbiegają się wprost w nerw wzrokowy.



Budowa oka kręgowców. W oku kręgowców włókna nerwowe (aksony) znajdują się nad warstwą fotoreceptorów. To dlatego najpierw skręcają w stronę mózgu, a dopiero później zbiegają się w nerw wzrokowy.

Zmysły słuchu i równowagi

U większości zwierząt występują narządy słuchu i równowagi, w których funkcjonowaniu główną rolę odgrywają mechanoreceptory.

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 niektórych 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). U ssaków pojawiają się dodatkowe kosteczki słuchowe – młoteczek i kowadełko – oraz małżowina uszna. 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, który znajduje się w uchu wewnętrznym. 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 zaś powoduje powstanie impulsu nerwowego, który przesyła informację do mózgowia.

Zmysły węchu i smaku

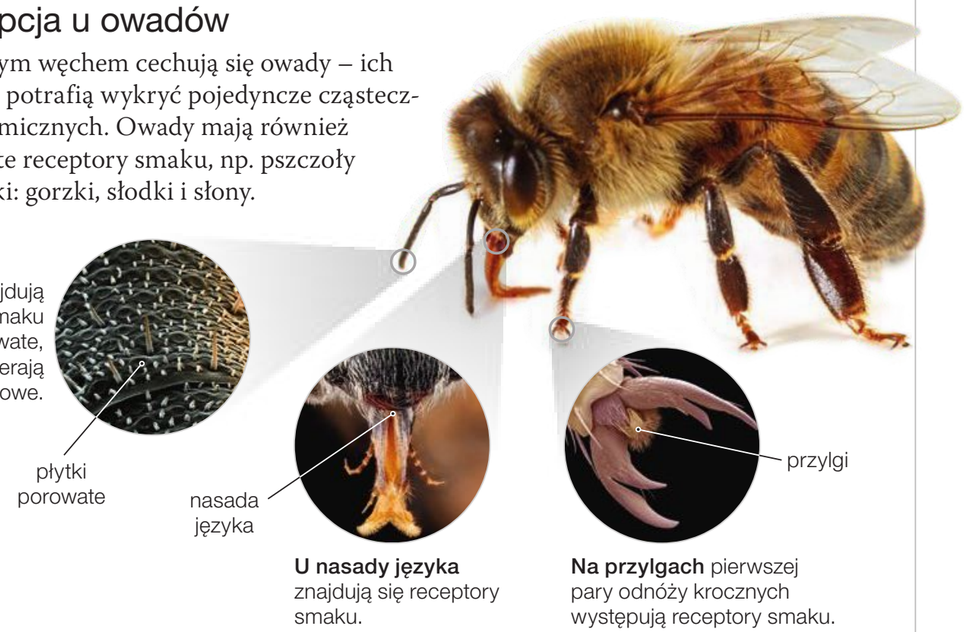
Chemoreceptory występują u wszystkich zwierząt i reagują na substancje chemiczne obecne w środowisku. W zależności od gatunku zwierzęcia chemoreceptory mogą być rozproszone w ciele lub zlokalizowane w narządach zmysłów węchu oraz smaku. U zwierząt wodnych występują wyłącznie narządy węchu, natomiast 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.



U nasady języka znajdują się receptory smaku.

Na przylgach pierwszej pary odnóży krocznych występują receptory smaku.

Polecenia kontrolne

1. Podaj rodzaje receptorów wyróżnianych ze względu na rodzaj odbieranego bodźca.
2. Porównaj budowę trzech rodzajów oczu prostych u zwierząt.
3. Wyjaśnij, dlaczego większość narządów zmysłów u zwierząt znajduje się w przednim odcinku ciała.

10.2. Budowa i działanie narządu wzroku

Ważne w tym temacie!

- budowa i działanie oka
- podstawowe zasady higieny wzroku

Narządem wzroku człowieka jest oko. Obecne w nim fotoreceptory umożliwiają 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

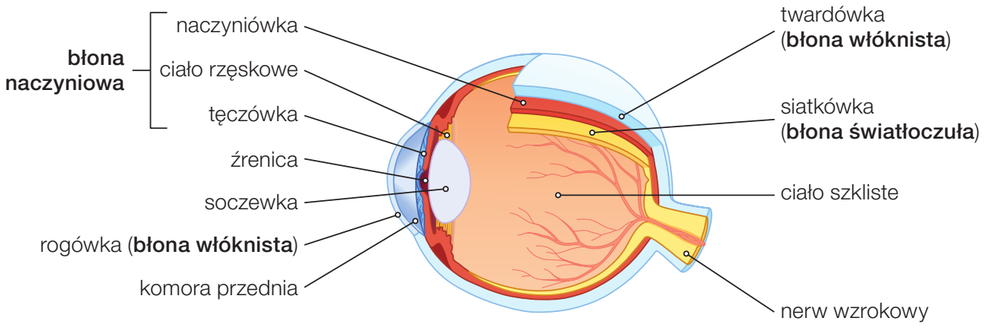
Błona włóknista w tylnej części gałki ocznej jest nieprzezroczysta i nosi nazwę **twardówki**. W przedniej części gałki ocznej błona włóknista jest cieńsza, przezroczysta i bardziej wypukła. Ten obszar nosi nazwę **rogówki**.

Błona naczyniowa

Błona naczyniowa składa się z trzech elementów: naczyniówki, ciała rzęskowego i tęczówki. **Naczyniówka** ma rozbudowaną sieć włosowatych naczyń krwionośnych. Zawiera ciemny barwnik pochłaniający światło, co zapobiega odbiciom światła wewnątrz gałki ocznej. Środkową częścią błony naczyniowej jest **ciało rzęskowe** mające kształt pierścienia. Jego najważniejszym elementem 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.

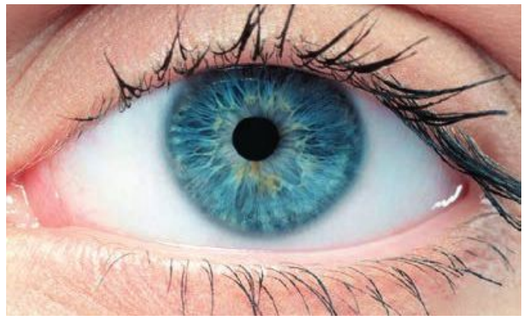
Tęczówka przyjmuje różne zabarwienie, które jest uzależnione od ilości barwnika – **melaniny** – w jej komórkach. W centralnej części tęczówki znajduje się otwór zwany **źrenicą**. Jego średnica może się zmieniać w zależności od natężenia światła, co umożliwia **adaptację oka** do widzenia przy różnym oświetleniu.

Budowa gałki ocznej



Siatkówka

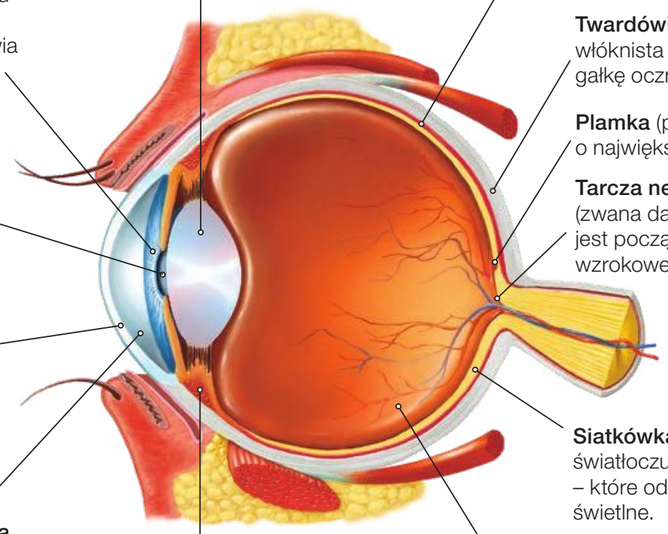
Siatkówka jest światłoczułą błoną, zbudowaną m.in. z dwóch rodzajów komórek receptorowych: pręcików i czopków. **Pręciki** są niewrażliwe na barwę, odpowiadają za postrzeganie kształtu i ruchu obiektów, dobrze funkcjonują w półmroku. Znacznie więcej pręcików znajduje się na obrzeżach siatkówki, dlatego w warunkach słabego oświetlenia lepiej widoczne są obiekty umieszczone z boku. W jednym oku znajduje się blisko 120 mln pręcików. **Czopki** są wrażliwe na barwę, umożliwiają dostrzeganie szczegółów obrazu, funkcjonują najlepiej przy intensywnym oświetleniu. Są mniej liczne niż pręciki (w jednym oku jest ich ok. 7 mln). 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.



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.

W siatkówce znajduje się także początek nerwu wzrokowego, zwany **tarczą nerwu wzrokowego**. Nie zawiera on komórek receptorowych, dlatego nie odbiera bodźców świetlnych. Funkcją nerwu wzrokowego jest przekazywanie informacji do mózgowia.

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.

Komora przednia oka to przestrzeń wypełniona 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 (plamka żółta) to miejsce o największej ostrości widzenia.

Tarcza nerwu wzrokowego (zwana dawniej plamką ślepą) jest początkiem nerwu wzrokowego.

Siatkówka zawiera komórki światłoczułe – pręciki i czopki – które odbierają bodźce świetlne.

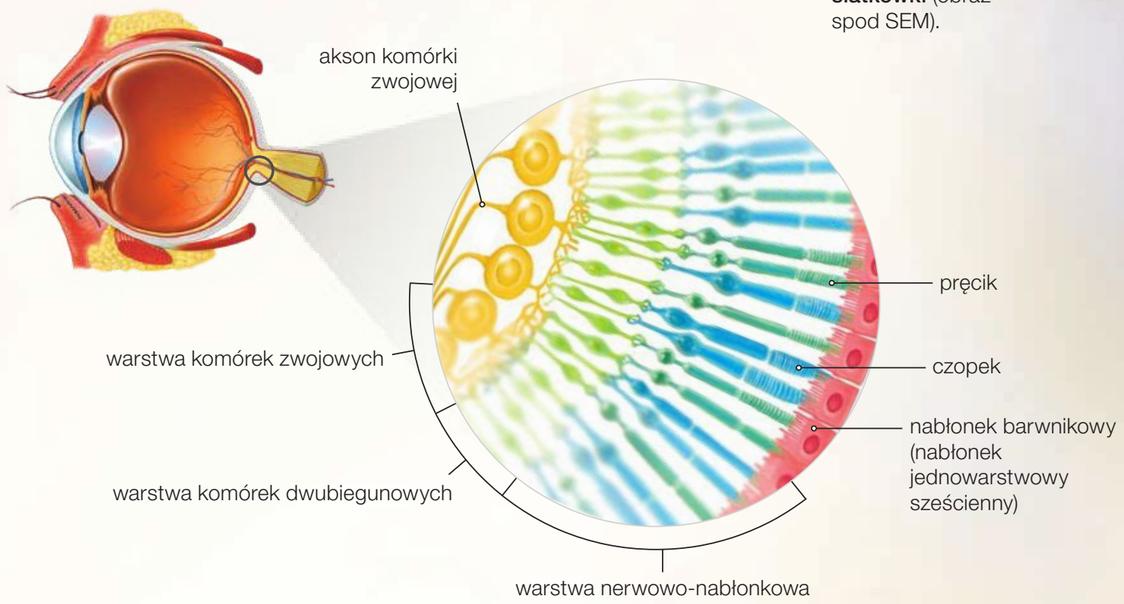
Ciało szkliste jest przezroczystą substancją wypełniającą wnętrze gałki ocznej. Nadaje gałce ocznej kształt, załamuje promienie świetlne oraz uczestniczy w regulacji ciśnienia wewnątrzgałkowego.

Budowa siatkówki

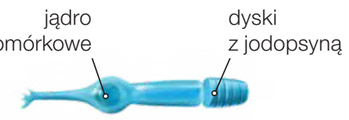
Siatkówka składa się z trzech warstw komórek:

- warstwy nerwowo-nabłonkowej, zbudowanej z fotoreceptorów (pręcików i czopków) oraz nabłonka barwnikowego,
- 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).



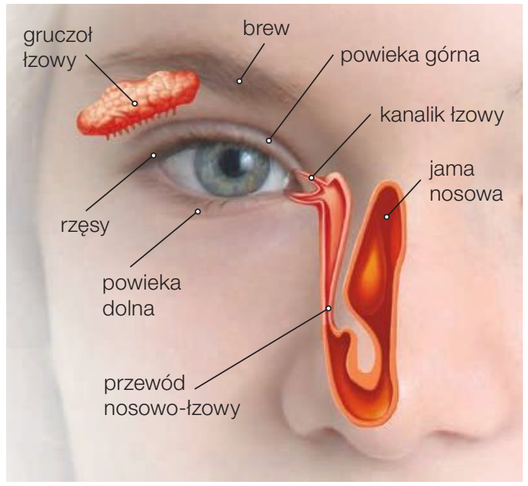
Porównanie komórek światłoczułych występujących w oku człowieka

Cecha	Pręciki	Czopki
Budowa komórki		
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, gruczoły łzowe oraz brwi.

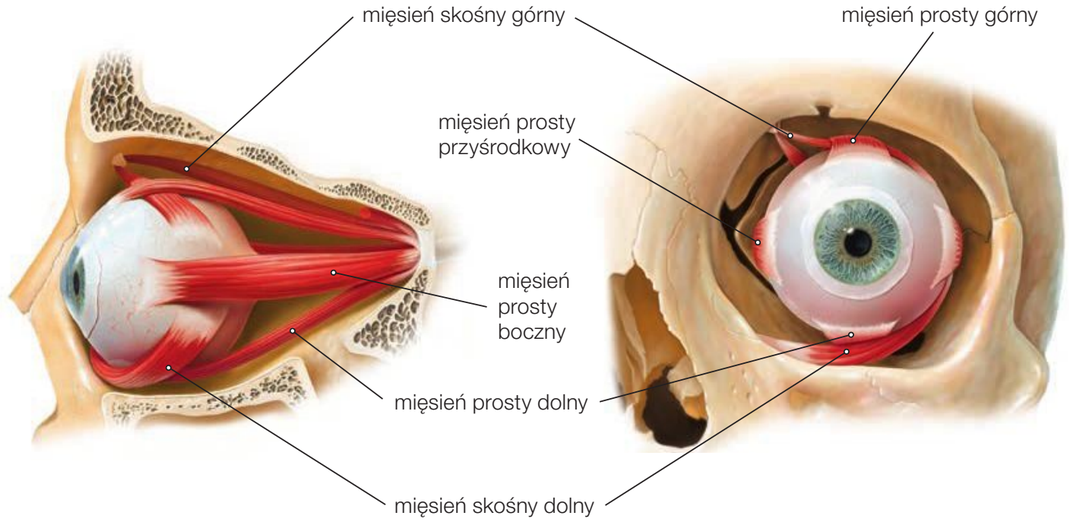
- **Powieki** – dolna i górna – to dwa zaopatrzone w mięśnie fałdy, które mogą się otwierać i zamykać. Chronią one gałkę oczną i rozprowadzają na jej powierzchni łzy. Na brzegach powiek znajdują się rzęsy zatrzymujące cząstki kurzu oraz pyłów. W sąsiedztwie rzęs występują gruczoły tarczkowe, których 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.
- **Gruczoły łzowe** wydzielają łzy. Łzy zawierają **lizozym** – enzym o właściwościach bakteriobójczych. Zadaniem łez 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 rzeczywisty[1], odwrócony i pomniejszony. Zdolność załamywania promieni świetlnych przez wszystkie elementy układu optycznego oka nazywa się **refrakcją oka**. Wyraża się ją w jednostkach zwanych dioptriami.

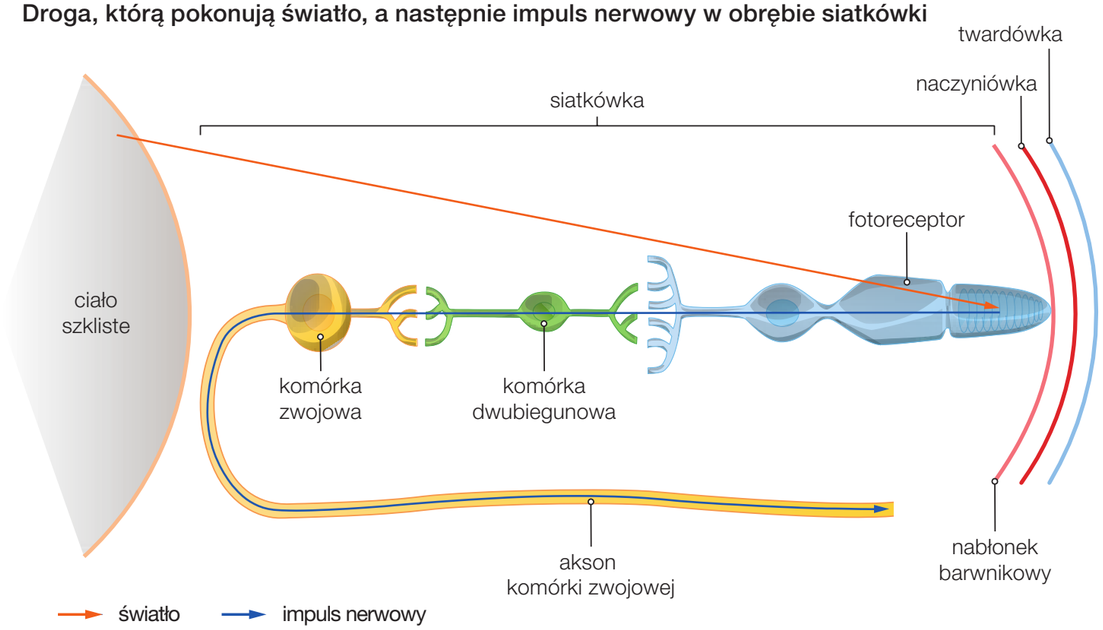
Po przejściu przez wszystkie elementy optyczne oka światło dociera do **siatkówki**. Tam zostaje pochłonięte przez fotoreceptory – pręciki i czopki. Fotoreceptory w szczytowych częściach zawierają dyski z barwnikami wzrokowymi. W pręcikach jest to **rodopsyna**, natomiast w czopkach – **jodopsyna**. Pod wpływem światła barwniki ulegają przemianom chemicznym, w wyniku których powstaje impuls nerwowy.

Rodopsyna składa się z białka błonowego – **opsyny** – oraz ze 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 na *trans*-retinal i opsynę 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

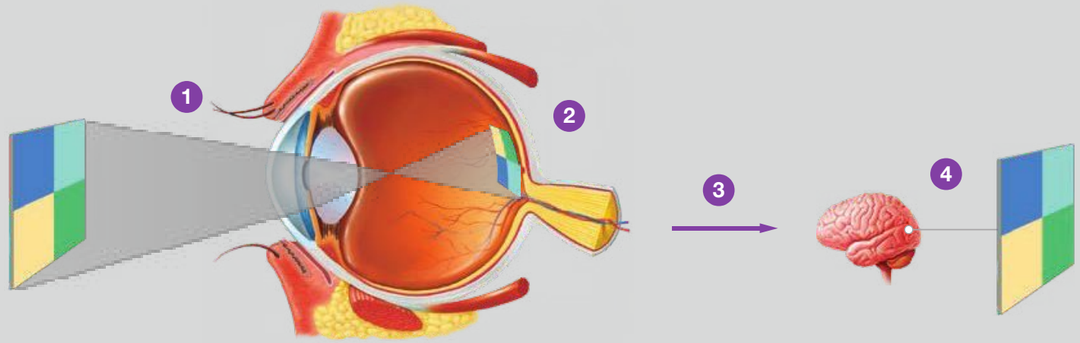
Droga, którą pokonują światło, a następnie impuls nerwowy w obrębie siatkówki



[1] Obraz rzeczywisty powstaje w miejscu przecięcia się promieni świetlnych, załamanych w układzie optycznym (np. oka).

W jaki sposób widzimy?

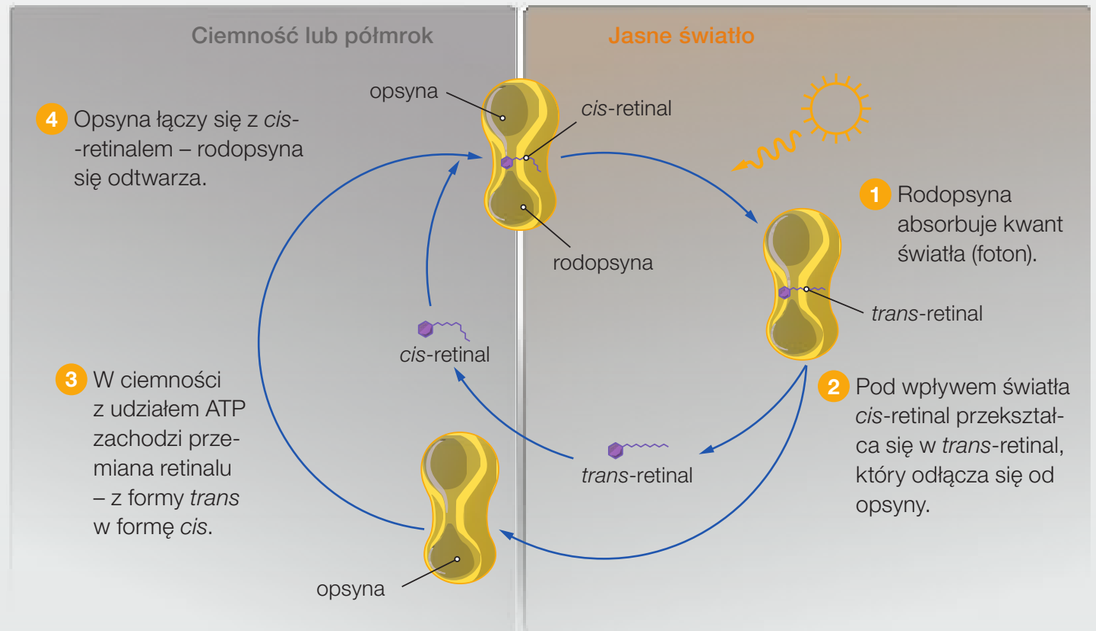
Mechanizm widzenia jest uwarunkowany zarówno procesami fizycznymi, m.in. załamywaniem się fal świetlnych na różnych strukturach gałki ocznej, jak i procesami chemicznymi, m.in. rozkładem barwników wzrokowych w obrębie siatkówki.



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 rzeczywisty, 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.

Dowiedz się więcej

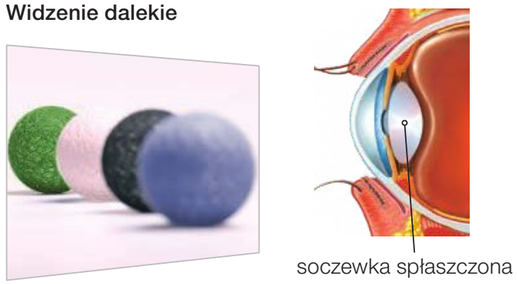
Procesy chemiczne zachodzące w pręcikach



Akomodacja oka

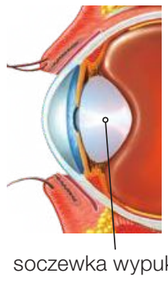
Akomodacja to zdolność dostosowania się oka do wyraźnego widzenia obiektów z różnych odległości. Jest ona możliwa m.in. dzięki zmianom kształtu soczewki, za które odpowiada mięsień rzęskowy.

Widzenie dalekie



Rozkurcz mięśnia rzęskowego powoduje spłaszczenie soczewki. Dzięki temu obiekty znajdujące się w oddali są wyraźnie widoczne.

Widzenie bliskie

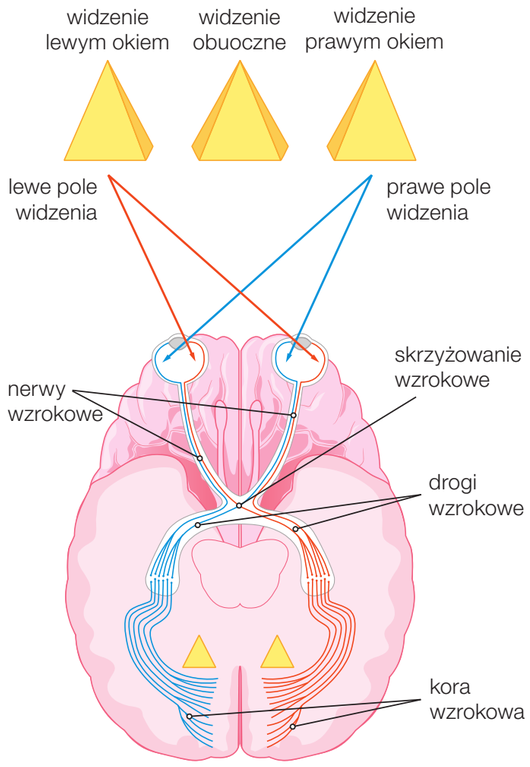


Skurcz mięśnia rzęskowego powoduje uwypuklenie soczewki. Umożliwia to wyraźne widzenie obiektów znajdujących się blisko.

Widzenie przestrzenne

Człowiek ma oczy umiejscowione z przodu głowy. Takie położenie oczu pozwala na widzenie przestrzenne (stereoskopowe), a zatem także na 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**[2] 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.

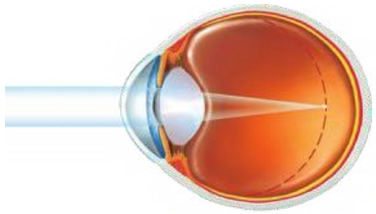
[2] **Pole widzenia** – zakres przestrzeni, której obraz pada na siatkówkę nieruchomego oka.

Wady wzroku i sposoby ich korekcji

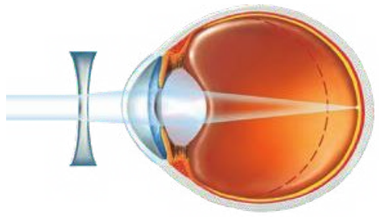
Wady wzroku, takie jak krótkowzroczność, dalekowzroczność i astygmatyzm, wynikają z zaburzenia refrakcji i akomodacji oka.

Krótkowzroczność

Wada występuje wtedy, gdy oko nieprawidłowo skupia promienie świetlne przed siatkówką. Dlatego obraz obiektów znajdujących się w oddali jest nieostry. W celu korekcji wady stosuje się dwuwklęsłe soczewki rozpraszające. Przy braku korekcji oraz na skutek nieprzestrzegania higieny pracy wzroku krótkowzroczność się nasila.



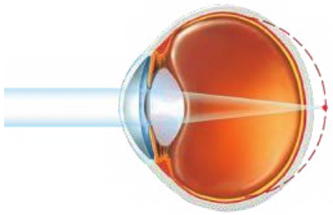
Oko krótkowzroczne.



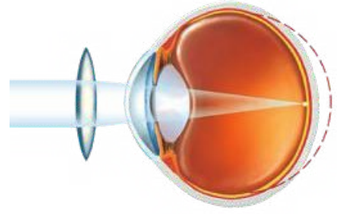
Korekcja wady.

Dalekowzroczność

Wada występuje wtedy, gdy oko nieprawidłowo załamuje promienie świetlne w taki sposób, że skupiałyby się one za siatkówką. Dlatego 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 i zdolność akomodacji.



Oko dalekowzroczne.

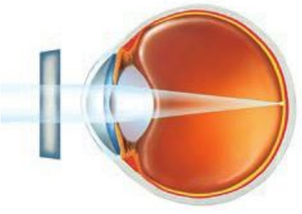


Korekcja wady.

Astygmatyzm

Wada występuje wtedy, gdy oko nieprawidłowo skupia promienie świetlne w kilku miejscach. 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 osoba z zaćmą 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 z zaćmą 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.

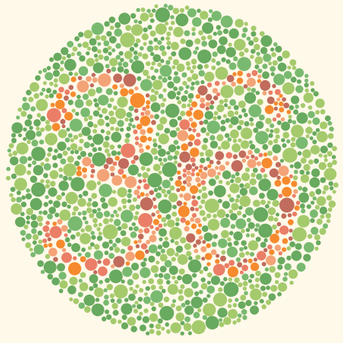
Jaskra

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 z zaawansowaną jaskrą 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 między 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

Prawidłowa higiena narządu wzroku pozwala uniknąć uszkodzenia oraz chorób oczu.

Zadbaj o właściwe oświetlenie

Przyczyną pogorszenia się widzenia może być za jasne lub za słabe oświetlenie. Dlatego:

- w słoneczne dni noś okulary przeciwsłoneczne,
- nie czytaj książek w półmroku,
- unikaj zbyt długiego wpatrywania się w ekran monitora lub telefonu.

Unikaj wpatrywania się w przedmioty leżące zbyt blisko

Długie wpatrywanie się w blisko położony przedmiot sprawia, że mięśnie regulujące kształt soczewki są stale skurczone, a oczy się męczą. Dlatego podczas czytania lub pracy na komputerze co jakiś czas przez chwilę popatrz w dal.

Unikaj zanieczyszczeń

Gdy zanieczyszczenia dostaną się do oczu, mogą spowodować ich podrażnienie lub uszkodzenie. Dlatego np. podczas pracy w zapylonym pomieszczeniu należy używać okularów ochronnych.

Zadbaj o właściwą dietę

Pokarmy bogate w kwasy omega-3, luteinę, zeaksantynę i witaminy B_2 oraz A pomagają zapobiegać wadom i chorobom oczu. Dieta przyjazna dla oczu powinna zatem obfitować w warzywa, ryby, jaja i produkty mleczne.

Regularnie badaj wzrok

Regularne badanie wzroku pozwala wykryć wcześnie wady i choroby oczu. Podstawowe badanie polega na odczytywaniu ze specjalnej tablicy liter lub innych znaków wskazywanych przez lekarza.

Polecenia kontrolne

1. Wymień elementy aparatu ochronnego oka, a następnie podaj ich funkcje.
2. Przedstaw mechanizm akomodacji oka.
3. Określ, dzięki czemu możliwe jest widzenie barw.

10.3. Ucho – narząd słuchu i równowagi

Ważne w tym temacie!

- budowa ucha oraz funkcje jego poszczególnych elementów
- mechanizm odbierania i rozpoznawania dźwięków
- funkcja 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 odpowiedzialne za słuch**, które odbierają bodźce mechaniczne w postaci drgań cząsteczek powietrza rozchodzących się jako fale dźwiękowe (fale akustyczne),
- **mechanoreceptory odpowiedzialne za równowagę**, które rejestrują bodźce mechaniczne powodowane ruchem otolitów (mineralnych kryształów).

Budowa ucha

Ucho składa się z trzech głównych części: ucha zewnętrznego, ucha środkowego i ucha wewnętrznego.

Ucho zewnętrzne

Ucho zewnętrzne służy do wychwytywania fal dźwiękowych. Składa się ono z:

- **małżowiny usznej** – fałdu skórnego, wewnątrz którego występuje tkanka chrzęstna (poza płatkiem, który nie zawiera chrząstki);
- **przewodu słuchowego** – kanału, który kieruje falę dźwiękową na błonę bębenkową.

Wnętrze ucha zewnętrznego wyścieła lipidowa substancja – woskowina. Woskowina oraz włosy, które znajdują się w początkowym odcinku przewodu, zapobiegają przedostawaniu się zanieczyszczeń do dalszych części ucha.

Ucho środkowe

Ucho środkowe przenosi i wzmacnia drgania fal dźwiękowych. Tworzą je:

- **błona bębenkowa** – zamyka ona przewód słuchowy i przekształca fale dźwiękowe w drgania mechaniczne;
- **jama bębenkowa** – wypełniona powietrzem przestrzeń, która zawiera kosteczki słuchowe;
- **kosteczki słuchowe: młoteczek, kowadełko i strzemiączko** – przenoszą drgania z błony bębenkowej na błonę okienka owalnego. Ponadto kosteczki słuchowe zwiększają siłę przenoszonych drgań, a także zabezpieczają właściwy narząd słuchu – narząd spiralny – przed zbyt głośnymi dźwiękami;
- **trąbka słuchowa** (trąbka Eustachiusza) – przewód prowadzący z jamy bębenkowej do nosowej części gardła. Zadaniem trąbki słuchowej jest utrzymanie jednakowego ciśnienia powietrza w przewodzie słuchowym i jamie bębenkowej.

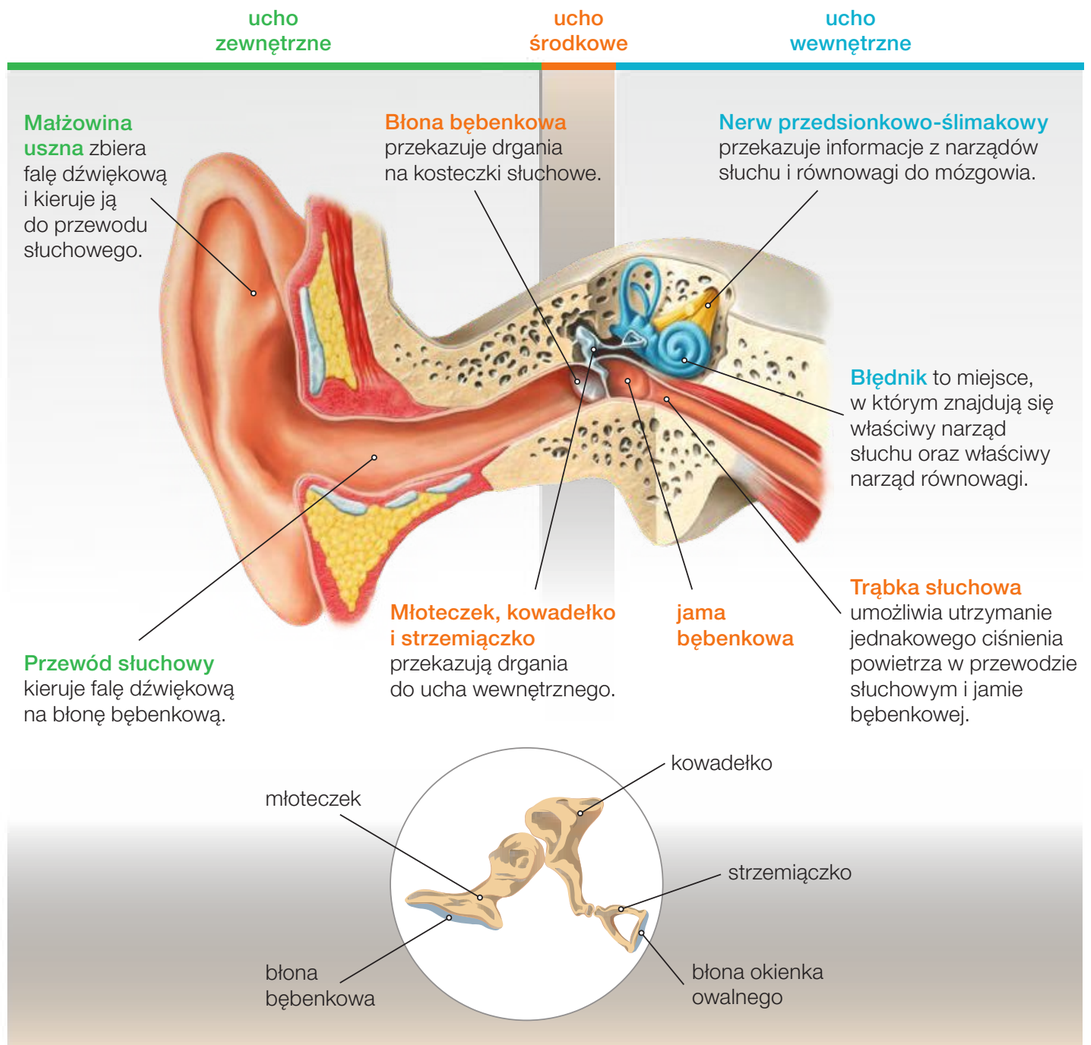
Podczas szybkiej zmiany wysokości, np. w trakcie startu samolotu, słuch może się przytępić. Jest to spowodowane różnicą ciśnienia między uchem zewnętrznym (gdzie powstaje wysokie ciśnienie) a uchem środkowym (gdzie utrzymuje się niskie ciśnienie). W efekcie trąbka słuchowa się zaciska, co utrudnia wyrównanie ciśnienia. Podobne objawy mogą wystąpić w czasie kataru i silnego wydmuchiwania nosa, gdy ciśnienie w uchu środkowym jest wyższe niż ciśnienie atmosferyczne. Aby otworzyć trąbkę słuchową i wyrównać ciśnienie, pomocne są przełykanie śliny i ziewanie.

Elementy budowy ucha

Ucho		
zewnętrzne	**środkowe**	**wewnętrzne**
• małżowina uszna • przewód słuchowy	• błona bębenkowa • jama bębenkowa • kosteczki słuchowe (młoteczek, kowadełko i strzemiączko) • trąbka słuchowa • błona okienka owalnego	• błędnik (kostny i błoniasty) • nerw przedsionkowo-ślimakowy

Budowa ucha

Ucho składa się z trzech głównych części: ucha zewnętrznego, ucha środkowego i ucha wewnętrznego.



Ucho wewnętrzne

Ucho wewnętrzne zawiera właściwe narządy słuchu i równowagi. Składa się z błędnika oraz z nerwu przedsionkowo-ślimakowego.

Błędnik jest zbudowany z części zewnętrznej (błędnik kostny) i części wewnętrznej (błędnik błoniasty). Błędnik kostny budują:

- **ślimak** – mieści się w nim przewód ślimakowy. W przewodzie ślimakowym znajduje się **narząd spiralny** (narząd Cortiego [wym. kortiego]), który stanowi właściwy narząd słuchu. Zawiera on m.in. komórki rzęsate, czyli receptorowe komórki słuchowe przetwarzające fale dźwiękowe na impulsy nerwowe;
- **przedsionek** – są w nim zlokalizowane woreczek i łagiewka;
- **trzy kanały półkoliste** – znajdują się w nich przewody półkoliste.

Woreczek, łagiewka i przewody półkoliste tworzą narząd równowagi.

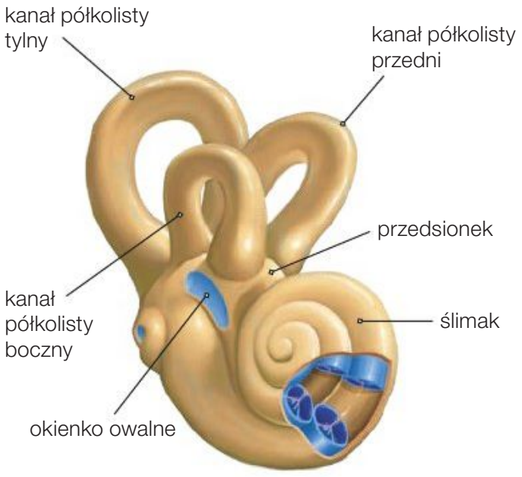
Nerw przedsionkowo-ślimakowy odpowiada za przekazywanie informacji z narządów słuchu i równowagi do mózgowia.

Budowa błędnika

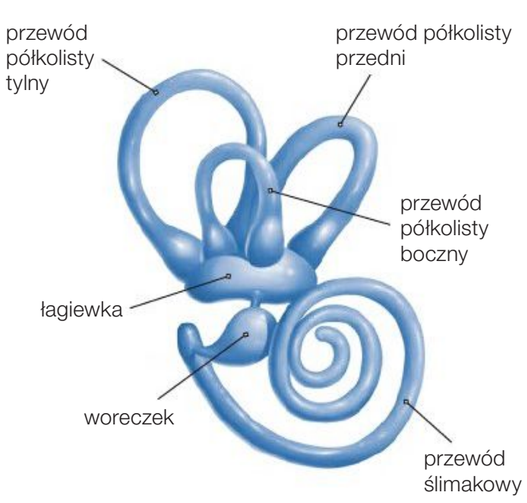
Błędnik jest elementem ucha wewnętrznego. Składa się on z błędnika kostnego i ze znajdującego się w nim błędnika błoniastego.

Elementy budowy błędnika

kostnego	błoniastego
• ślimak • przedsionek • kanały półkoliste	• przewód ślimakowy • woreczek i łagiewka • przewody półkoliste



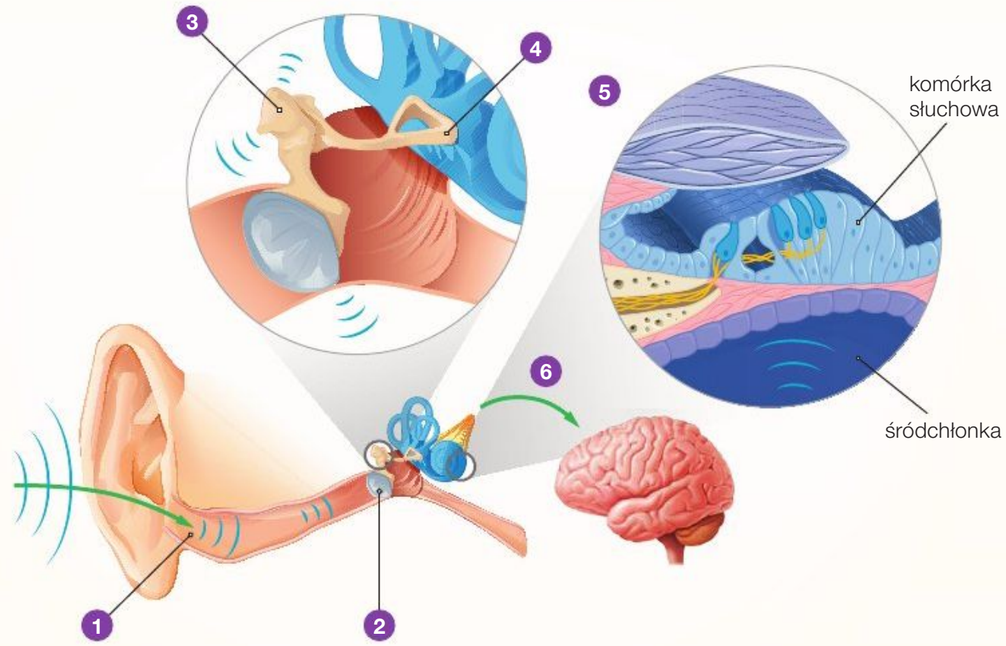
Błędnik kostny to system przestrzeni i kanałów znajdujących się w kości skroniowej. Jest on wypełniony płynem zwanym przychłonką. Wewnątrz błędnika kostnego znajduje się błędnik błoniasty.



Błędnik błoniasty to łącznotkankowy element o nieregularnym kształcie, który znajduje się wewnątrz błędnika kostnego. Błędnik błoniasty jest wypełniony płynem zwanym śródchłonką.

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 małżowiny usznej, która wychwytuje falę i kieruje ją do przewodu słuchowego.
2. Przewodem słuchowym fala dźwiękowa dociera do błony bębenkowej i wprawia ją w drgania.
3. Drgania z błony bębenkowej są przenoszone na kolejne kosteczki słuchowe: młoteczek, kowadełko i strzemiączko.
4. Drgania strzemiączka są odbierane przez błonę okienka owalnego, która wywołuje ruch śródchłonki wypełniającej wnętrze przedsionka oraz ślimaka.
5. 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.
6. 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

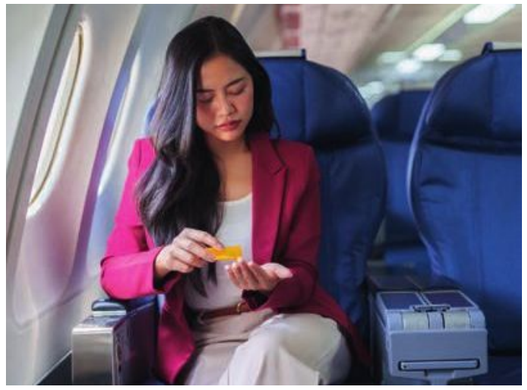
małżowina uszna → przewód słuchowy → błona bębenkowa → kosteczki słuchowe → okienko owalne → ślimak (narząd spiralny)

Budowa narządu równowagi

Narząd równowagi jest zbudowany z woreczka, łagiewki oraz połączonych z nią przewodów półkolistych, ułożonych w trzech różnych płaszczyznach.

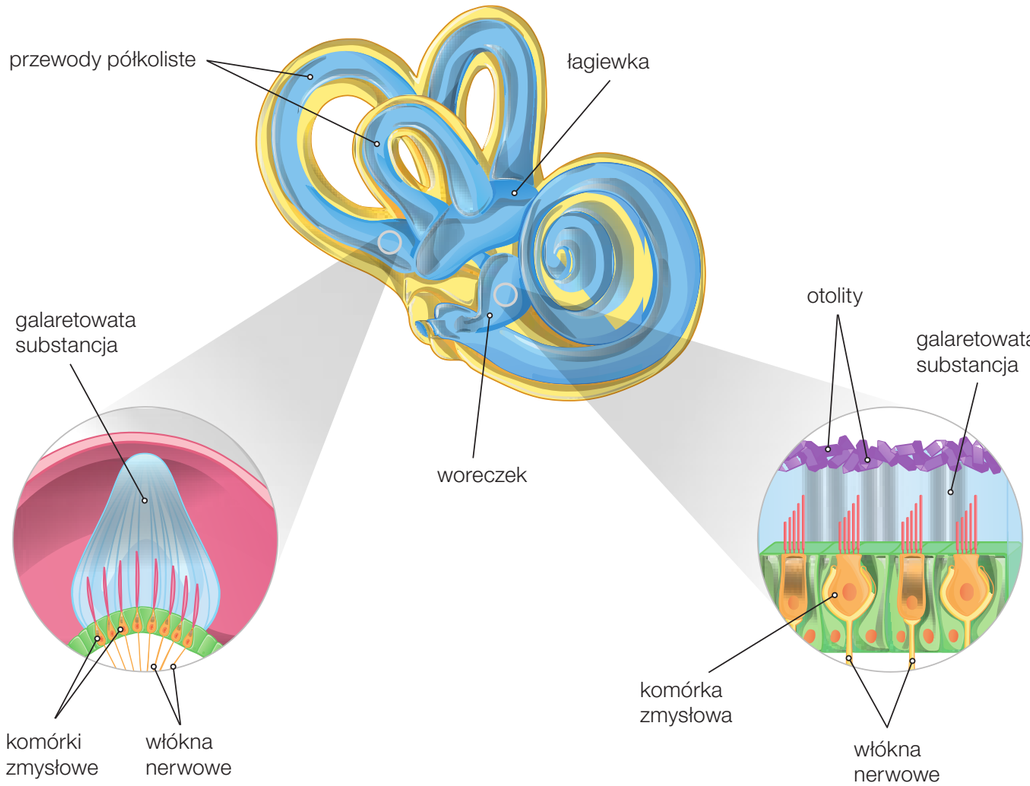
W **woreczku i łagiewce** są zlokalizowane komórki zmysłowe zaopatrzone w rzęski (komórki rzęsate) oraz w kamyczki błędnikowe (otolity) zbudowane z kryształów węglanu wapnia i fosforanu wapnia. Rzęski wraz z kamyczkami błędnikowymi są zanurzone w galaretowatej substancji. Ruch głowy na boki, do przodu 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.

Przewody półkoliste w swoich końcowych, rozszerzonych odcinkach mają skupienia komórek zmysłowych zaopatrzonych w rzęski (komórek rzęsatych). Rzęski są zanurzone w galaretowatej substancji. Obrót głowy powoduje ruch płynu wypełniającego przewody. Skutkiem tego jest zmiana położenia osklepka oraz ugięcie rzęsek, co prowadzi do powstania impulsu nerwowego.



Choroba lokomocyjna to zespół objawów, takich jak zawroty głowy i nudności, spowodowanych nadmiernym pobudzeniem narządu równowagi. U osób wrażliwych przed podróżą stosuje się środki łagodzące te dolegliwości.

Budowa narządu równowagi

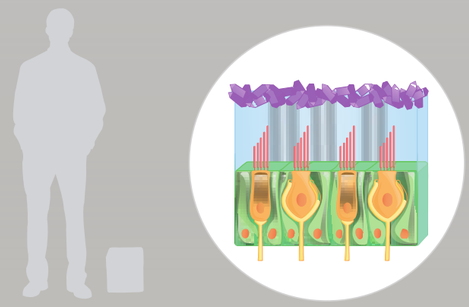


Działanie narządu równowagi

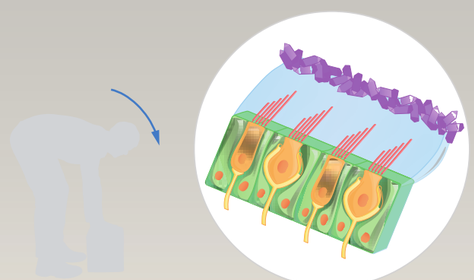
Narząd równowagi dostarcza głównie informacji o kierunku oddziaływania siły ciężkości oraz o ruchach głowy w przestrzeni. Receptory zlokalizowane w woreczku i łagiewce reagują przede wszystkim na potakujące ruchy głowy, czyli w płaszczyźnie góra–dół, natomiast receptory przewodów półkolistych – na ruchy obrotowe.

Utrzymanie równowagi jest procesem bardzo złożonym. Poza narządem równowagi biorą w nim udział m.in. wzrok oraz receptory czucia głębokiego w obrębie mięśni, ścięgien i stawów, a także receptory skóry, zwłaszcza dotyku i ucisku.

Ruch w płaszczyźnie pionowej

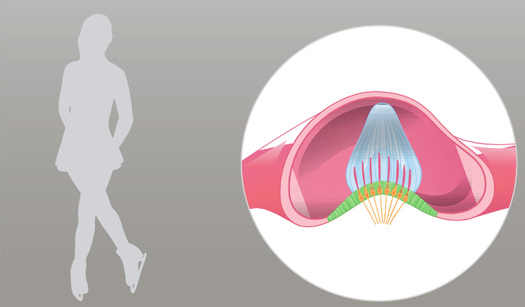


Gdy ciało jest w pozycji wyprostowanej, otolity nie poruszają się i nie powodują ugięcia się rzęsek komórek zmysłowych. Nie powstaje więc impuls nerwowy.

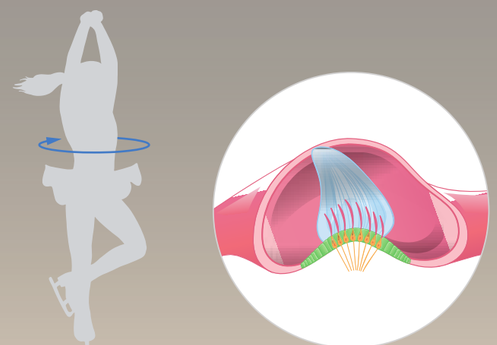


Gdy ciało jest pochylone, otolity pod wpływem siły ciężkości przemieszczają się i uciskają rzęski komórek zmysłowych. Powoduje to wytworzenie impulsu nerwowego i przekazanie do mózgowia informacji o zmianie położenia głowy w przestrzeni.

Ruch w płaszczyźnie poziomej



Gdy ciało jest w bezruchu, płyn wypełniający przewody półkoliste się nie porusza. Rzęski komórek zmysłowych nie uginają się i nie powstaje impuls nerwowy.



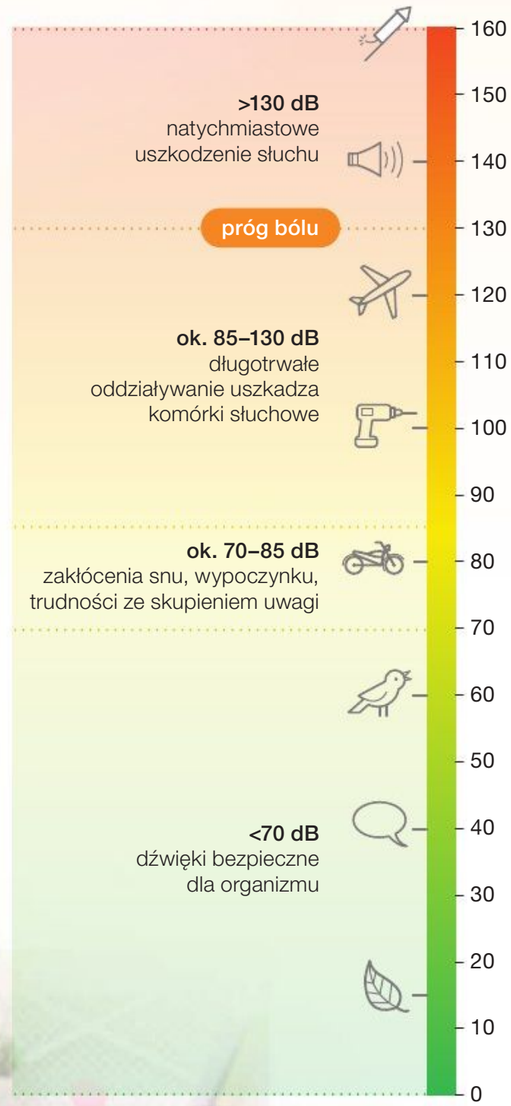
Gdy ciało wykonuje ruch obrotowy, płyn w przewodach półkolistych się przemieszcza, co powoduje ugięcie się rzęsek komórek zmysłowych. W efekcie powstaje impuls nerwowy i informacja o ruchu ciała jest przekazywana do mózgowia.

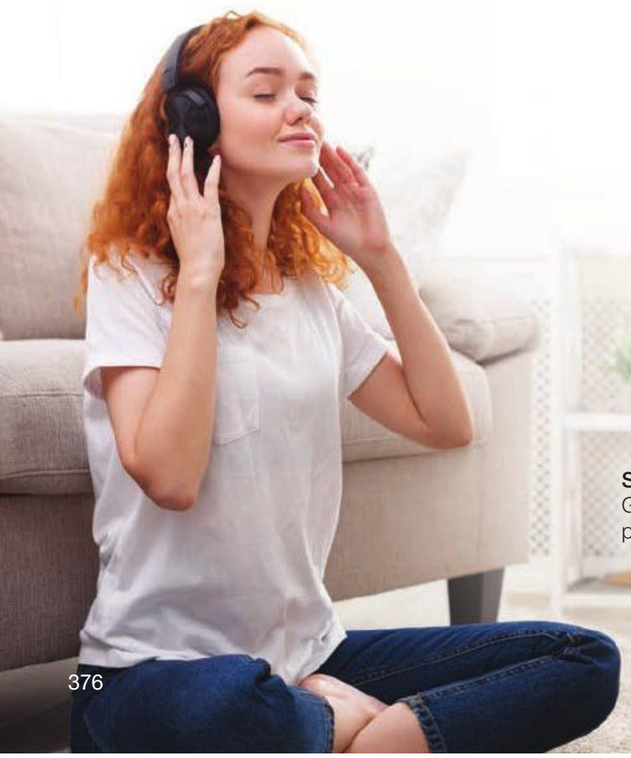
Dlaczego hałas jest szkodliwy?

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** – hałas wywołuje gwałtowny ruch płynu wypełniającego błędnik błoniasty, przez co zmysł równowagi przesyła błędne informacje dotyczące położenia ciała,
- **zaburzenia pracy układu krążenia** – hałas zwiększa częstość skurczów serca, podwyższa ciśnienie krwi oraz wywołuje zmiany przepływu krwi w obrębie narządów wewnętrznych,
- **zaburzenia czynności gruczołów dokrewnych**, głównie tarczycy (nadczynność tarczycy), nadnerczy oraz gruczołów płciowych,
- **pogorszenie widzenia** – hałas ogranicza pole widzenia, a także zmniejsza zdolność rozróżniania barw,
- **zaburzenia funkcjonowania przewodu pokarmowego**, w tym osłabienie jego perystaltyki,
- **zmniejszenie masy ciała potomstwa**, jeżeli kobiety w 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 dojść 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 umiejętności mowy artykułowanej. To 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. Podaj nazwy trzech podstawowych części ucha. Określ funkcje każdej z nich.
2. Wyjaśnij, w jaki sposób trąbka słuchowa wyrównuje ciśnienie powietrza po obu stronach błony bębenkowej.
3. Wymień elementy budowy 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 wiarygodnych 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.

10.4. Narządy smaku oraz węchu

Ważne w tym temacie!
- budowa i funkcje narządów smaku i węchu
- mechanizmy powstawania wrażeń węchowych i smakowych

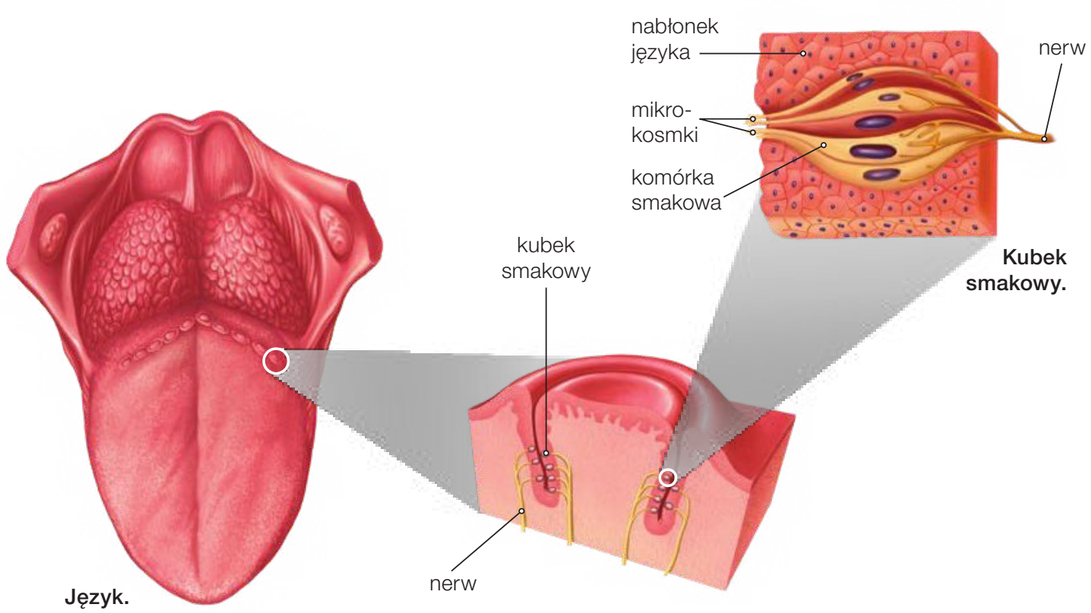
Zmysły smaku i węchu informują o potencjalnym zagrożeniu (np. zapach dymu) oraz odgrywają istotną rolę w procesie pobierania i trawienia pokarmu. Oba zmysły odbierają bodźce chemiczne dzięki obecnym w nich **chemoreceptorom**.

Budowa i funkcje narządu smaku

Narządem smaku są **kubki smakowe** rozmieszczone przede wszystkim w **brodawkach języka**, a także w obrębie innych części jamy ustnej. Kubki smakowe zawierają receptory smaku (chemoreceptory) – **komórki smakowe**. Funkcją kubków smakowych jest rozróżnianie smaków pokarmu, co jest ważne podczas oceny jego przydatności do spożycia (pokarm o nieprzyjemnym smaku może np. być zepsuty lub zawierać toksyczne substancje – wiele trucizn ma gorzki smak). Ponadto odbiór bodźców smakowych pobudza odruchy żucia i połykania, a także wydzielanie śliny, soku żołądkowego i soku trzustkowego.

Człowiek rozróżnia pięć podstawowych smaków: słony, kwaśny, słodki, gorzki i umami (glutaminianu). Kubki smakowe zawierają receptory smaku – komórki smakowe – wrażliwe na wszystkie smaki, dzięki czemu odbiera się je całą powierzchnią języka. Komórki smakowe wykazują wrażliwość tylko na substancje rozpuszczone w wodzie. To dlatego aby poczuć smak suchego pokarmu, musi on być odpowiednio nawilżony śliną.

Budowa narządu smaku



Brodawka języka.

Przykłady substancji aktywujących receptory poszczególnych smaków

Smak	Związki aktywujące receptory
słony	• chlorek sodu (NaCl) • inne sole sodu
słodki	• naturalne węglowodany (cukry proste i dwucukry) • słodziki, np. aspartam
kwaśny	• jony H^+
gorzki	• alkaloidy, np. kofeina, chinina, strychnina • taniny, np. występujące w herbacie • salicylany • wiele trucizn i niektóre leki
umami	• glutaminian (jeden z aminokwasów)

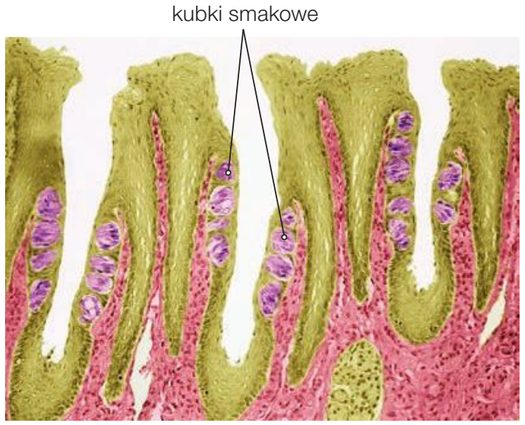
Jak powstają wrażenia smakowe?

Pokarm, który trafia do jamy ustnej, częściowo rozpuszcza się w ślinie. Rozpuszczone substancje dostają się do kubków smakowych i pobudzają komórki smakowe, co wywołuje w nich impulsy nerwowe. Impulsy te są następnie przekazywane do ośrodka smaku w mózgowiu, gdzie zachodzą 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 receptory węchu (chemoreceptory) – **komórki węchowe**. 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**



Kubki smakowe na powierzchni języka (obraz spod mikroskopu optycznego).

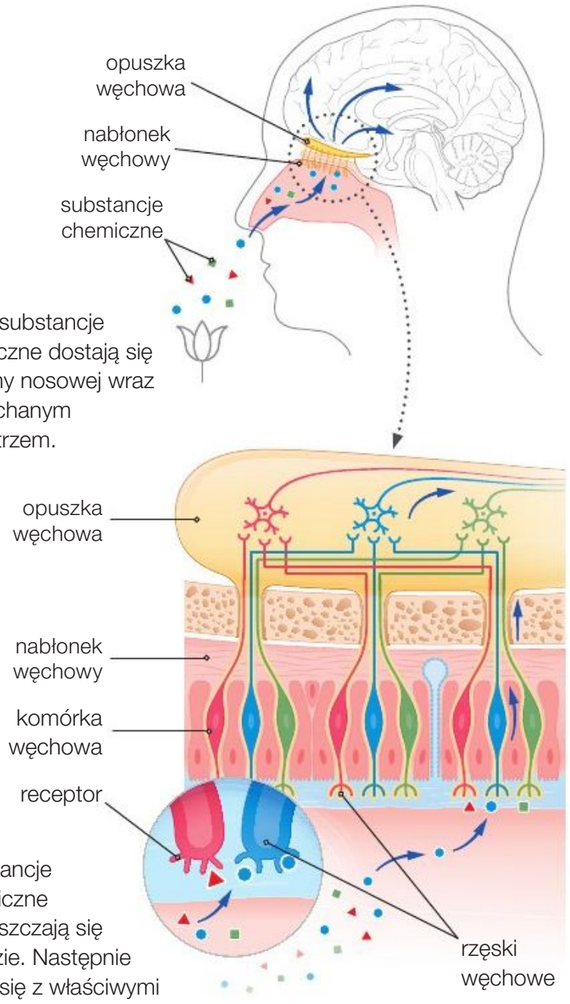
węchowe. Komórki węchowe wykazują większą wrażliwość w porównaniu z receptorami smaku, jednak olbrzymia różnorodność zapachów uniemożliwia tak wyraźne ich rozróżnienie, na jakie pozwala narząd smaku. Przypuszcza się, że człowiek jest w stanie rozróżnić ok. 10 tys. zapachów.

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). Z tego powodu można nie zauważyć ulatniania się trującej lub niebezpiecznej substancji, jeśli uwalnia się ona stale i w niewielkiej ilości.

Nabłonek węchowy (obraz spod SEM) zawiera komórki węchowe zaopatrzone w rzęski węchowe, a także gruczoły węchowe, których wydzielina jest rozpuszczalnikiem substancji zawartych w powietrzu.

Jak powstają wrażenia zapachowe?

Z każdym wdechem do nosa dostają się lotne substancje chemiczne. Aby poczuć ich zapach, substancje te muszą najpierw rozpuścić się w śluzie pokrywającym nabłonek węchowy, a następnie pobudzić właściwe receptory.



1 Lotne substancje chemiczne dostają się do jamy nosowej wraz z wdychanym powietrzem.

2 Substancje chemiczne rozpuszczają się w śluzie. Następnie łączą się z właściwymi receptorami.

3 Komórki węchowe zostają pobudzone. W ten sposób powstają w nich impulsy nerwowe.

4 Impuls nerwowy trafia do opuszek węchowych – struktur położonych poniżej płatów czołowych kory mózgu. W opuszkach zachodzą wstępna analiza zapachu i przekazanie informacji do ośrodka węchu w korze mózgu.

5 W kresomózgowiu następuje ostateczna identyfikacja zapachu. Informacja o pobudzeniu trafia również do struktur mózgowia odpowiedzialnych za emocje i pamięć.

Polecenia kontrolne

1. Przedstaw mechanizmy powstawania wrażeń węchowych i smakowych w ciele człowieka.
2. Na podstawie wiarygodnych źródeł wyjaśnij, jaką rolę odgrywają receptory węchowe w odbiorze wrażeń smakowych.
3. Wykaż za pomocą dwóch przykładów znaczenie zmysłów węchu i smaku w ochronie organizmu przed zagrożeniami.
4. Wyjaśnij, dlaczego niektóre zapachy mogą przywoływać wspomnienia lub budzić emocje.

Podsumowanie

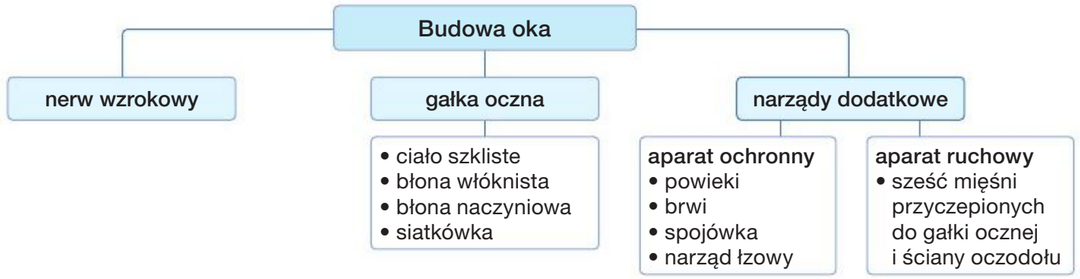
1 Receptory – wyspecjalizowane komórki lub wolne zakończenia nerwowe (dendryty), które ulegają pobudzeniu wskutek działania konkretnego rodzaju bodźca.

Podział receptorów ze względu na rodzaj odbieranego bodźca				
fotoreceptory	**mechano-receptory**	**termoreceptory**	**chemoreceptory**	**nocyceptory**
bodźce świetlne	bodźce mechaniczne	bodźce termiczne	bodźce chemiczne	bodźce bólowe

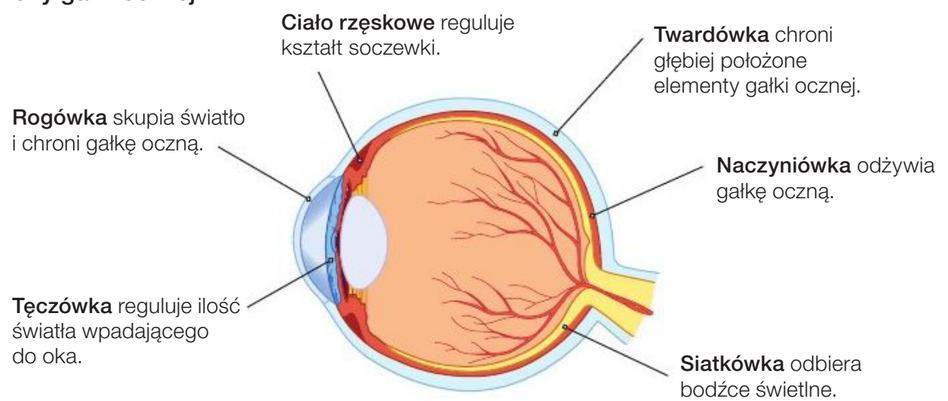
2 Zmysły i tworzące je narządy

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, znajduje się 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, znajduje się w górnej części jamy nosowej

3 Elementy oka



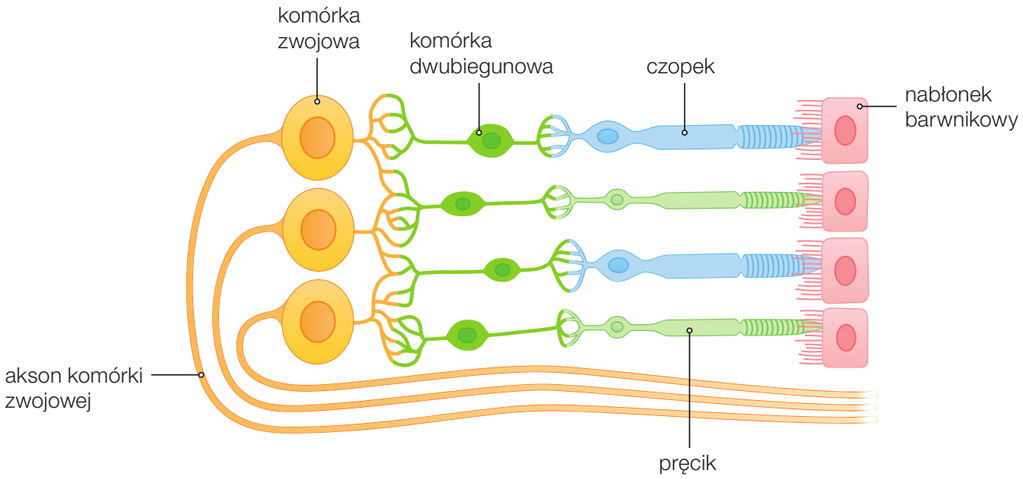
4 Błony gałki ocznej



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.



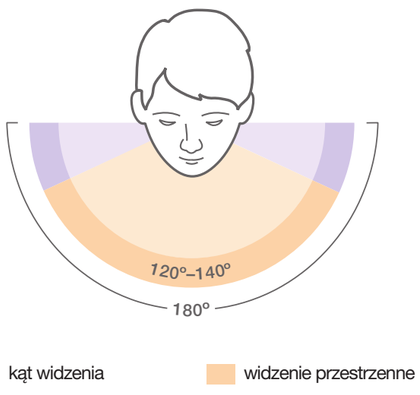
6 Droga promieni świetlnych w oku

rogówka → komora przednia oka → źrenica → soczewka → ciało szkliste oka → siatkówka

7 Akomodacja oka – nastawianie układu optycznego oka na odpowiednią odległość od oglądanego obiektu. U ludzi mechanizm akomodacji oka polega na zmianie kształtu soczewki.

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

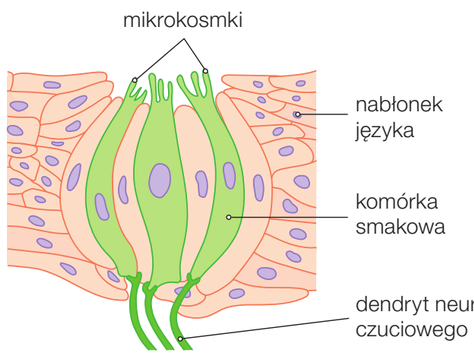
Budowa ucha

ucho zewnętrzne	ucho środkowe	ucho wewnętrzne
• małżowina uszna – kieruje dźwięki do przewodu słuchowego • przewód słuchowy – kanał wyścielany woskowiną, która zapobiega przedostawaniu się zanieczyszczeń	• błona bębenkowa – przenosi fale dźwiękowe do ucha środkowego • jama bębenkowa z kosteczkami słuchowymi (młoteczkiem, kowadełkiem, strzemiączkiem) – zwiększają siłę przenoszonych drgań i przekazują je do ucha wewnętrznego • trąbka słuchowa – przewód łączący jamę bębenkową z gardłem, który utrzymuje jednakowe ciśnienie powietrza w jamie bębenkowej i w przewodzie słuchowym	• ślimak (właściwy narząd słuchu) – znajduje się w nim narząd spiralny, przetwarzający drgania na impulsy nerwowe • przedsionek – znajdują się w nim woreczek i łagiewka rejestrujące ruchy głowy (elementy narządu równowagi) • trzy kanały półkoliste – znajdują się w nich przewody półkoliste rejestrujące położenie głowy (elementy narządu równowagi)

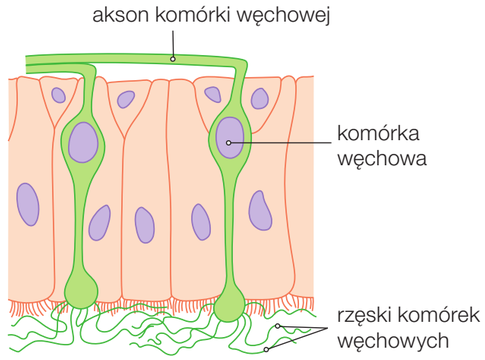
10 Droga, którą pokonuje dźwięk w uchu

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.

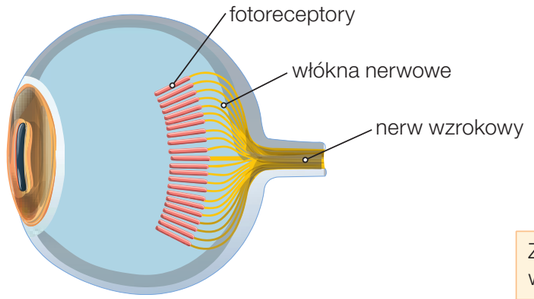
12 Chemoreceptory zmysłu węchu, czyli komórki węchowe, i chemoreceptory zmysłu smaku, czyli komórki smakowe, są pobudzane przez **substancje chemiczne**, co wywołuje w nich impuls nerwowy przekazywany do mózgu. Tam impuls jest przetwarzany i analizowany.

13 Współdziałanie zmysłów smaku i węchu odgrywa ważną rolę w **ocenie jakości pokarmu**.

Sposób na zadania

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Rysunek przedstawia oko pęcherzykowe występujące u pewnej grupy zwierząt.



Zwróć uwagę na układ włókien nerwowych oraz na to, w jaki sposób włókna zbiegają się w nerw wzrokowy.

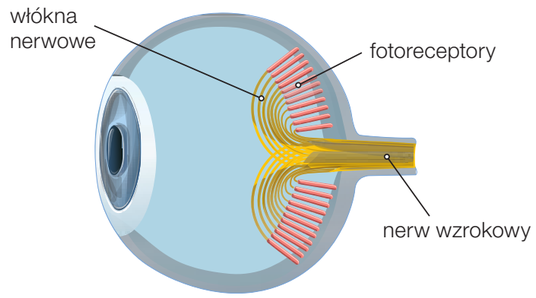
Określ, czy przedstawione na rysunku oko należy do głowonoga, czy do kręgowca. W odpowiedzi uwzględnij informacje zawarte na rysunku.

Rozwiązanie:
Rysunek przedstawia oko głowonoga, ponieważ włókna nerwowe znajdują się pod warstwą fotoreceptorów i zbiegają się wprost w nerw wzrokowy.

Zadanie analogiczne

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Rysunek przedstawia oko pęcherzykowe występujące u pewnej grupy zwierząt.

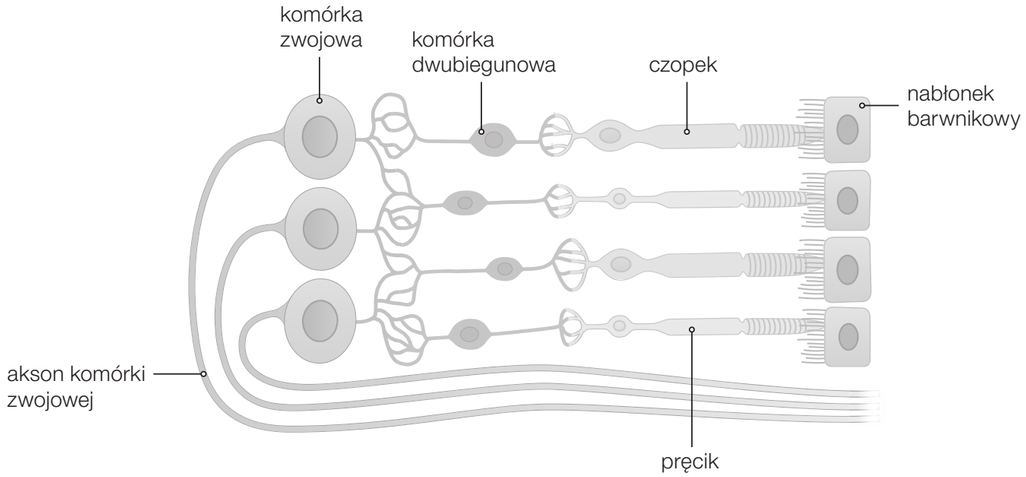


Określ, czy oko przedstawione na rysunku należy do kręgowca, czy do głowonoga. W odpowiedzi uwzględnij informacje zawarte na rysunku.

Zadania powtórzeniowe

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Na schemacie przedstawiono budowę siatkówki oka człowieka.



a) Uporządkuj elementy oka w kolejności zgodnej z kierunkiem przepływu impulsu nerwowego. Przerysuj tabelę do zeszytu, a następnie wpisz w odpowiednich miejscach cyfry 1–5.

Nazwa elementu budowy oka	Numer
Nerw wzrokowy	?
Komórka dwubiegunowa	?
Płat potyliczny w korze mózgu	?
Pręcik	?
Komórka zwojowa	?

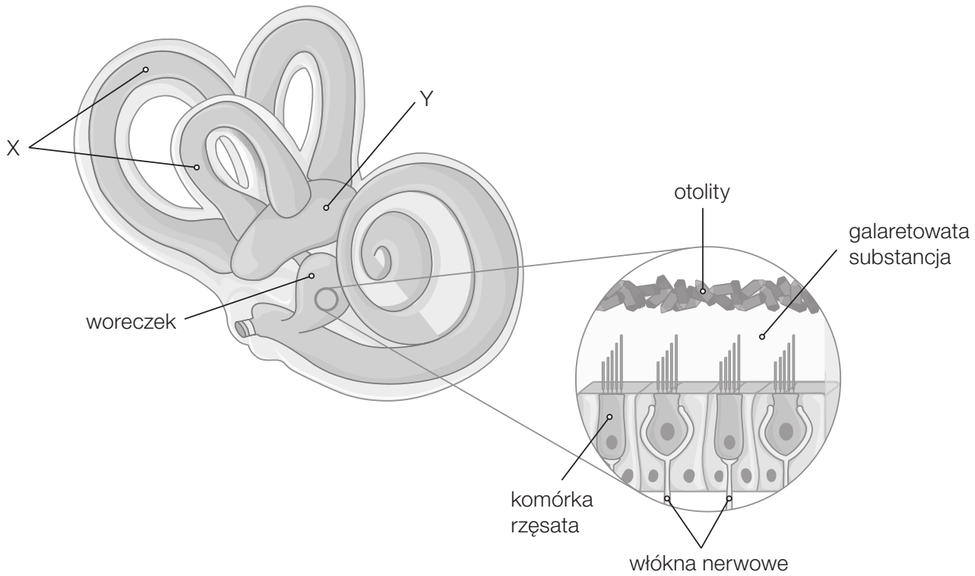
b) Uzupełnij poniższe zdania tak, aby zawierały prawdziwe informacje dotyczące pręcików. Wybierz właściwe określenia spośród podanych.

Pręciki to komórki światłoczułe (*wrażliwe* / *niewrażliwe*) na barwy, które najlepiej funkcjonują w (*intensywnym oświetleniu* / *półmroku*). Zapewniają (*rozróżnianie kształtów* / *precyzyjne widzenie obiektów*).

c) Określ, jaki charakter – charakter hydrofilowy czy hydrofobowy – ma część rodopsyny, która wnika do wnętrza błony biologicznej budującej dyski w pręcikach. Odpowiedź uzasadnij.

d) 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) Opisz, 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*

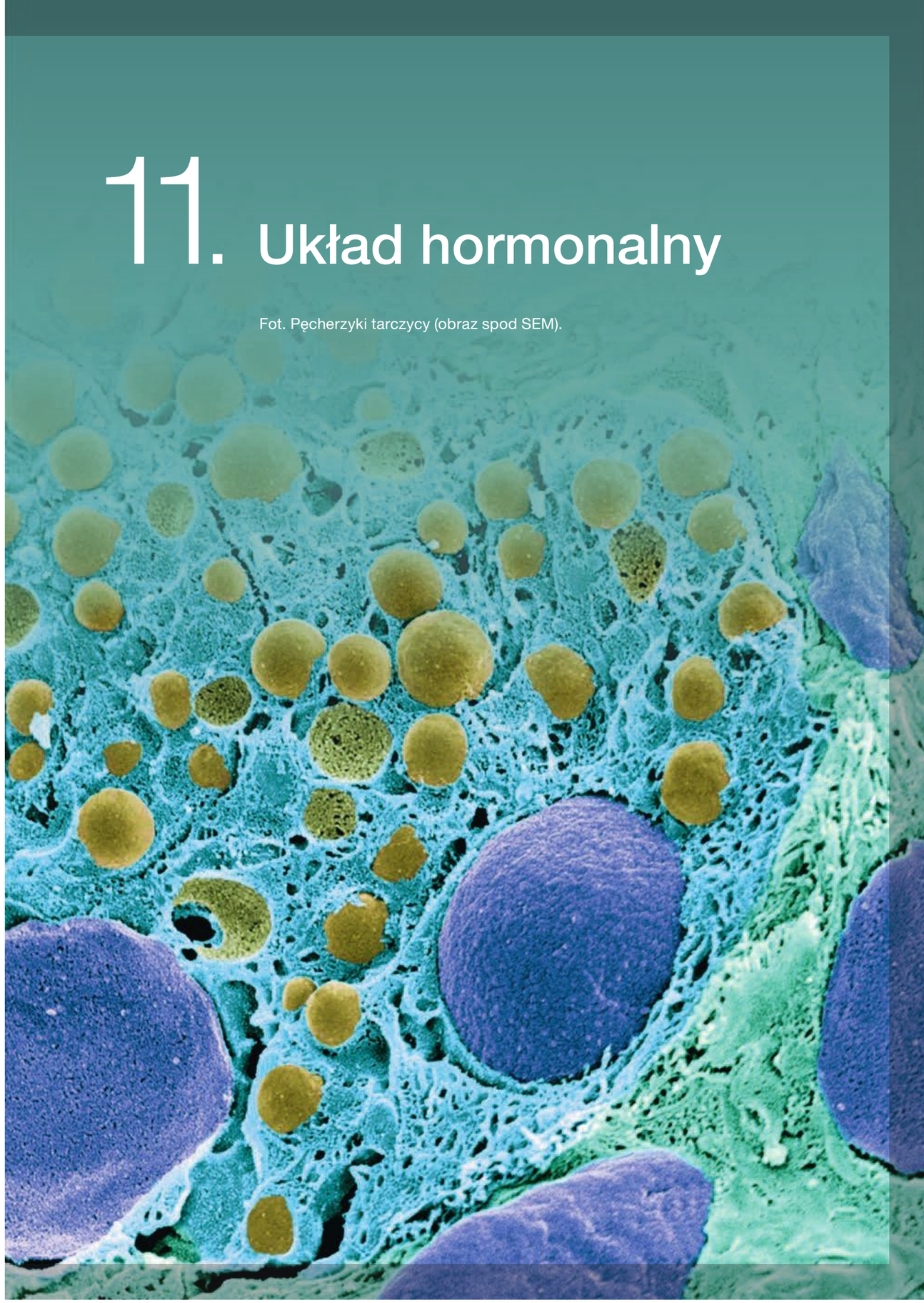
3 Nabłonek węchowy jest zlokalizowany w górnej części jamy nosowej. Zawiera on komórki węchowe zaopatrzone w rzęski węchowe, a także gruczoły węchowe wydzielające śluz.

a) Podaj znaczenie śluzu wydzielanego przez gruczoły węchowe w odbieraniu wrażeń zapachowych.

b) Wyjaśnij, dlaczego po jakimś czasie od użycia perfum przestajemy czuć ich zapach, choć jest on wyczuwalny dla napotykanych osób.

11. Układ hormonalny

Fot. Pęcherzyki tarczycy (obraz spod SEM).



11.1. Budowa i rola układu hormonalnego

Ważne w tym temacie!

- lokalizacja gruczołów dokrewnych i wydzielane przez nie hormony
- sposoby regulacji czynności komórek przez hormony steroidowe i niesteroidowe
- przykłady hormonów tkankowych oraz ich funkcji
- rola hormonów w regulacji wzrostu i tempa metabolizmu

Funkcjonowanie organizmu jest regulowane głównie przez układ hormonalny (układ dokrewny) oraz układ nerwowy. Układ hormonalny działa za pośrednictwem **hormonów** – substancji organicznych, które stymulują lub hamują czynności komórek docelowych. Do głównych funkcji układu hormonalnego należą:

- regulowanie i koordynowanie pracy narządów – umożliwia to adaptację organizmu do zmian zachodzących w środowisku oraz utrzymanie homeostazy,
- regulowanie procesów związanych z rozmnażaniem,
- regulowanie procesów wzrostu i rozwoju,
- regulowanie procesów metabolicznych (np. syntezy i rozkładu glikogenu).

Układ hormonalny tworzą **gruczoły dokrewne** (endokrynne, wewnątrzwydzielnicze) oraz wyspecjalizowane **komórki wydzielnicze** rozsiane w obrębie innych narządów i tkanek.

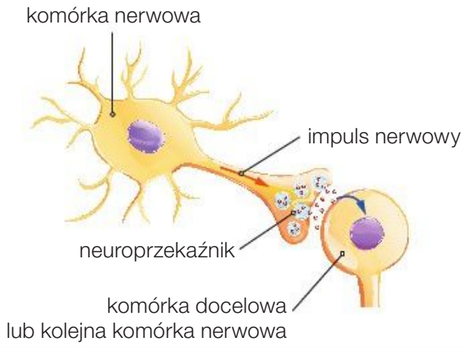
W organizmie znajdują się także gruczoły zewnątrzwydzielnicze (egzokrynne). Należą do nich m.in. gruczoły potowe i ślinianki – nie są one jednak częścią układu hormonalnego.

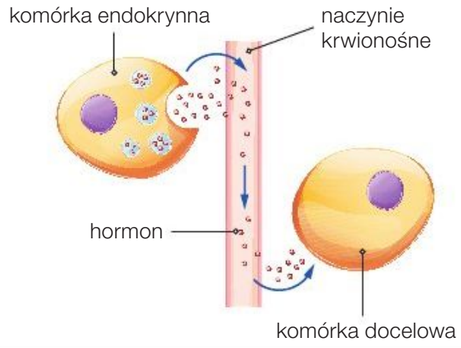
Nauka, która zajmuje się wydzielaniem wewnętrznym organizmu, to **endokrynologia**.

Działanie układu nerwowego i układu hormonalnego

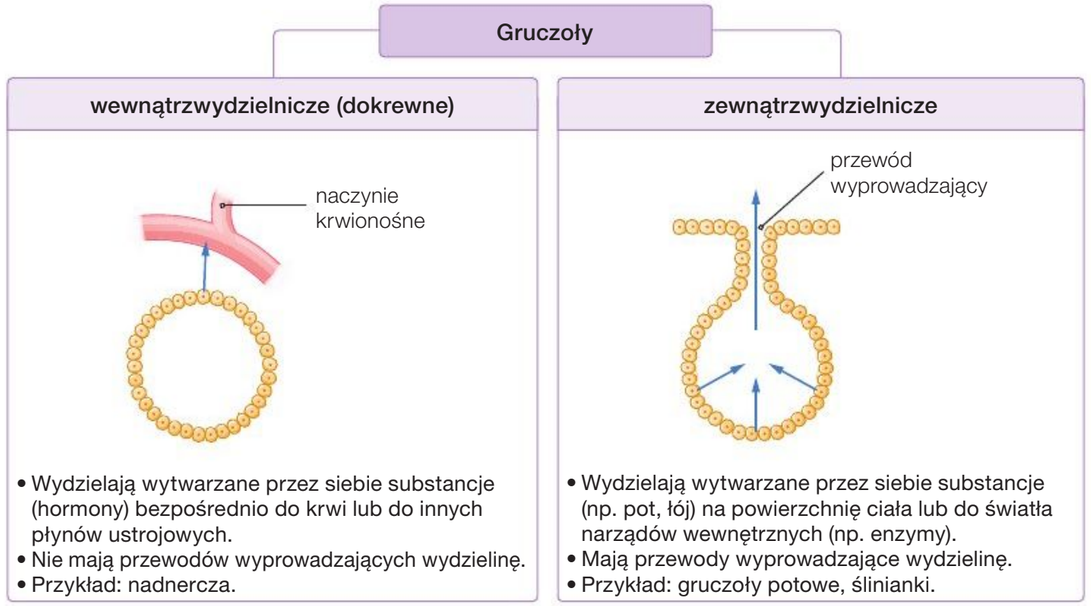
Układ hormonalny współpracuje z układem nerwowym w koordynowaniu i regulowaniu pracy narządów. Działanie obu układów jest jednak różne.

Układ	
nerwowy	**hormonalny**
• Reguluje pracę narządów za pomocą impulsów nerwowych. • Impulsy nerwowe docierają tylko do określonego narządu. • Regulacja jest szybka i krótkotrwała.	• Reguluje pracę narządów za pomocą związków chemicznych – hormonów. • Hormony są rozprowadzane za pośrednictwem układu krwionośnego po całym ciele. • Regulacja jest powolna i długotrwała.



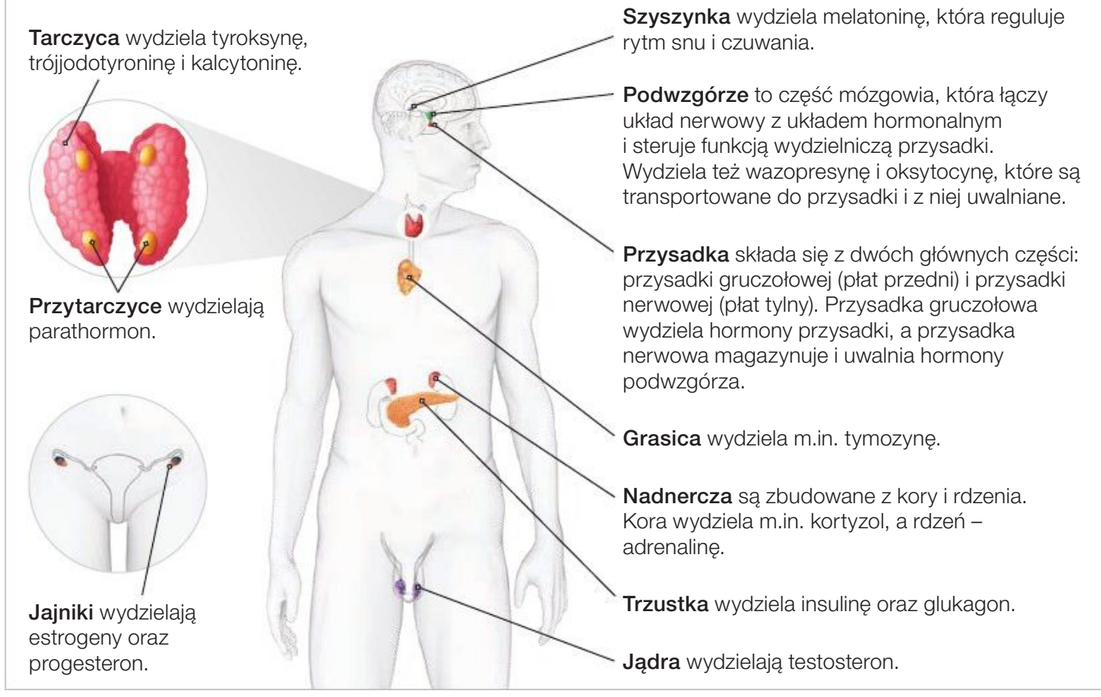


Porównanie gruczołów dokrewnych z gruczołami zewnątrzwydzielniczymi



Gruczoły dokrewne

Gruczoły dokrewne znajdują się w różnych miejscach ciała i nie są ze sobą bezpośrednio połączone. Łącznikiem między gruczołami jest układ krwionośny, który transportuje wydzielane przez nie hormony w obrębie całego organizmu.



Kryteria podziału hormonów

Kryteria podziału hormonów

Jednym z kryteriów podziału hormonów jest 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 peptydowe (np. insulina, glukagon), pochodne aminokwasów (np. tyroksyna), a także pochodne kwasów tłuszczowych.

Ze względu na miejsce i zakres działania wyróżnia się:

- **hormony o działaniu ogólnym** – są wydzielane przez gruczoły dokrewne i działają na komórki docelowe za pośrednictwem układu krwionośnego (np. hormon wzrostu, adrenalina);
- **hormony tkankowe** – są uwalniane przez komórki wydzielnicze, które nie tworzą osobnego narządu, lecz występują w obrębie innych narządów (np. żołądka, jelit czy nerek). Oddziałują one na komórki znajdujące się w sąsiedztwie komórek wydzielniczych albo docierają do komórek docelowych wraz z krwią (m.in. gastryna, erytropoetyna i histamina).

Ze względu na kierunek regulowanych procesów metabolicznych hormony dzieli się na:

- **hormony anaboliczne** (np. insulina lub testosteron), które nasilają procesy syntezy,
- **hormony kataboliczne** (np. glukagon lub tyroksyna), które nasilają procesy rozkładu.

Hormony kataboliczne i anaboliczne wykazują często działanie antagonistyczne.

Feromony

Feromony to hormony, które są wydzielane na zewnątrz ciała przez gruczoły egzokrynne. Gruczoły wydzielające feromony znajdują się m.in. w skórze, w śliniankach oraz w błonach śluzowych narządów rozrodczych. Feromony to w większości substancje lotne, które działają na inne osobniki tego samego gatunku. Służą np. do rozpoznawania się organizmów, oznaczania terytorium, przywabiania partnerów do rozrodu oraz ostrzegania przed niebezpieczeństwem.

Wybrane hormony tkankowe i ich działanie

Nazwa hormonu	Miejsce wydzielania	Działanie
Gastryna	błona śluzowa żołądka	Zwiększa wydzielanie kwasu solnego i pepsyny w żołądku, a także pobudza wzrost błony śluzowej żołądka, jelita cienkiego 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 następują skurcz mięśni gładkich oskrzeli, skurcz mięśni przewodu pokarmowego i rozszerzenie naczyń krwionośnych.

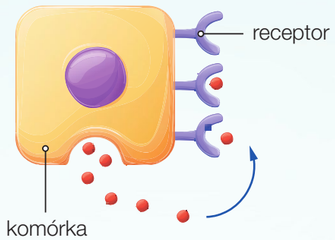
Dowiedz się więcej

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.

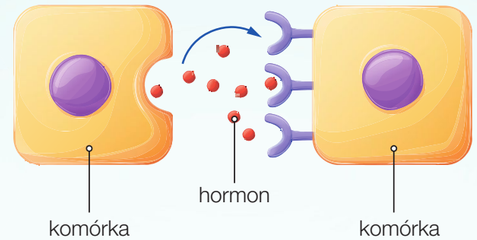
Działanie autokrynne

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 komórki tkanki chrzęstnej. Jednocześnie oddziałuje on na te same komórki – stymuluje ich namnażanie się oraz hamuje obumieranie. Dzięki temu wpływa na wzrost szkieletu i całego ciała.



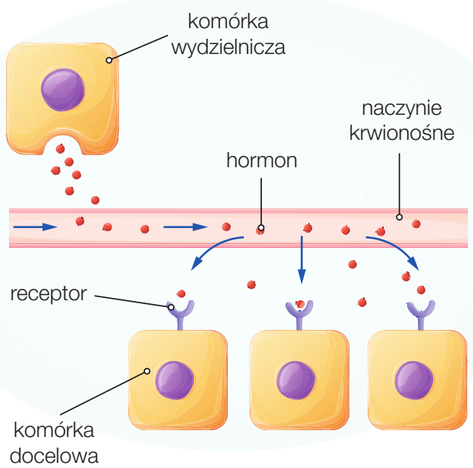
Działanie parakrynne

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.



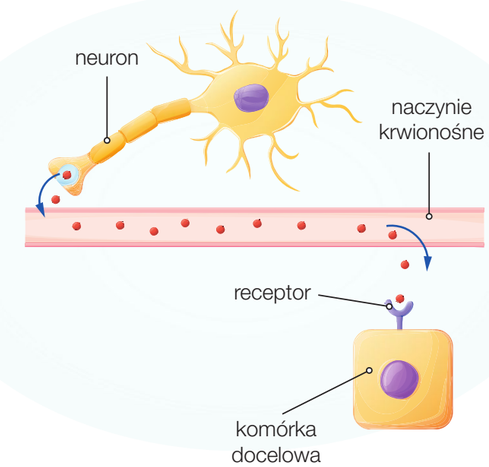
Działanie endokrynne

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.



Funkcje hormonów o działaniu ogólnym

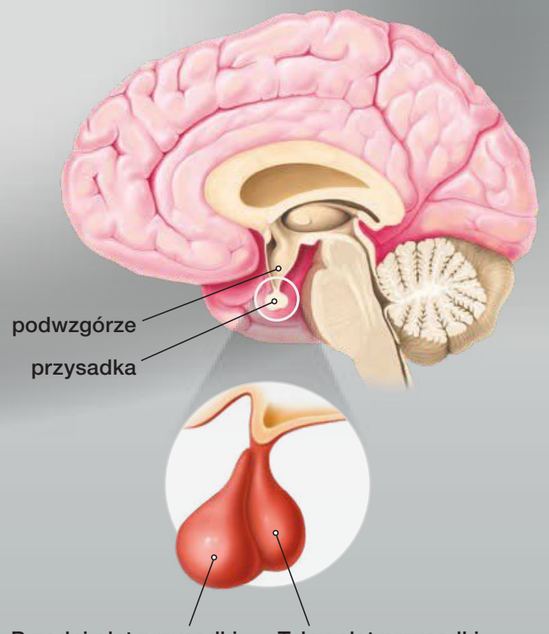
Hormony o działaniu ogólnym są wydzielane przez gruczoły dokrewne. Hormony te działają na komórki docelowe za pośrednictwem układu krwionośnego.

Hormony podwzgórza

Podwzgórze to część mózgowia, która wydziela dwa rodzaje hormonów.

Hormony podwzgórza

magazynowane i uwalniane przez przysadkę	regulujące czynność wydzielniczą przysadki
• Wazopresyna (ADH) – reguluje gospodarkę wodną przez stymulowanie procesu zagęszczania moczu. • Oksytocyna – u kobiet wywołuje skurcze macicy oraz wydzielanie mleka, a u mężczyzn wywołuje skurcze nasieniowodów.	• Hormony uwalniające (liberyny) – stymulują wydzielanie hormonów przysadki. • Hormony hamujące (statyny) – hamują wydzielanie hormonów przysadki.



Przedni płat przysadki wydziela hormony przysadki. Jego czynność jest regulowana przez hormony podwzgórza.

Tylny płat przysadki magazynuje i uwalnia hormony podwzgórza (wazopresynę i oksytocynę).

Hormony przysadki

Przysadka wydziela hormony przez część gruczołową, czyli przedni płat. Do hormonów wydzielanych przez przedni płat przysadki należą:

- **hormony działające bezpośrednio na tkanki docelowe:**
  - **hormon wzrostu** (GH), który pobudza przemiany białek, lipidów i sacharydów we wszystkich komórkach, a także stymuluje wzrost organizmu,
  - **prolaktyna** (PRL), która pobudza gruczoły mlekowe u kobiet po porodzie do wytwarzania mleka, oraz hamuje owulację, a u mężczyzn (wydzielana w niewielkich ilościach) wspiera prawidłowe działanie jąder,
- **hormony tropowe**, które stymulują działanie tarczycy, kory nadnerczy i gonad.

Hormony tropowe przysadki

tyreotropina (TSH)	kortykotropina (ACTH)	gonadotropiny (FSH i LH)
Pobudza tarczycę do wydzielania tyroksyny i trójjodotyroniny.	Pobudza korę nadnerczy do wydzielania kortyzolu.	Pobudzają: • jądra do wydzielania testosteronu, • jajniki do wydzielania estrogenu i progesteronu.

Hormony gruczołów zależnych od przysadki

Gruczoł	Wydzielane hormony i ich działanie
Tarczyca	• **Kalcytonina** – zmniejsza stężenie wapnia we krwi, blokując uwalnianie wapnia z kości. • **Tyroksyna i trójjodotyronina** – pobudzają metabolizm, ułatwiają wchłanianie glukozy z przewodu pokarmowego.
Kora nadnerczy	• **Kortyzol** – powoduje wzrost stężenia glukozy we krwi, działa przeciwzapalnie, obniża odporność organizmu.
Jądro	• **Testosteron** – powoduje rozwój męskich narządów rozrodczych i rozwój męskich cech płciowych, m.in. odpowiada za męską budowę ciała, rozrost krtani, a także wzrost mięśni szkieletowych i kości.
Jajnik	• **Estrogeny** – powodują rozwój żeńskich cech płciowych, m.in. wpływają na proporcje ciała, barwę głosu, typ owłosienia oraz cykl miesiączkowy. • **Progesteron** – wpływa na cykl miesiączkowy, umożliwia rozwój zarodka i płodu.

Hormony gruczołów niezależnych od przysadki

Gruczoł	Wydzielane hormony i ich działanie
Szyszynka	• **Melatonina** – wywołuje uczucie senności oraz wprowadza organizm w stan snu. Jest wydzielana głównie w nocy.
Przytarczyce	• **Parathormon** – zwiększa stężenie wapnia we krwi dzięki uwalnianiu go z kości i dzięki wzmożonemu wchłanianiu go z przewodu pokarmowego.
Grasica	• **Tymozyna** – stymuluje rozwój układu odpornościowego u dzieci, przyspiesza dojrzewanie limfocytów T.
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** – pobudza glikogenogenezę, czyli gromadzenie glukozy w wątrobie w postaci glikogenu (przez co zmniejsza stężenie glukozy we krwi). • **Glukagon** – stymuluje glikogenolizę, czyli rozkład glikogenu występującego w wątrobie (przez co podwyższa poziom glukozy we krwi).

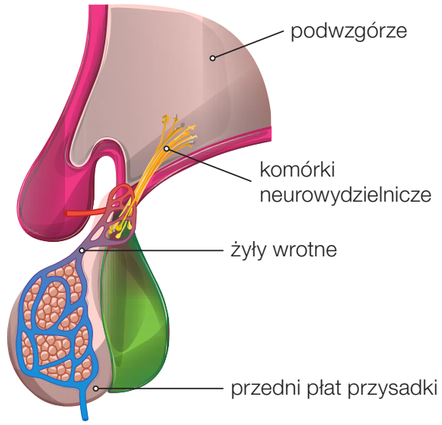
Rola podwzgórza i przysadki w utrzymaniu homeostazy

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. walkę lub ucieczkę.

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.

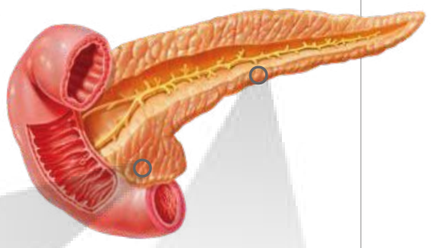
Podwzgórze, dzięki oddziaływaniu na układy nerwowy i hormonalny, umożliwia utrzymanie homeostazy oraz adaptację organizmu do warunków środowiska zewnętrznego.

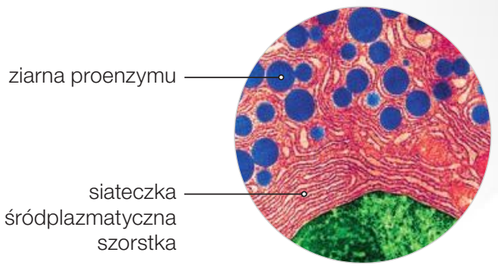


Neurohormony podwzgórza, które regulują wydzielanie hormonów tropowych, są transportowane do przysadki żyłami wrotnymi podwzgórzowo-przysadkowymi.

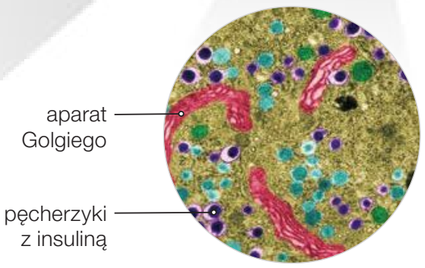
Trzustka – gruczoł o podwójnym działaniu

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.



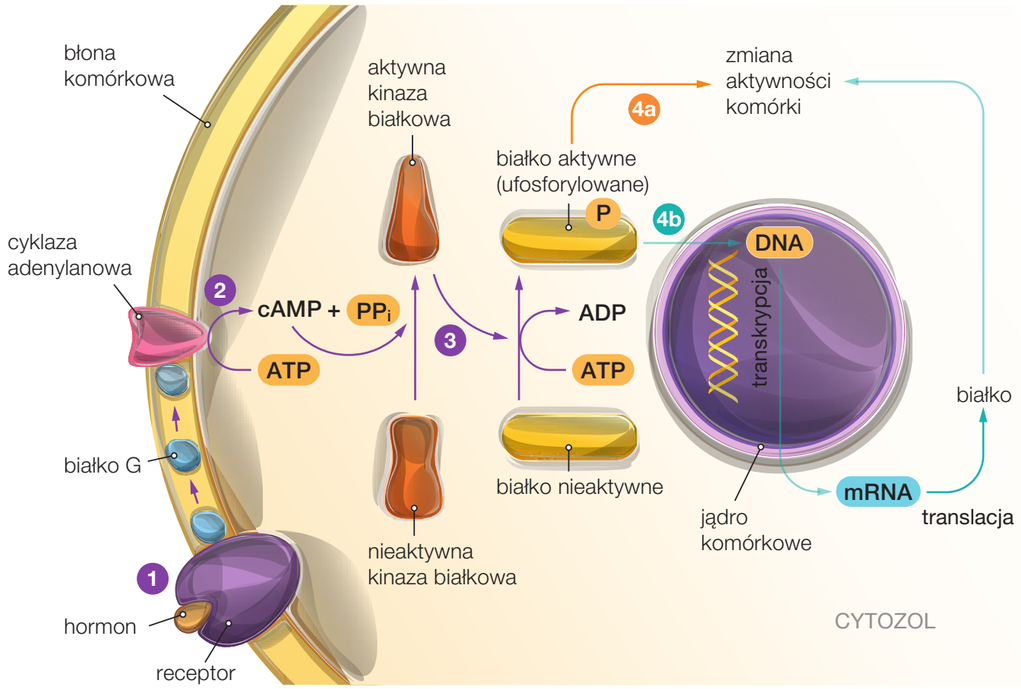
Część wewnątrzwydzielnicza składa się ze skupień komórek gruczołowych, które tworzą wyspy trzustkowe (wyspy Langerhansa). Komórki A wytwarzają **glukagon**, czyli hormon stymulujący glikogenolizę, a komórki B – **insulinę**, czyli hormon stymulujący glikogenogenezę. Oba hormony są uwalniane z komórek do krwi.

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 niesteroidowe (m.in. hormony peptydowe i pochodne aminokwasów) nie dyfundują przez błony do wnętrza komórki, dlatego ich receptory znajdują się w błonie komórkowej. Przekazywanie sygnału wywołanego przez związanie się hormonu z receptorem następuje z udziałem substancji pośredniczących. Hormony niesteroidowe mogą aktywować już istniejące związki, głównie białka enzymatyczne, albo stymulować syntezę nowych białek.

Mechanizm działania hormonów niesteroidowych



1. Cząsteczka hormonu łączy się z receptorem błonowym – w ten sposób powstaje kompleks hormon–receptor.
2. Kompleks hormon–receptor uaktywnia białko regulacyjne (białko G). Białko aktywuje enzym (cyklazę adenylanową), który przekształca ATP w cAMP.
3. cAMP aktywuje enzym – kinazę białkową – który fosforyluje nieaktywną formę białka. W wyniku fosforylacji powstaje aktywna forma białka, która może działać na dwa sposoby.

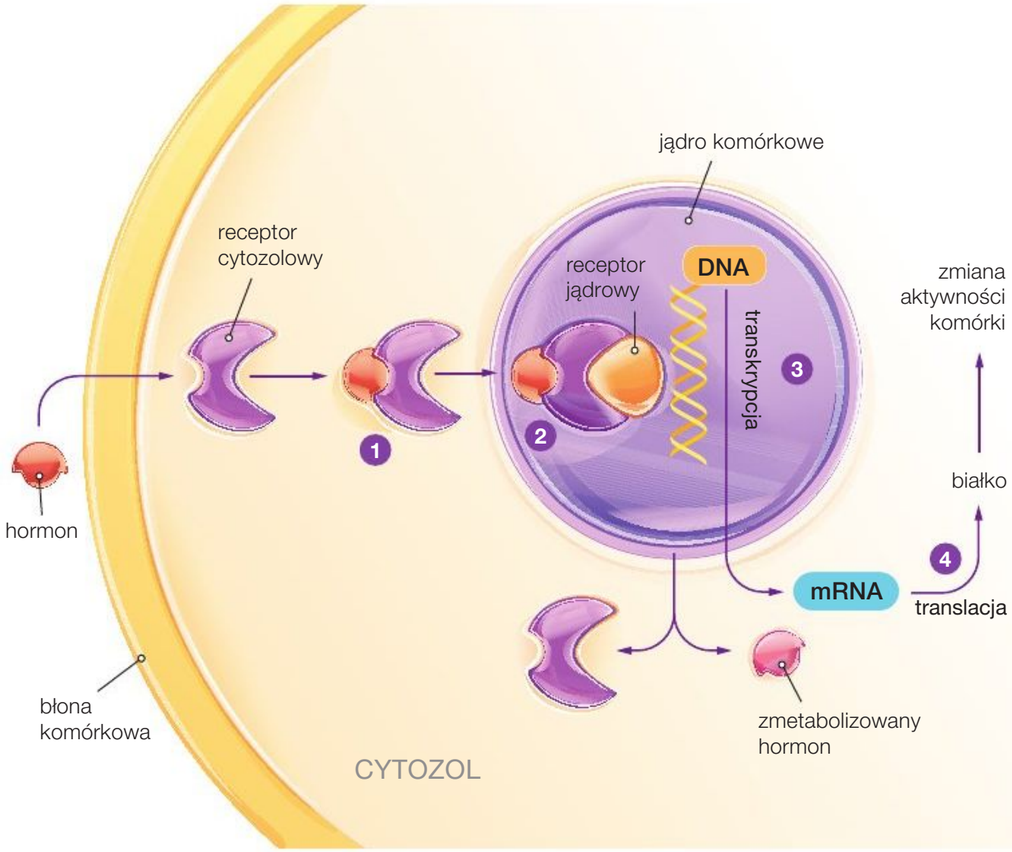
4a Pierwszy sposób działania: aktywna forma białka (np. enzymatycznego) wpływa na metabolizm komórki i zmienia jej aktywność bez wnikania do jądra komórkowego.

4b Drugi sposób działania: aktywna forma białka wnika do jądra komórkowego, gdzie stymuluje transkrypcję określonego genu. W wyniku transkrypcji i następującej po niej translacji powstaje białko, np. białko enzymatyczne, które wpływa na metabolizm komórki i zmienia jej aktywność.

Wyjątkiem wśród hormonów niesteroidowych są hormony tarczycy – tyroksyna i trójjodotyronina (pochodne tyrozyny). Hormony te są transportowane przez błony za pomocą błonowych białek przenośnikowych. W komórce tyroksyna i trójjodotyronina łączą się z receptorami jądrowymi i uruchamiają ciąg reakcji prowadzących do zmiany aktywności komórki.

Hormony steroidowe rozpuszczają się w tłuszczach, dlatego dyfundują przez błony do wnętrza komórki, gdzie łączą się z receptorami. Receptory hormonów steroidowych znajdują się w cytozolu (receptory cytozolowe) lub w jądrze komórkowym (receptory jądrowe). Niektóre hormony działają za pośrednictwem obu typów receptorów.

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.
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.

Rola hormonów w regulacji tempa metabolizmu i wzrostu

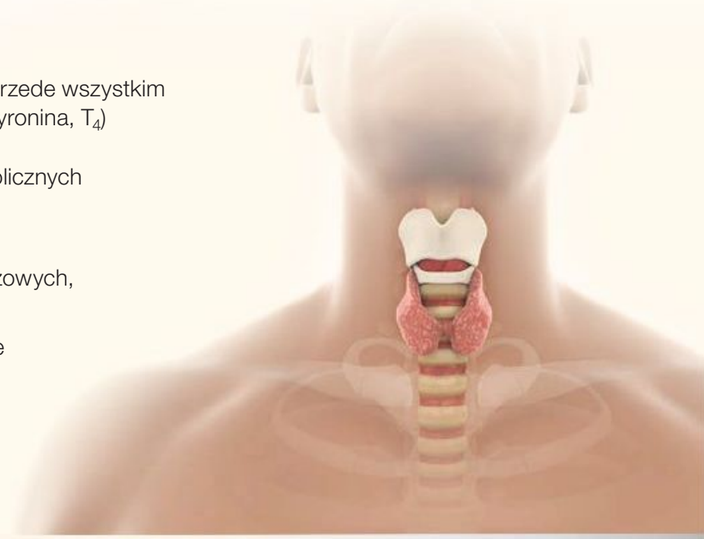
Hormony regulują wiele ważnych procesów zachodzących w organizmie. Wpływają m.in. na metabolizm oraz wzrost.

Regulacja tempa metabolizmu

Za regulację tempa metabolizmu odpowiada przede wszystkim tarczyca, która wydziela **tyroksynę** (tetrajodotyronina, T_4) i **trójjodotyroninę** (T_3).
Hormony te pobudzają wiele przemian metabolicznych oraz procesów fizjologicznych, m.in.:

- 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, GH – ang. *growth hormone*).
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.

Polecenia kontrolne

1. Podaj dwie różnice między sposobem przekazywania informacji w układzie nerwowym a sposobem przekazywania informacji w układzie hormonalnym.
2. Przedstaw różnice w sposobie regulacji czynności komórek przez hormony steroidowe i przez hormony niesteroidowe.
3. Wymień nazwy gruczołów układu hormonalnego i podaj przykłady wydzielanych przez nie hormonów.
4. Podaj po jednym przykładzie funkcji gastryny, erytropoetyny i histaminy.
5. Wyjaśnij, w jaki sposób układ hormonalny kontroluje tempo metabolizmu oraz wzrost organizmu.

11.2. Regulacja wydzielania hormonów

Ważne w tym temacie!

- antagonistyczne działanie hormonów na przykładzie regulacji poziomów glukozy i wapnia we krwi
- nadrzędna rola 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 mogą być przyczyną zaburzeń w funkcjonowaniu organizmu. W regulacji wydzielania hormonów zasadniczą rolę odgrywają dwa mechanizmy: antagonistyczne działanie hormonów i ujemne sprzężenie zwrotne.

Antagonistyczne działanie hormonów

Antagonistyczne działanie hormonów polega na tym, że dwa różne hormony wywołują przeciwstawne reakcje w organizmie – jeden hormon pobudza dany proces, a drugi go hamuje. W ten sposób są regulowane niektóre czynności życiowe.

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.

Rola podwzgórza i przysadki w regulacji hormonalnej

Podwzgórze odgrywa nadrzędną rolę w koordynacji pracy układu hormonalnego. Czynność gruczołów jest regulowana przez nerwy autonomicznego układu nerwowego, którego pracą kieruje właśnie podwzgórze. Ponadto za pośrednictwem hormonów podwzgórza jest regulowana praca przysadki. Z kolei hormony tropowe przysadki wpływają na wydzielanie hormonów przez część gruczołów dokrewnych.

Podwzgórze łączy się z przednim płatem przysadki za pomocą żył wrotnych podwzgórzowo-przysadkowych. Naczyniami tymi są transportowane:

- **hormony uwalniające** – liberyny – które stymulują wydzielanie hormonów przysadki,
- **hormony hamujące** – statyny – które hamują wydzielanie hormonów przysadki.

Dzięki żyłom wrotnym podwzgórzowo-przysadkowym neurohormony podwzgórza są dostarczane do przysadki z pominięciem reszty obiegu ustrojowego.

Podwzgórze łączy się z tylnym płatem przysadki za pomocą neuronów, które wytwarzają **wazopresynę** oraz **oksytocynę**. Oba hormony są magazynowane w tylnym płacie przysadki i w razie potrzeby uwalniane do krwiobiegu.

Hormony uwalniające i hamujące podwzgórza

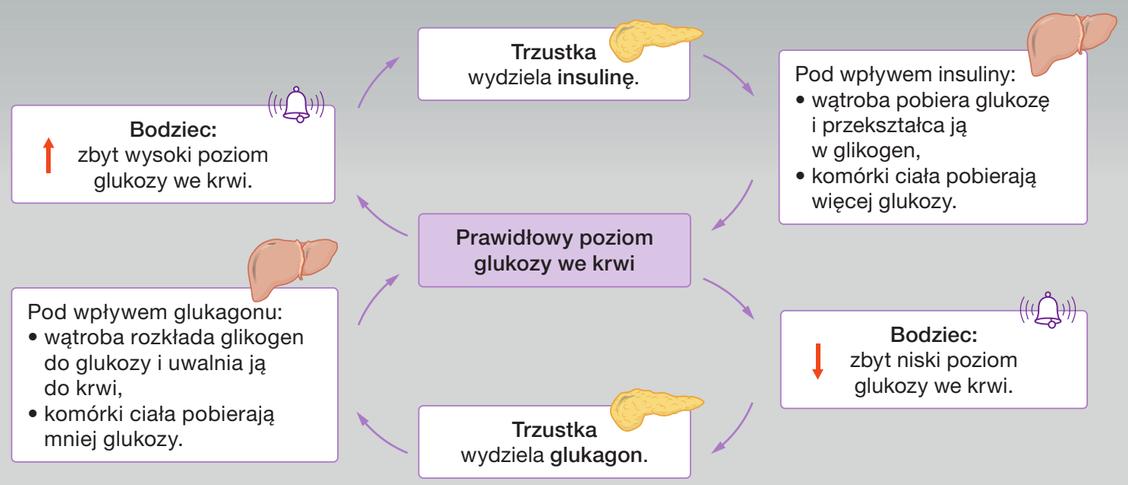
Dowiedz się więcej

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

Antagonistyczne działanie hormonów

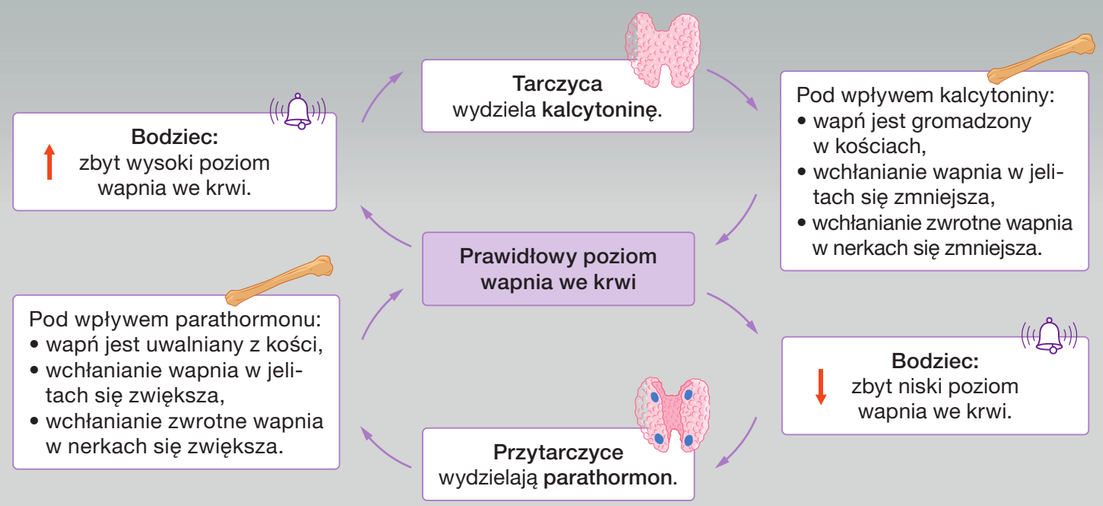
Regulacja poziomu glukozy we krwi

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.



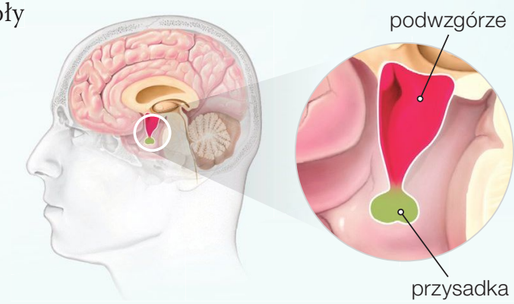
Regulacja poziomu wapnia we krwi

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.

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.

5 W efekcie działania hormonów tarczycy komórki zwiększają tempo metabolizmu, co powoduje **wytwarzanie większej ilości ciepła**. Dzięki temu organizm może utrzymać stałą temperaturę.

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

Efekt:
m.in. wzrost stężenia glukozy we krwi i wzrost ciśnienia krwi.

6 kortyzol

5

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

Efekt:
odpowiedni poziom hormonów płciowych we krwi, który umożliwia m.in. prawidłową pracę gonad.

6 estrogeny
testosteron

5

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**.

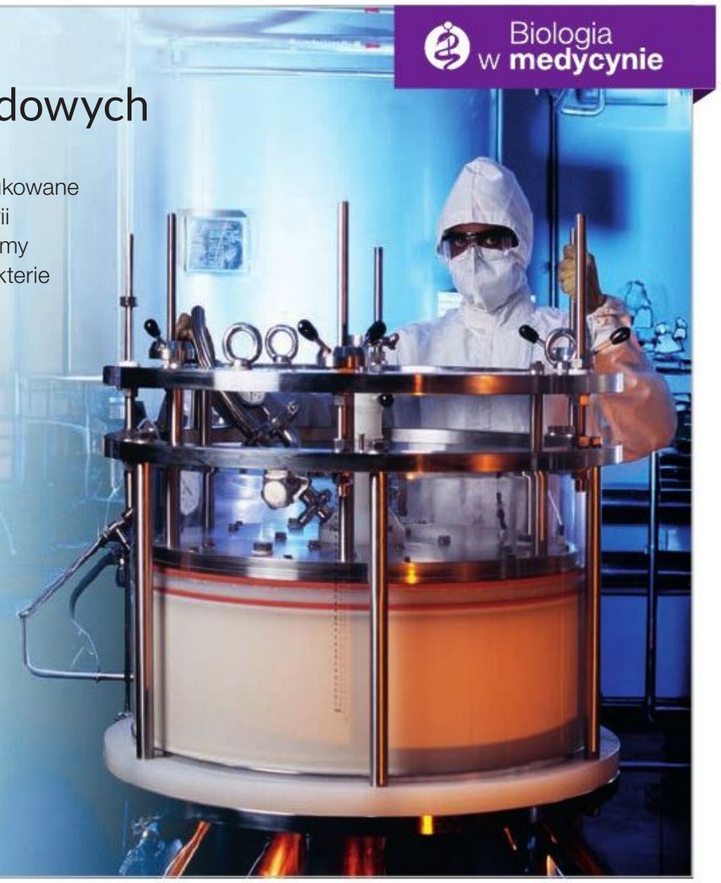
6 Hormony płciowe **działają hamująco** na podwzgórze i przysadkę, które **wstrzymują wydzielanie** swoich hormonów.

Produkcja ludzkich hormonów niesteroidowych

Biologia w medycynie

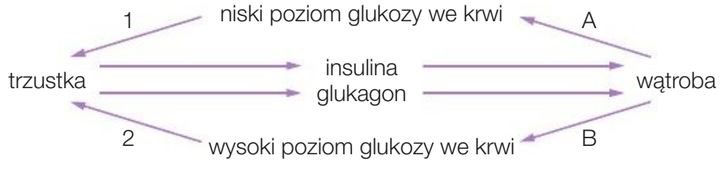
Niektóre ludzkie hormony niesteroidowe, m.in. insulina i hormon wzrostu, są produkowane na skalę przemysłową metodami inżynierii genetycznej. Wytwarzają je mikroorganizmy zmodyfikowane genetycznie, głównie bakterie i drożdże.

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.
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. Określ, 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. Omów rolę podwzgórza w koordynowaniu pracy układów nerwowego i hormonalnego.

11.3. Nadczynność i niedoczynność tarczycy. Stres

Ważne w tym temacie!

- skutki niedoczynności i nadczynności tarczycy
- rola hormonów w reakcji na stres

Układ hormonalny reguluje pracę narządów 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** – 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 przez 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 są widoczne zmiany, m.in. guzy, to wówczas ich fragment pobiera się podczas biopsji. Następnie wycinek poddaje się badaniu histopatologicznemu, pozwalającemu określić charakter zmiany (łagodna lub złośliwa) i dobrać odpowiednie metody 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 tarczycy

Tarczyca to gruczoł, który odgrywa kluczową rolę w regulacji wielu procesów w organizmie. Dzieje się tak za sprawą wydzielanych przez tarczycę hormonów: tyroksyny, trójjodotyroniny i kalcytoniny.
Tarczyca odpowiada m.in. za:

- regulację przemian metabolicznych,
- produkcję ciepła w tkankach,
- właściwy poziom wapnia we krwi,
- prawidłową pracę układu nerwowego i układu rozrodczego.

Organizmowi szkodzi zarówno nadczynność, jak i niedoczynność tarczycy.

Powiększenie tarczycy (tzw. wole) jest częstym objawem niedoczynności i nadczynności tarczycy.

Objawy zaburzenia pracy tarczycy

niedoczynność (za mało hormonów)	nadczynność (za dużo hormonów)
• Objawy u dorosłych: – sucha i szorstka skóra, – obwisłe powieki, – zwiększenie masy ciała, – przewlekłe zmęczenie. • Niedobór kalcytoniny może prowadzić do nadmiaru wapnia we krwi. • U dzieci niedoczynność tarczycy prowadzi do opóźnienia rozwoju psychoruchowego. Objawy niedoczynności tarczycy mogą wynikać z zapalenia tarczycy typu Hashimoto – przewlekłego zapalenia tarczycy o podłożu autoimmunizacyjnym.	• Objawy u dorosłych: – przyspieszone tempo przemiany materii, – utrata masy ciała, – wzmożona potliwość, – nerwowość, – drżenie rąk, – ogólne osłabienie, – bezsenność. Objawy nadczynności tarczycy mogą wynikać z choroby Gravesa–Basedowa [wym. grejwsa basedowa] – schorzenia autoimmunizacyjnego tarczycy, w którego przebiegu obserwuje się nadmierne pobudzenie wydzielania hormonów przez ten gruczoł.

Badanie USG oraz badanie poziomu hormonów tarczycy we krwi pozwalają ustalić przyczynę nieprawidłowej pracy tarczycy.

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

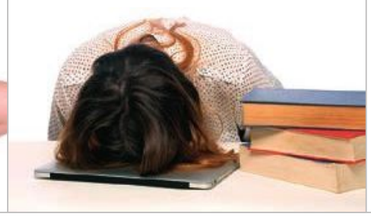
Wyróżnia się dwa rodzaje stresu: stres krótkotrwały i stres długotrwały.

Stres krótkotrwały zazwyczaj działa mobilizująco. W przypadku tego rodzaju stresu po ustąpieniu stresora organizm 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 zaburzeń lękowych czy depresji. Długotrwale utrzymujący się stres może również prowadzić do nadciśnienia tętniczego, miażdżycy, choroby wrzodowej żołądka, zatrzymania cyklu miesiączkowego (u kobiet), problemów z erekcją (u mężczyzn). Ponadto stres zmniejsza odporność, przez co organizm jest bardziej podatny na infekcje.

Przykłady stresorów		
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



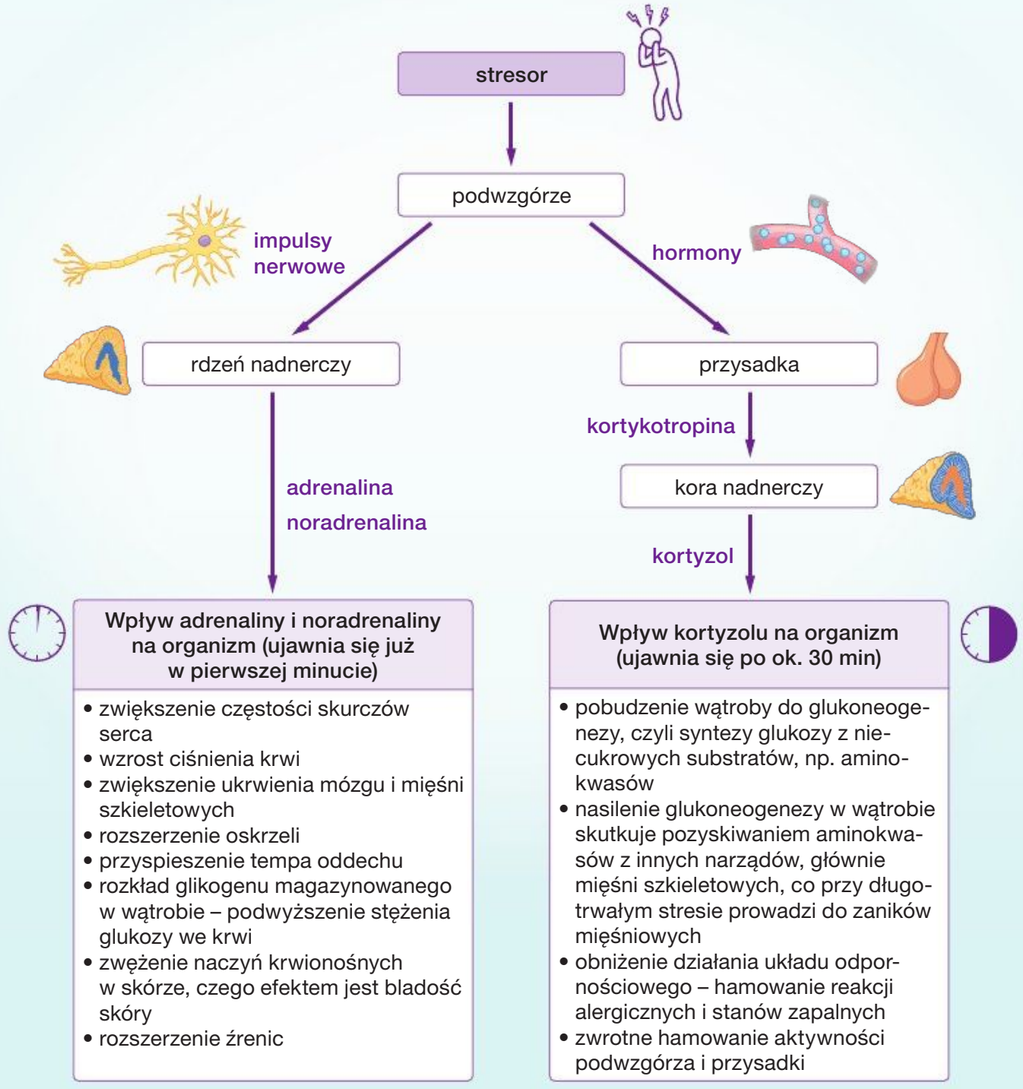
Przebieg reakcji stresowej

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 ono współczulny układ nerwowy, który pobudza **rdzeń nadnerczy** do wydzielania **adrenaliny** i **noradrenaliny**.
- Za pomocą hormonów pobudza ono przysadkę do wydzielania kortykotropiny, czyli hormonu tropowego, który stymuluje **korę nadnerczy** do wydzielania **kortyzolu**.

Przebieg reakcji stresowej



Wpływ adrenaliny i noradrenaliny na organizm (ujawnia się już w pierwszej minucie)

- zwiększenie częstości skurczów serca
- wzrost ciśnienia krwi
- zwiększenie ukrwienia mózgu i mięśni szkieletowych
- rozszerzenie oskrzeli
- przyspieszenie 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** w organizmie 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,
- hamowanie 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 przez:
  - hamowanie reakcji zapalnych, które są częścią obrony nieswoistej organizmu,
  - zmniejszanie liczby eozynofili, bazofili i limfocytów,
  - zanik tkanki limfatycznej,
  - hamowanie syntezy przeciwciał.

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?

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.

Sposoby walki ze stresem

Odpoczynek

Odpoczynek, np. spacer, słuchanie relaksującej muzyki czy sen, umożliwia regenerację organizmu.

Zdrowa dieta

Smaczny posiłek poprawia nastrój. Ponadto zrównoważona dieta umożliwia prawidłowe funkcjonowanie organizmu.

Aktywność fizyczna

Podczas wysiłku są wydzielane endorfiny – hormony peptydowe wywołujące m.in. dobre samopoczucie.

Prośba o pomoc

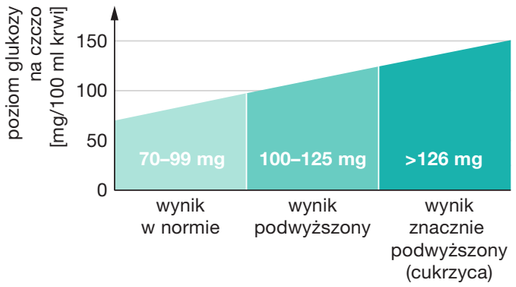
Gdy trudno poradzić sobie ze stresem, warto poprosić o pomoc specjalistę, np. psychologa lub psychoterapeutę.

Przypomnij sobie

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 choroby wyróżnia się cukrzycę typu I oraz cukrzycę typu II.

Wyniki pomiaru stężenia glukozy we krwi na czczo



Cukrzycę diagnozuje się wtedy, gdy podczas dwóch niezależnych pomiarów (wykonanych dzień po dniu) stężenie glukozy na czczo przekracza 125 mg/100 ml krwi lub gdy stężenie glukozy po posiłku przekracza bądź jest równe 200 mg/100 ml krwi.

Osoby z cukrzycą muszą regularnie sprawdzać stężenie glukozy we krwi.

Porównanie typów cukrzycy

Cukrzyca typu I	Cukrzyca typu II
Przyczyna	
• Niszczenie komórek trzustki przez własny układ odpornościowy (choroba autoimmunizacyjna), co prowadzi do niedoboru insuliny w organizmie.	• Uszkodzenie komórek trzustki związane m.in. z niezdrowym trybem życia i otyłością. Efektem jest zbyt mała produkcja insuliny i zmniejszenie wrażliwości komórek na insulinę.
Objawy	
• Niski poziom insuliny na czczo, wzmożone pragnienie, częste oddawanie moczu oraz zapach acetonu z ust. • Pojawiają się nagle w młodym wieku (zwykle do 30. roku życia).	• Senność po posiłkach, chroniczne zmęczenie, lekko wzmożone pragnienie, częste oddawanie moczu oraz powolne gojenie się ran. • Pojawiają się niezauważalnie i stopniowo się nasilają (zwykle po 35. roku życia).
Leczenie	
• Dożywotnie przyjmowanie insuliny.	• Zmiana diety, aktywność fizyczna, często także przyjmowanie insuliny w zastrzykach.

Polecenia kontrolne

1. Podaj po dwa przykłady objawów nadczynności tarczycy i niedoczynności tarczycy.
2. Przedstaw rolę podwzgórza oraz przysadki w mechanizmie reakcji stresowej.
3. Wykaż na podstawie dwóch argumentów, że przewlekły stres może mieć szkodliwy wpływ na funkcjonowanie organizmu.

Podsumowanie

1 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.

2 Hormony – substancje chemiczne, które stymulują lub hamują czynności wybranych komórek organizmu.

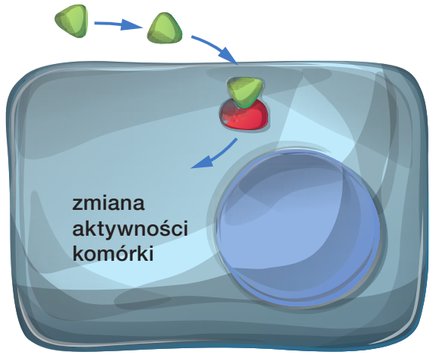
3 Podział gruczołów

Gruczoły

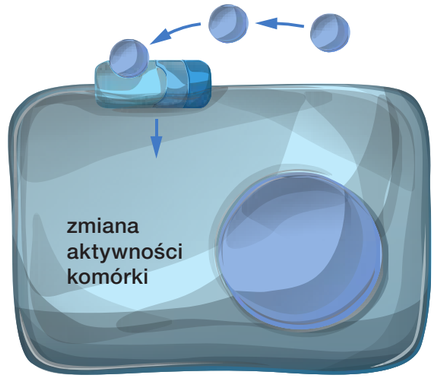
wewnątrzwydzielnicze	zewnątrzwydzielnicze
• Wydzielają wytwarzane przez siebie substancje (hormony) do krwi. Przykładem są nadnercza.	• Wydzielają wytwarzane przez siebie substancje (np. enzymy) na powierzchnię ciała lub do światła narządów wewnętrznych (przez przewody wyprowadzające). Przykładem są gruczoły potowe.

4 Działanie hormonów steroidowych i niesteroidowych

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 niesteroidowe nie wnikają do wnętrza komórki, ale 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)	U kobiet po porodzie pobudza gruczoły mlekowe 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 stymulowanie procesu 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	Wywołuje uczucie senności.
Tarczyca	kalcytonina	Zmniejsza stężenie wapnia we krwi – blokuje uwalnianie wapnia z kości.
	tyroksyna, trójjodotyronina	Pobudzają metabolizm, ułatwiają wchłanianie glukozy z przewodu pokarmowego.
Przytarczyce	parathormon	Zwiększa stężenie wapnia we krwi dzięki uwalnianiu go z kości i dzięki wzmożonemu wchłanianiu go z przewodu pokarmowego.
Grasica	tymozyna	Przyspiesza dojrzewanie limfocytów T.
Nadnercza	adrenalina, noradrenalina	Powodują zwężenie naczyń krwionośnych oraz 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 i męskich cech płciowych, m.in. odpowiada za męską budowę ciała, wzrost mięśni szkieletowych i kości oraz rozrost krtani.
Jajniki	estrogeny	Powodują rozwój żeńskich cech płciowych, m.in. 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, warunkuje 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 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 tarczycy

Niedoczynność tarczycy	Nadczynność tarczycy
• opóźnienie rozwoju psychoruchowego (u dzieci) • sucha i szorstka skóra • obwisłe powieki • zwiększenie masy ciała • przewlekłe zmęczenie	• przyspieszone tempo przemiany materii • utrata masy ciała • wzmożona potliwość • nerwowość • drżenie rąk • ogólne osłabienie • bezsenność

9 **Stres** – fizjologiczna i psychologiczna reakcja organizmu na działanie stresorów, czyli zewnętrznych lub wewnętrznych czynników powodujących zmianę funkcjonowania organizmu.

Wyróżnia się stresory:

- fizyczne, np. uraz, choroba, hałas, silne bodźce wzrokowe lub dotykowe, ból, zanieczyszczenie środowiska,
- psychiczne zewnętrzne, np. śmierć bliskiej osoby, konflikty rodzinne, sprawdzian, wystąpienie publiczne,
- psychiczne wewnętrzne, np. pesymizm, perfekcjonizm, niska samoocena, niezdolność do pogodzenia się ze zmianami.

10 Pod wpływem stresu wydzielane są adrenalina, noradrenalina i kortyzol. Hormony te powstają w nadnerczach, a za regulację ich wydzielania odpowiada podwzgórze.

Wpływ na organizm	
adrenaliny i noradrenaliny	**kortyzolu**
• Przyspieszenie tempa pracy serca. • Podwyższenie ciśnienia tętniczego krwi. • Podwyższenie stężenia glukozy we krwi. • Rozszerzenie źrenic i oskrzeli. • Zwiększenie częstości oddechów. • Zwiększenie ukrwienia mózgu i mięśni szkieletowych.	• Podwyższenie stężenia glukozy we krwi. • Podwyższenie ciśnienia tętniczego krwi. • Obniżenie aktywności układu odpornościowego. • Hamowanie reakcji alergicznych i stanów zapalnych. • Hamowanie zwrotne aktywności podwzgórza i przysadki.

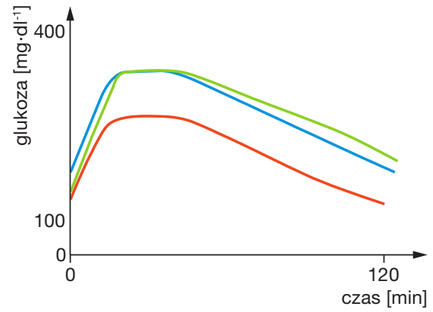
Sposób na zadania

WYKONAJ W ZESZYCIE

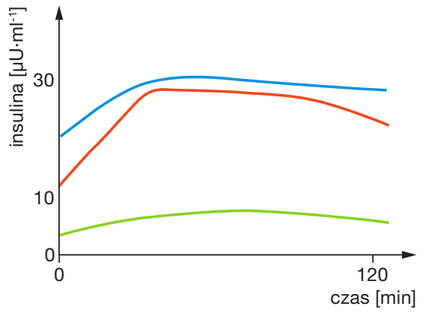
1 Przeprowadzono badania na trzech grupach myszy: jednej grupie kontrolnej i dwóch grupach badawczych. Grupę kontrolną stanowiły chude myszy karmione standardową karmą. W grupach badawczych znalazły się myszy o obniżonej zdolności przetwarzania glukozy. W pierwszej grupie badawczej były myszy otyłe odżywiające się pokarmem wysokotłuszczowym, a w drugiej grupie badawczej – myszy nieotyłe chorujące na cukrzycę.

Na wykresie A przedstawiono wyniki testu tolerancji glukozy, czyli zdolności organizmu do przetwarzania glukozy. W tym teście bada się stężenie glukozy we krwi – najpierw na czczo (pomiar o czasie 0), a następnie po doustnym podaniu glukozy. Na wykresie B przedstawiono wyniki równoległego pomiaru stężenia insuliny w osoczu myszy.

A.



B.



Na podstawie: M.C. Petersen, G.I. Shulman, *Mechanisms of insulin action and insulin resistance*, „Physiological Reviews" 2018, 98, 2163.

Przeanalizuj wykresy. Zwróć uwagę, która grupa myszy – w porównaniu z grupą kontrolną – miała podobne początkowe stężenie insuliny i wyższe końcowe stężenie glukozy.

Na podstawie wykresu określ, która grupa myszy wykazuje nietolerancję glukozy spowodowaną zmniejszeniem wrażliwości tkanek na insulinę. Odpowiedź uzasadnij.

Nietolerancja glukozy wynikająca ze zmniejszonej wrażliwości tkanek na insulinę oznacza, że trzustka wydziela normalną lub podwyższoną ilość insuliny, a mimo to stężenie glukozy jest podwyższone (nawet dłuższy czas po posiłku).

Rozwiązanie:

Nietolerancję glukozy spowodowaną zmniejszeniem wrażliwości tkanek na insulinę wykazują myszy otyłe, które odżywiają się pokarmem wysokotłuszczowym. Świadczy o tym fakt, że stężenie glukozy w ich krwi było podwyższone / wyższe niż w grupie kontrolnej przez cały czas trwania badania – mimo że myszy te wydzielały podobną ilość insuliny do myszy w grupie kontrolnej / większą ilość insuliny niż myszy w grupie kontrolnej.

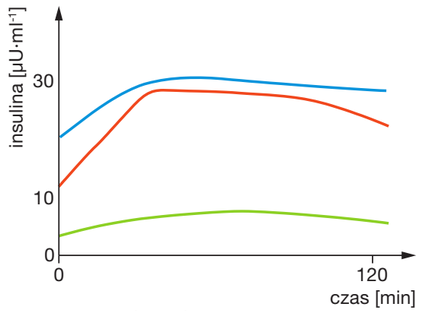
Zadanie analogiczne

WYKONAJ W ZESZYCIE

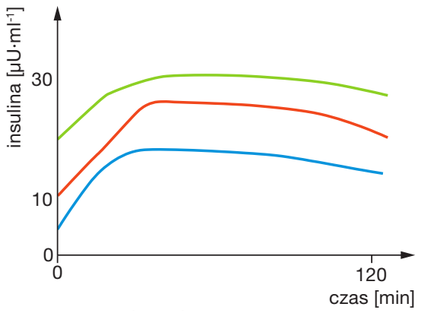
1 Przeprowadzono badania na trzech grupach myszy: jednej grupie kontrolnej i dwóch grupach badawczych. Grupę kontrolną stanowiły chude myszy karmione standardową karmą. W grupach badawczych znalazły się myszy o obniżonej zdolności do przetwarzania glukozy. W pierwszej grupie badawczej były myszy otyłe odżywiające się pokarmem wysokotłuszczowym, a w drugiej grupie badawczej – myszy nieotyłe chorujące na cukrzycę.

Na wykresie A przedstawiono wyniki pomiaru stężenia insuliny w osoczu myszy najpierw na czczo (pomiar o czasie 0), a następnie po doustnym podaniu glukozy. Na wykresie B przedstawiono, jak wyniki pomiaru stężenia insuliny zmieniły się po podaniu myszom z grup badawczych leków zwiększających tolerancję na glukozę. Jednej grupie badawczej podano pochodne sulfonylomocznika, które zwiększają sekrecję insuliny, a drugiej grupie badawczej – czynnik wzrostu fibroblastów 21 (FGF21), który zwiększa wrażliwość tkanek na insulinę.

A.



B.



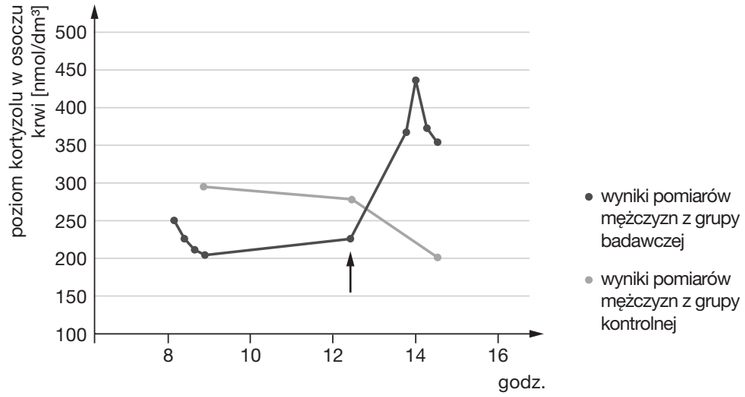
Na podstawie wykresu określ, którą grupę myszy poddano terapii pochodnymi sulfonylomocznika. Odpowiedź uzasadnij.

Zadania powtórzeniowe

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 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.



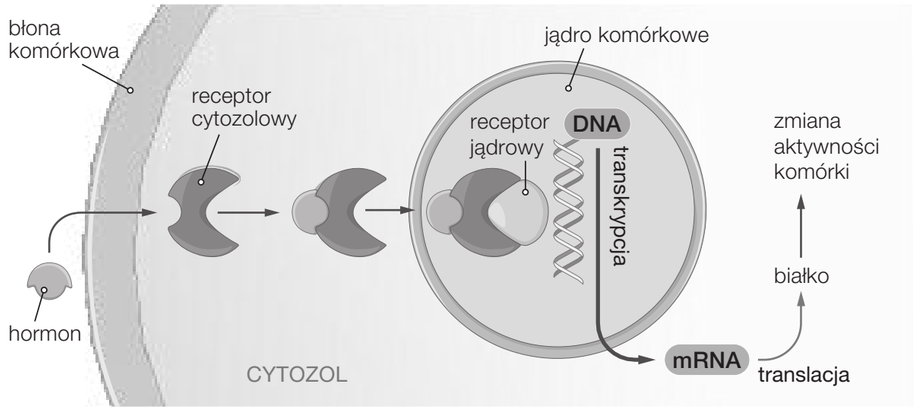
Na podstawie: R.T. Chatterton Jr., K.M. Vogelsong, Y.-C. Lu, G.A. Hudgens, *Hormonal Responses to Psychological Stress in Men Preparing for Skydiving*, „The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism" 1997, vol. 82, nr 8, s. 2503–2509.

a) Sformułuj wniosek dotyczący zmian w stężeniu kortyzolu w osoczu krwi u mężczyzn, którzy mieli wykonać skok ze spadochronem, oraz u mężczyzn, którzy nie mieli wykonać skoku, od chwili wejścia mężczyzn z grupy badawczej na pokład samolotu.

b) Określ, co stanowiło zmienną zależną w przedstawionym badaniu.

c) Wyjaśnij, w jakim celu pobrano i zbadano krew mężczyznom, którzy nie wykonywali skoku ze spadochronem.

2 Schemat przedstawia mechanizm działania pewnego hormonu.



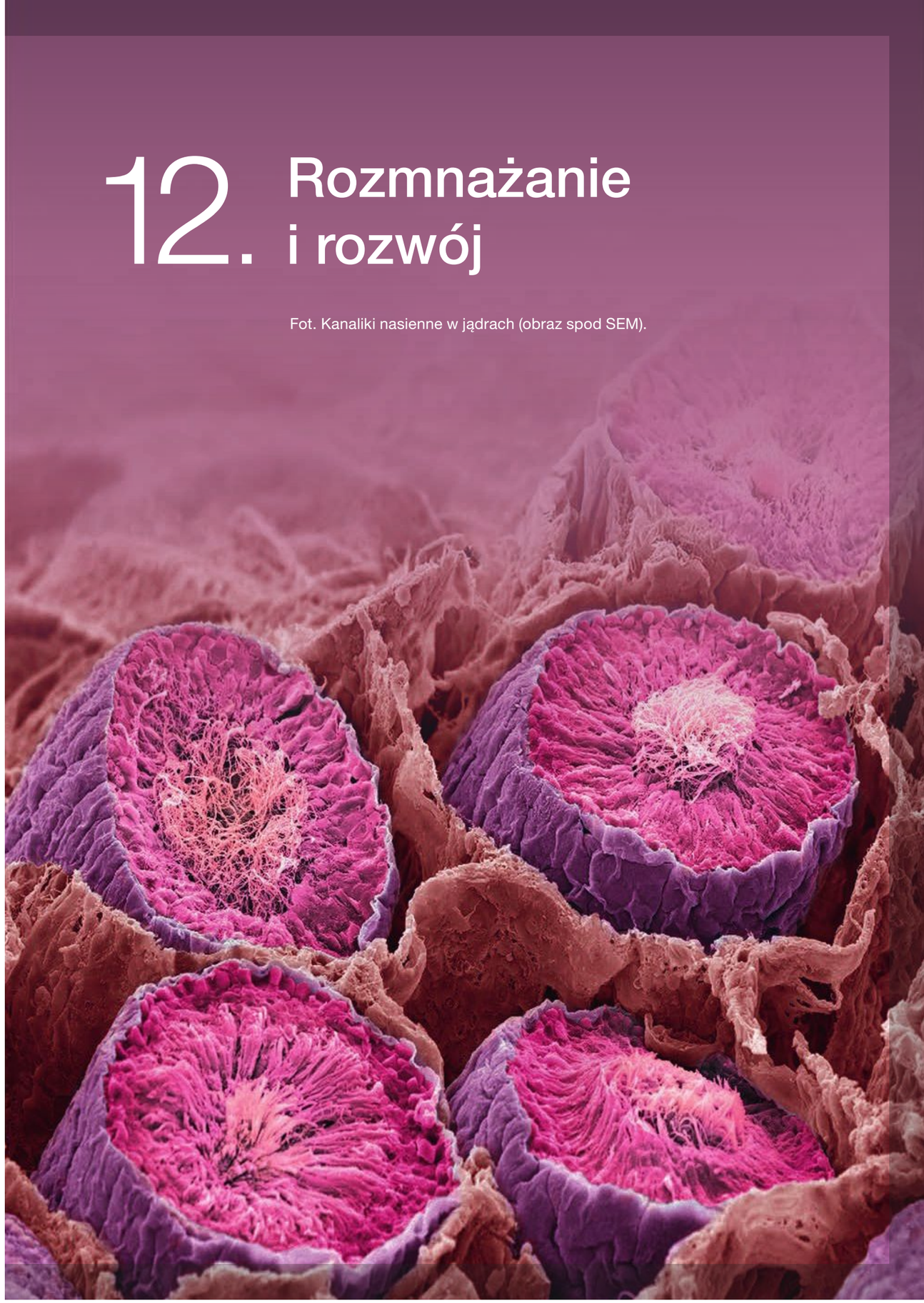
a) Określ, jaką budowę – steroidową czy niesteroidową – ma hormon, którego działanie przedstawiono na schemacie. Odpowiedź uzasadnij, uwzględniając lokalizację receptorów tego hormonu.

b) 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	niesteroidowy	tarczyca
B.	Glukagon	niesteroidowy	trzustka
C.	Hormon wzrostu	steroidowy	nadnercza
D.	Oksytocyna	steroidowy	przysadka

12. Rozmnażanie i rozwój

Fot. Kanaliki nasienne w jądrach (obraz spod SEM).



12.1. Rozmnażanie i rozwój u zwierząt

Ważne w tym temacie!

- charakterystyka 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 do śmierci 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,
- pączkowanie.

Rozmnażanie płciowe

W **rozmnażaniu płciowym** biorą udział gamety, czyli wyspecjalizowane komórki płciowe. U zwierząt występuje **oogamia**:

- **gameta żeńska** (komórka jajowa) jest duża i nieruchliwa, powstaje w gonadach żeńskich (jajnikach),
- **gameta męska** (plemnik) jest mniejsza i wykazuje zdolność ruchu, powstaje w gonadach męskich (jądrach).

U zwierząt może występować rozdzielnopłciowość lub obupłciowość. U zwierząt rozdzielnopłciowych istnieją 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 ze 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 są związane dwa procesy: mejoza oraz zapłodnienie.

Podczas **mejozy** zachodzą *crossing-over*, czyli wymiana odcinków chromatyd między chromosomami homologicznymi, oraz losowe rozchodzenie się chromosomów. Procesy te stanowią 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 się łączą, 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.

Typy zapłodnienia u zwierząt

Typy zapłodnienia			
ze względu na miejsce zachodzenia		ze względu na pochodzenie gamet	
zapłodnienie zewnętrzne	zapłodnienie wewnętrzne	samozapłodnienie	zapłodnienie krzyżowe
• Komórki płciowe łączą się ze sobą poza organizmem. • Charakterystyczne głównie dla zwierząt rozmnażających się w wodzie, m.in. dla większości ryb i płazów bezogonowych.	• Plemniki są wprowadzane przez samca bezpośrednio do dróg płciowych samicy. • Charakterystyczne głównie dla zwierząt lądowych, m.in. dla ssaków, ptaków, gadów.	• Komórki jajowe i plemniki pochodzą od tego samego osobnika. • Występuje m.in. u tasiemców.	• Komórki jajowe i plemniki pochodzą od różnych osobników tego samego gatunku. • Występuje m.in. u ssaków.

Rozwój zarodkowy

Rozwój zarodkowy organizmu – **embriogeneza** – rozpoczyna się w chwili, gdy wskutek zapłodnienia powstaje diploidalna zygota. W przebiegu rozwoju zarodkowego można wyróżnić cztery główne etapy:

1. zapłodnienie,
2. bruzdkowanie,
3. gastrulację,
4. organogenezę.

Rozwój zarodkowy owodniowców

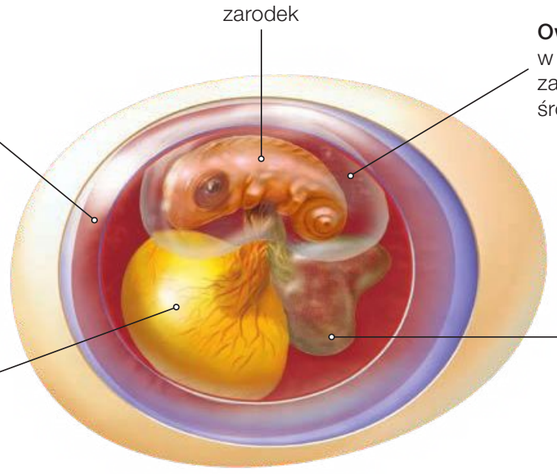
W trakcie embriogenezy owodniowców (gadów, ptaków i ssaków) tworzą się **błony płodowe**. Błony te pozwoliły owodniowcom uniezależnić rozmnażanie od środowiska wodnego.

Przypomnij sobie

Błony płodowe

Wykształcenie błon płodowych jest jedną z najważniejszych adaptacji, które umożliwiły owodniowcom opanowanie środowiska lądowego. Zarodki owodniowców wytwarzają cztery błony płodowe: pęcherzyk żółtkowy, owodnię, omocznię i kosmówkę.

Kosmówka przylega do osłon jajowych i pośredniczy w wymianie gazowej zarodka, a u ssaków bierze udział w powstawaniu łożyska.



Owodnia tworzy komorę, w której znajduje się płyn zapewniający zarodkowi środowisko wodne.

Pęcherzyk żółtkowy jest wypełniony żółtkiem, z którego zarodek pobiera substancje odżywcze niezbędne do wzrostu i rozwoju.

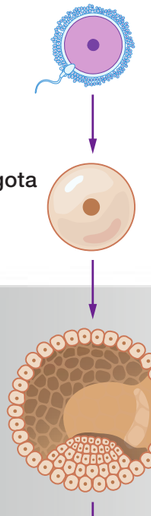
Omocznia ma zdolność zwrotnego wchłaniania wody, dzięki czemu woda może być wielokrotnie wykorzystana przez zarodek. W jamie omoczni gromadzą się zbędne produkty przemiany materii zarodka.

Rozwój zarodkowy zwierząt

Rozwój zarodkowy (embriogeneza) to okres w rozwoju osobniczym trwający od zapłodnienia komórki jajowej do wyklucia się organizmu z osłon jajowych lub do opuszczenia przez organizm organizmu matki.

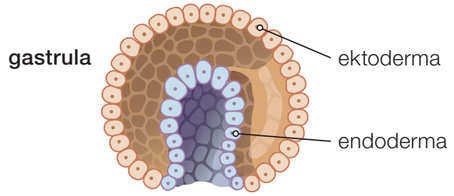
Przebieg rozwoju zarodkowego

Rozwój zarodkowy większości zwierząt składa się z czterech najważniejszych etapów: zapłodnienia, bruzdkowania, gastrulacji i organogenezy.



1. **Zapłodnienie** – połączenie się komórki jajowej z plemnikiem, w wyniku którego powstaje **zygota**. U zwierząt występuje typ zapłodnienia nazywany oogamią. Komórka jajowa (gameta żeńska) jest większa i nie ma zdolności ruchu. Plemnik (gameta męska) jest mniejszy i ma zdolność ruchu.

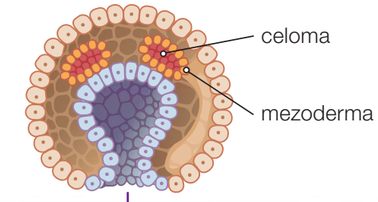
2. **Bruzdkowanie** – wielokrotne podziały mitotyczne zygoty. Kolejne podziały mitotyczne prowadzą do powstania **moruli** (12–16 blastomerów), a później **blastuli** (u ssaków zwanej blastocystą) – wypełnionego płynem pęcherzyka, którego ściana jest zbudowana z pojedynczej warstwy komórek.



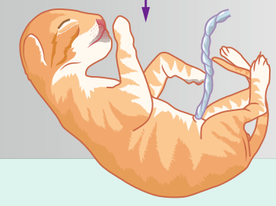
3. **Gastrulacja** – proces formowania się **listków zarodkowych**, czyli warstw komórek, z których tworzą się tkanki.

   - Najpierw tworzą się dwa listki zarodkowe – zewnętrzna **ektoderma** i wewnętrzna **endoderma**.

   - U większości grup zwierząt w trakcie rozwoju zarodka pojawia się także trzeci listek zarodkowy – **mezoderma**. W jej obrębie tworzy się **celoma**, czyli wtórna jama ciała.



4. **Organogeneza** – powstawanie tkanek, narządów i układów narządów.



Związek budowy jaja ze środowiskiem życia

Składanie jaj to jeden ze sposobów rozmnażania się zwierząt. Budowa jaj jest ściśle powiązana z warunkami środowiska, w którym rozwija się zarodek.

Jaja składane w środowisku wodnym

W środowisku wodnym dostęp do wody jest nieograniczony, a zarodki nie są narażone na wysychanie. Z tego względu jaja zwierząt żyjących w środowisku wodnym są liczne i zwykle mają miękkie osłony. Przykładem są jaja większości płazów i ryb.

U płazów jaja są otoczone galaretowatą osłonką jajową.

Jaja składane w środowisku lądowym

W środowisku lądowym zarodek jest narażony na wysychanie i zmienne warunki atmosferyczne. Jajo musi zapewniać skuteczną ochronę – to dlatego w jego budowie występują twarda osłona, zapasy substancji odżywczych oraz struktury umożliwiające wymianę gazową. Przykładem są jaja ptaków i części gadów (np. żółwie lądowe).

Jaja ptaków są okryte twardą, wapienną skorupką.

Rozwój młodocianych osobników

U zwierząt występują dwa typy rozwoju młodocianych osobników: rozwój prosty i rozwój złożony.

Rozwój prosty

W **rozwoju prostym** młody osobnik jest bardzo podobny do osobnika dorosłego i prowadzi zbliżony do niego tryb życia. Rozwój młodocianego osobnika polega na wzroście organizmu i dojrzewaniu jego narządów rozrodczych. Ten typ rozwoju przechodzą zwierzęta żyworodne, ślimaki lądowe, a także większość pajęczaków i część ryb, a także gady, ptaki i ssaki.

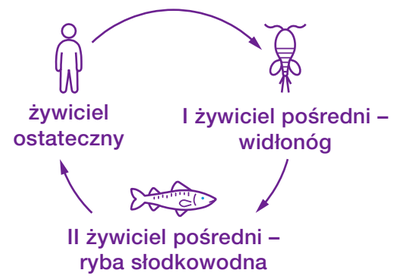
Rozwój złożony

W **rozwoju złożonym** z jaj wylęgają się formy młodociane – larwy – które często różnią się od osobnika dorosłego wyglądem i trybem życia. Rozwojem złożonym charakteryzują się pasożytnicze płazińce, większość ryb, a także morskie skorupiaki, owady i płazy.

Rozwój złożony zwierząt pasożytniczych

Zwierzęta pasożytnicze mogą przechodzić rozwój złożony, w którym występuje kilka różnych postaci larwalnych. Osiąganie kolejnych stadiów rozwoju wiąże się ze zmianą żywiciela lub środowiska życia. Wyróżnia się dwa rodzaje żywicieli:

- **żywiciel pośredni**, czyli organizm, w którym przebywa postać larwalna pasożyta lub postać niedojrzała płciowo,
- **żywiciel ostateczny**, czyli organizm, w którym przebywa postać dorosła pasożyta.



W cyklu rozwojowym bruzdogłowca szerokiego występuje dwóch żywicieli pośrednichi jeden żywiciel ostateczny.

Przypomnij sobie

Rozwój złożony stawonogów

U stawonogów rozwój złożony może zachodzić z przeobrażeniem niezupełnym lub z przeobrażeniem zupełnym.

Rozwój z przeobrażeniem niezupełnym

W rozwoju złożonym z przeobrażeniem niezupełnym występują dwa podobne do siebie stadia rozwojowe: **larwa** oraz postać dorosła – **imago**. Larwy różnią się od postaci dorosłej jedynie szczegółami budowy, np. rozmiarem ciała, brakiem rozwiniętych skrzydeł.

Rozwój z przeobrażeniem niezupełnym jest charakterystyczny m.in. dla ważek i prostoskrzydłych. Larwy tych zwierząt opuszczające osłony jajowe różnią się od postaci dorosłej jedynie szczegółami budowy.

Rozwój konika polnego.

Rozwój z przeobrażeniem zupełnym

W rozwoju złożonym z przeobrażeniem zupełnym występują trzy stadia rozwojowe: **larwa**, **poczwarka** i **imago**. Larwa znacznie rożni się od postaci dorosłej wyglądem i trybem życia. Przebudowa organizmu do postaci dorosłej odbywa się w stadium poczwarki.

Rozwój z przeobrażeniem zupełnym jest charakterystyczny m.in. dla chrząszczy i motyli. Ich larwy nie są podobne do postaci dorosłych.

Rozwój niepylaka apollo.

Polecenia kontrolne

1. Porównaj rozmnażanie płciowe zwierząt z rozmnażaniem bezpłciowym zwierząt pod względem zmienności genetycznej, która występuje wśród potomstwa.
2. Omów sposoby bezpłciowego rozmnażania się zwierząt.
3. Wyjaśnij różnice między:
   a. zapłodnieniem zewnętrznym a zapłodnieniem wewnętrznym,
   b. rozwojem prostym a rozwojem złożonym.

12.2. Budowa i funkcje męskich narządów rozrodczych

Ważne w tym temacie!

- budowa i funkcje męskich narządów rozrodczych
- budowa plemnika i przebieg spermatogenezy

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.

Budowa męskiego układu rozrodczego

W budowie męskiego układu rozrodczego wyróżnia się:

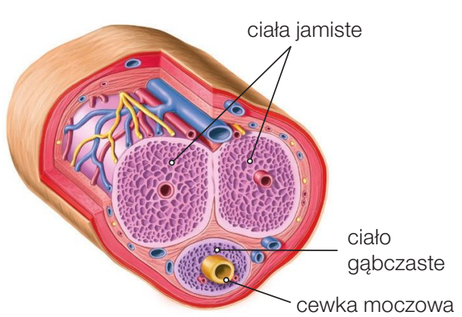
- **narządy płciowe zewnętrzne** – prącie i mosznę,
- **narządy płciowe wewnętrzne** – jądra, najądrza, nasieniowody, przewody wytryskowe, cewkę moczową i gruczoły dodatkowe (pęcherzyki nasienne, prostatę i gruczoły opuszkowo-cewkowe).

Prącie

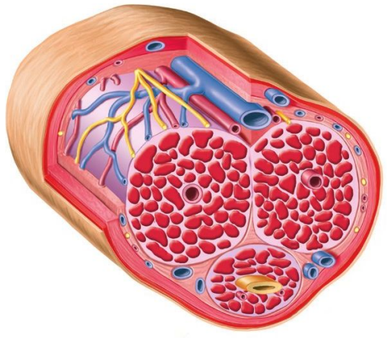
Prącie (penis) jest narządem kopulacyjnym, który składa się z trzonu i żołędzi. **Trzon prącia** ma kształt wydłużonego walca, jednym końcem przytwierdzonego do kości łonowej. Drugi koniec trzonu jest zakończony stożkowatą **żołędzią**. Na szczycie żołędzi znajduje się ujście cewki moczowej. Skóra pokrywająca 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).



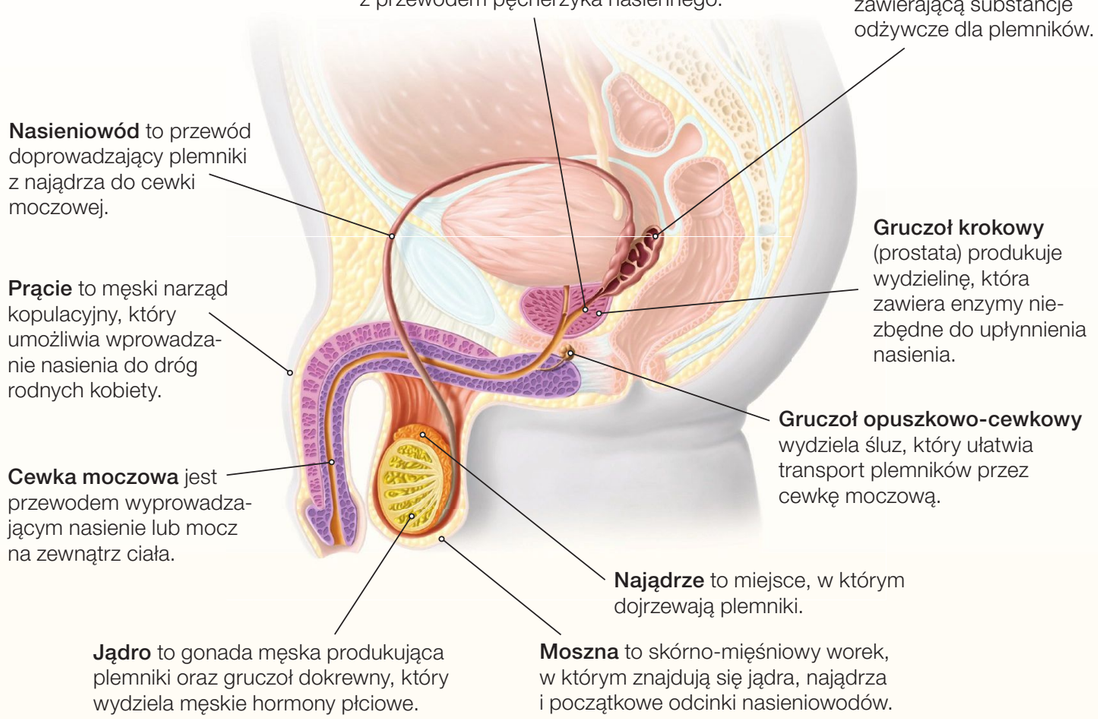
W stanie spoczynku prącia ciała jamiste i ciało gąbczaste nie są wypełnione krwią.



Podczas erekcji ciała jamiste i ciało gąbczaste wypełniają się krwią, przez co prącie staje się sztywne.

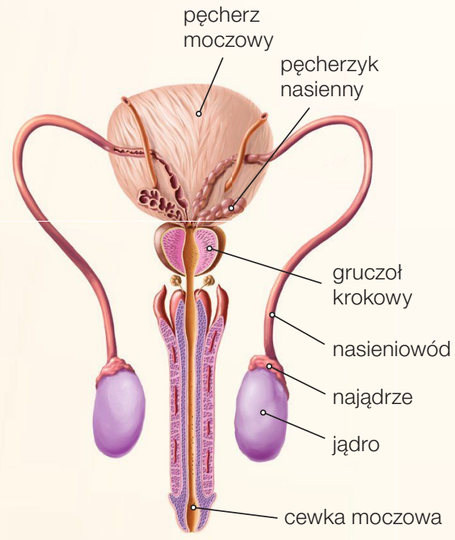
Męski układ rozrodczy

Główne funkcje męskich narządów rozrodczych to produkcja i odżywianie plemników, magazynowanie plemników oraz wprowadzenie plemników do dróg rodnych kobiety.



Etapy wytwarzania i transportu plemników

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 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

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 (jest ona niższa o ok. 2,5–4°C od temperatury ciała). Ponadto w mosznie znajduje się błona kurczliwa, która jest zbudowana z mięśni gładkich. Jej skurcz powoduje podciąganie jąder w stronę podbrzusza, co chroni je przed wychłodzeniem.

Jądra

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. Funkcją jąder jest wytwarzanie plemników w procesie spermatogenezy i wydzielanie androgenów – męskich hormonów płciowych.

Głównym męskim hormonem płciowym jest **testosteron**, który pełni wiele funkcji:

- pobudza spermatogenezę,
- stymuluje przyrost masy mięśniowej,
- pobudza wydzielanie łoju przez gruczoły łojowe w skórze (co może nasilać trądzik),
- jest odpowiedzialny za wykształcenie i podtrzymanie męskich cech płciowych.

Jądra są zbudowane z sieci **kanalików nasiennych**, w których powstają plemniki. Kanaliki są wysłane nabłonkiem plemnikotwórczym. W jego skład wchodzą **komórki płciowe**, znajdujące się na różnym etapie dojrzewania, oraz **komórki podporowe** (komórki Sertoliego), których rolą jest odżywianie komórek płciowych. Między kanalikami nasiennymi znajdują się komórki Leydiga [wym. lejdiga], które produkują androgeny.

Wnętrze kanalika nasiennego (obraz spod SEM).

Najądrza

Najądrza są układem krętych przewodów, w których plemniki najpierw osiągają pełną dojrzałość, a następnie są magazynowane. Najądrza przylegają do jąder i są połączone z nasieniowodami.

Nasieniowody

Nasieniowody to przewody o długości ok. 50 cm, które służą do szybkiego transportu nasienia do cewki moczowej. W początkowym odcinku nasieniowodu są magazynowane 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.

Cewka moczowa

Cewka moczowa to wspólny odcinek układu moczowego i męskiego układu rozrodczego. Z cewki moczowej nasienie wydostaje się na zewnątrz organizmu.

Podział męskich cech płciowych

Męskie cechy płciowe		
narządy płciowe wewnętrzne	**narządy płciowe zewnętrzne**	**pozostałe cechy**
• jądra, najądrza, nasieniowody, przewody wytryskowe, cewka moczowa, gruczoły dodatkowe	• prącie, moszna	• zarost na twarzy, szerokie ramiona, wąskie biodra, niski głos

Gruczoły dodatkowe

Do gruczołów dodatkowych należą: pęcherzyki nasienne, prostata i gruczoły opuszkowo-cewkowe.

Pęcherzyki nasienne to gruczoły parzyste. Ich wydzielina zawiera m.in. białka zasadowe, które zobojętniają kwaśne środowisko pochwy, i fruktozę, która jest substratem energetycznym dla plemników.

Gruczoł krokowy (prostata, stercz) jest nieparzystym narządem położonym tuż pod pęcherzem moczowym. Prostatę przebijają cewka moczowa i przewody wytryskowe. Wydzielina gruczołu krokowego zawiera enzymy hydrolityczne, które upłynniają nasienie, ułatwiając plemnikom poruszanie się.

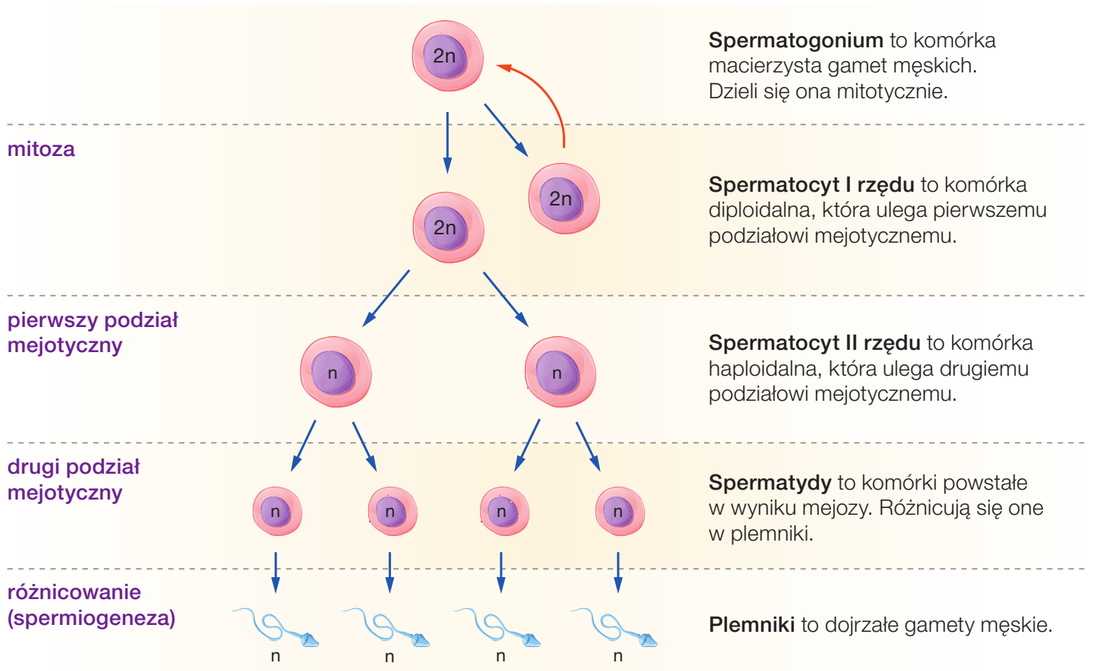
Parzyste **gruczoły opuszkowo-cewkowe** wytwarzają śluz o zasadowym odczynie. Jego funkcją jest zobojętnienie kwaśnego pH cewki moczowej i ułatwienie przepływu nasienia.

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**. Spermatogonia 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 komórka potomna przekształca się w **spermatocyt I rzędu**. Spermatocyt I rzędu przechodzi następnie pierwszy podział mejotyczny, w wyniku którego powstają dwa **spermatocyty II rzędu** o zredukowanej liczbie chromosomów (1n = 23). Następnie spermatocyty II rzędu przechodzą drugi podział mejotyczny – powstają wówczas **spermatydy**, czyli niedojrzałe męskie komórki płciowe. Komórki te różnicują się w **plemniki** (dojrzałe gamety męskie).

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,
- witki.

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 zarodka płci męskiej.

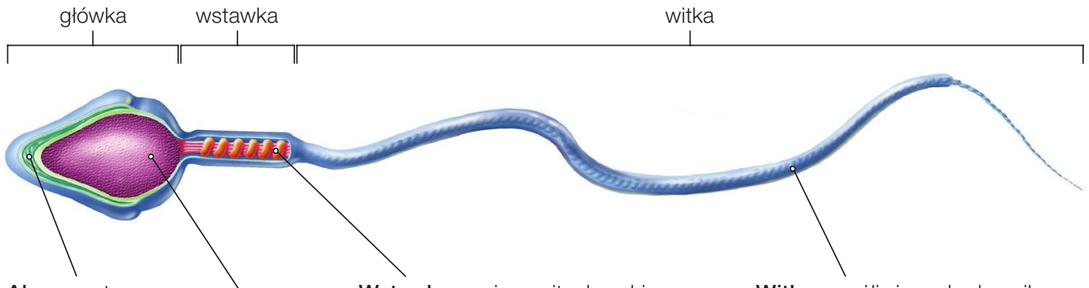
Nasienie

Nasienie (sperma) jest gęstym, nieprzezroczystym, lepkim płynem o białawym zabarwieniu. W skład nasienia wchodzą plemniki oraz płyn nasienny, który jest mieszaniną wydzielin gruczołów dodatkowych, oraz niewielka ilość limfocytów, granulocytów i komórek nabłonka wyścielającego drogi wyprowadzające.

Nasienie wydalone w czasie wytrysku określa się mianem **ejakulatu**. Jego prawidłowa objętość wynosi ≥ 1,4 ml oraz zawiera ≥ 39 mln plemników. Zbyt mała liczba plemników w ejakulacie lub ich nieprawidłowa budowa może być powodem bezpłodności u mężczyzn. Przyczyną takich nieprawidłowości są m.in. niedożywienie, spożywanie dużych ilości alkoholu, naświetlanie promieniami jonizującymi, a także działanie zbyt wysokiej temperatury.

Plemniki znajdujące się w ejakulacie nie mają zdolności zapłodnienia oocytu II rzędu. Zyskują ją w procesie **kapacytacji** (uzdatniania), gdy przechodzą przez drogi rodne kobiety (→ s. 436).

Budowa plemnika



Polecenia kontrolne

1. Wymień męskie narządy płciowe wewnętrzne.
2. Opisz funkcje poszczególnych gruczołów dodatkowych w produkcji składników nasienia.
3. Przedstaw, jaką rolę odgrywa testosteron w organizmie mężczyzny.
4. Wykaż związek między budową plemnika a pełnioną przez niego funkcją.
5. Przedstaw znaczenie mejozy dla zróżnicowania genetycznego potomstwa i zachowania stałej dla danego gatunku liczby chromosomów.
6. Podaj różnicę między spermatogonium a plemnikiem.
7. Rozstrzygnij, który podział zachodzący podczas spermatogenezy – mitoza czy mejoza – zapewnia różnorodność genetyczną potomstwa. Odpowiedź uzasadnij.

12.3. Budowa i funkcje żeńskich narządów rozrodczych

Ważne w tym temacie!

- budowa i funkcje żeńskich narządów rozrodczych
- budowa oocytu II rzędu i przebieg oogenezy
- przebieg i regulacja cyklu menstruacyjnego

Żeński układ rozrodczy odpowiada m.in. za:

- produkcję gamet żeńskich – komórek jajowych,
- stworzenie w trakcie ciąży warunków do rozwoju zarodka i płodu oraz wydanie na świat potomstwa podczas porodu,
- wydzielanie żeńskich hormonów płciowych – estrogenów i progesteronu.

Budowa żeńskiego układu rozrodczego

W żeńskim układzie rozrodczym wyróżnia się:

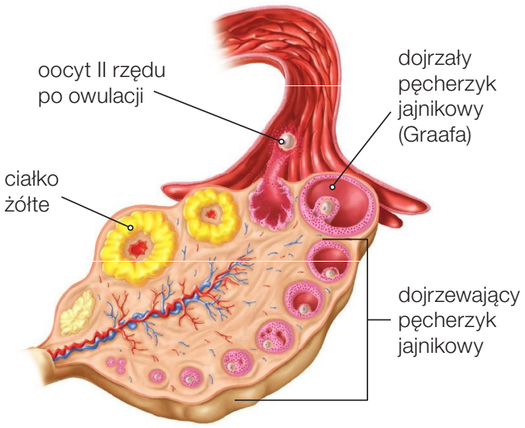
- **narządy płciowe zewnętrzne** – srom,
- **narządy płciowe wewnętrzne** – jajniki, jajowody, macicę i pochwę.

Srom

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.

Jajniki

Jajniki to parzyste narządy, które są **gonadami żeńskimi** odpowiedzialnymi za produkcję gamet żeńskich oraz **gruczołami dokrewnymi** wydzielającymi żeńskie hormony płciowe – estrogeny i progesteron.



Budowa wewnętrzna jajnika i jego zmiany podczas cyklu miesiączkowego (→ s. 433).

Podział żeńskich cech płciowych

Żeńskie cechy płciowe		
narządy płciowe wewnętrzne	narządy płciowe zewnętrzne	pozostałe cechy
• jajniki, jajowody, macica, pochwa	• srom	• rozwinięte gruczoły mlekowe, szerokie biodra, wąskie ramiona, wysoki głos

Jajowody

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 się poruszają. Strzępki obejmują jajnik, jednak nie są z nim bezpośrednio połączone. Ich zadaniem jest wychwycenie oocytu II rzędu uwolnionego podczas owulacji i przetransportowanie go w głąb jajowodu – w kierunku macicy. Ściana jajowodu jest wysłana orzęsionym nabłonkiem i zawiera mięśnie gładkie, które mogą wykonywać ruchy perystaltyczne. Taka budowa ułatwia przesuwanie żeńskich komórek płciowych (lub zarodka) w stronę macicy.

Macica

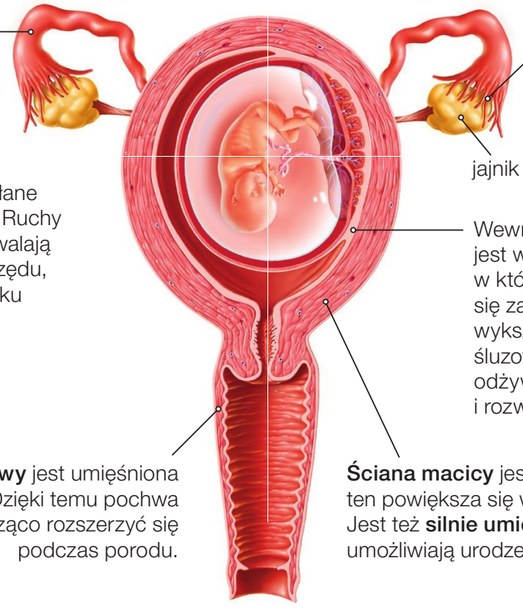
Macica jest miejscem, gdzie rozwijają się zarodek i płód podczas ciąży. Składa się ona z rozszerzonego trzonu, cieśni i wąskiej szyjki, która łączy się z pochwą. W ścianie macicy znajduje się gruba warstwa mięśni gładkich, których skurcze odgrywają kluczową rolę podczas porodu. Wnętrze macicy wyścieła 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

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 glikogen, którego produkty rozkładu są przekształcane w kwas mlekowy przez żyjące w pochwie bakterie symbiotyczne. Powoduje to powstanie kwaśnego odczynu we wnętrzu pochwy, co chroni macicę przez rozwojem drobnoustrojów chorobotwórczych i jest elementem odporności nieswoistej.

Przystosowania w budowie żeńskich narządów rozrodczych do ciąży i porodu

Wnętrze jajowodu jest wysłane **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. Dopóki nie zostanie wykształcone łożysko, komórki błony śluzowej macicy wydzielają składniki odżywcze niezbędne do wzrostu i rozwoju zarodka.

Ściana pochwy jest umięśniona i rozciągliwa. Dzięki temu pochwa może znacząco rozszerzyć się podczas porodu.

Ściana macicy jest rozciągliwa, ponieważ narząd ten powiększa się wraz z rosnącym płodem. Jest też **silnie umięśniona** – jej skurcze umożliwiają urodzenie dziecka.

Żeński układ rozrodczy

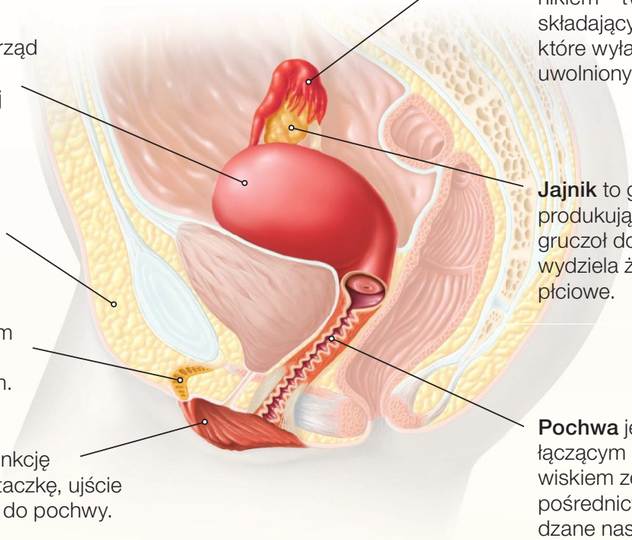
Najważniejsze funkcje żeńskiego układu rozrodczego to wytwarzanie gamet żeńskich oraz stwarzanie dogodnych warunków do zapłodnienia gamet, a następnie do rozwoju zarodka i płodu.

Macica to umięśniony narząd wysłany błoną śluzową, w którym zachodzi rozwój zarodka, a potem płodu.

Wzgórek łonowy to skupienie tkanki tłuszczowej nad spojeniem łonowym.

Łechtaczka jest narządem odgrywającym rolę w pobudzeniu seksualnym.

Wargi sromowe pełnią funkcję ochronną – osłaniają łechtaczkę, ujście cewki moczowej i wejście do pochwy.



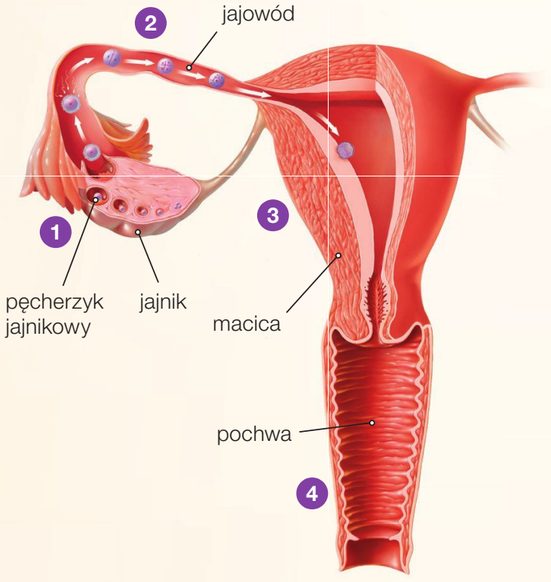
Jajowód to przewód łączący jajnik z macicą. Jego koniec nie jest ściśle połączony z jajnikiem – tworzy lejek jajowodu składający się ze strzępek, które wyłapują oocyt II rzędu uwolniony podczas owulacji.

Jajnik to gonada żeńska produkująca gamety oraz gruczoł dokrewny, który wydziela żeńskie hormony płciowe.

Pochwa jest przewodem łączącym macicę ze środowiskiem zewnętrznym. Za jej pośrednictwem jest wprowadzane nasienie. Ponadto przez pochwę wydostaje się płód podczas porodu i jest usuwana krew menstruacyjna.

Etapy wytwarzania i transportu żeńskich komórek płciowych

1. W jajnikach znajdują się pęcherzyki jajnikowe – każdy z nich 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 efekcie zapłodnienia 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 dziecko zostaje wydane na świat podczas **porodu**.



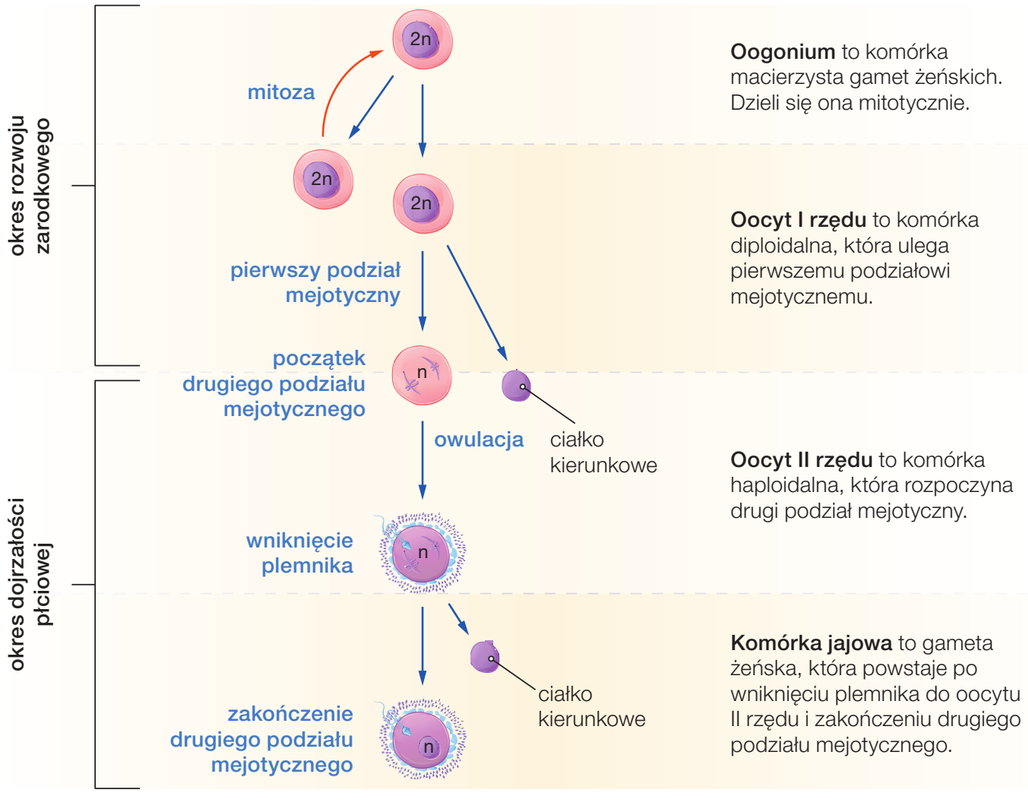
Powstawanie komórek jajowych

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 (→ s. 434).

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 komórka przekształca się w **oocyt I rzędu**, który jest otoczony pojedynczą warstwą komórek i tworzy pierwotny pęcherzyk jajnikowy.

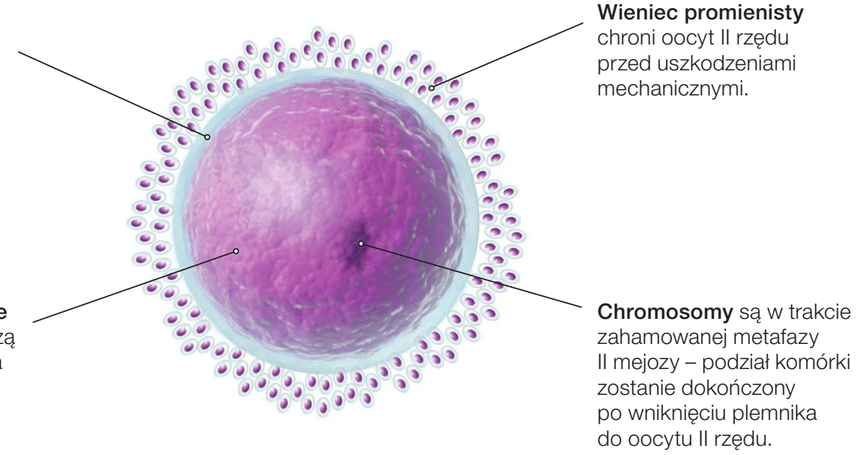
Jeszcze przed urodzeniem się dziewczynki wszystkie oocyty I rzędu rozpoczynają podział mejotyczny, jednak go nie kończą – zatrzymuje się on w profazie I podziału. Dziewczynka rodzi się z ustaloną liczbą oocytów I rzędu powstałych w życiu płodowym. Wznowienie mejozy następuje dopiero po uzyskaniu dojrzałości płciowej i rozpoczęciu cyklu miesiączkowego. Średnio co 28 dni dojrzewa i pęka jeden pęcherzyk jajnikowy (w ciągu życia kobiety dojrzewa ok. 420–480 pęcherzyków jajnikowych). Dochodzi wówczas do dokończenia I podziału mejotycznego, w wyniku którego powstają dwie komórki: **oocyt II rzędu** i ciałko kierunkowe. Oocyt II rzędu rozpoczyna drugi 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 drugiego 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.



Porównanie oogenezy ze spermatogenezą

Podczas **oogenezy** podział mejotyczny zostaje dwukrotnie zatrzymany. 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 trzy, czasem dwa ciałka kierunkowe[1], 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 informacją genetyczną.

Porównanie przebiegu oogenezy z przebiegiem spermatogenezy

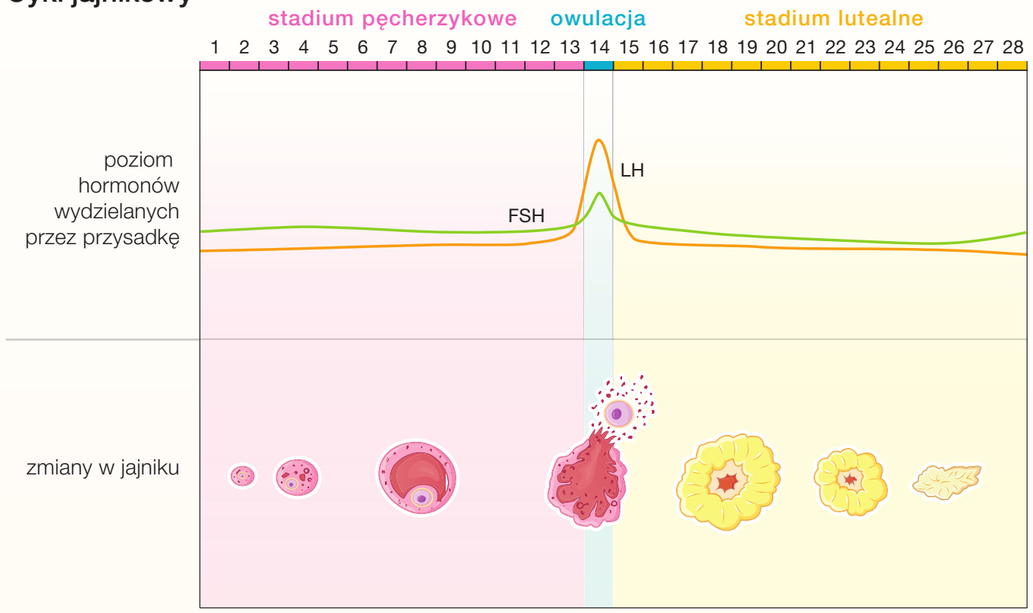
Porównywana cecha	Oogeneza	Spermatogeneza
Miejsce zachodzenia	jajniki	jądra
Przebieg mejozy	podział mejotyczny zostaje dwukrotnie zatrzymany (wznowienia podczas owulacji i zapłodnienia)	ciągły
Liczba i rodzaj powstałych gamet	1 komórka jajowa	4 plemniki
Liczba chromosomów w gametach	1n = 23 chromosomy	1n = 23 chromosomy

[1] Trzy ciałka kierunkowe powstają wówczas, gdy pierwsze ciałko kierunkowe nie degeneruje po powstaniu, tylko wchodzi w mejozę II i dzieli się na kolejne dwa ciałka kierunkowe.

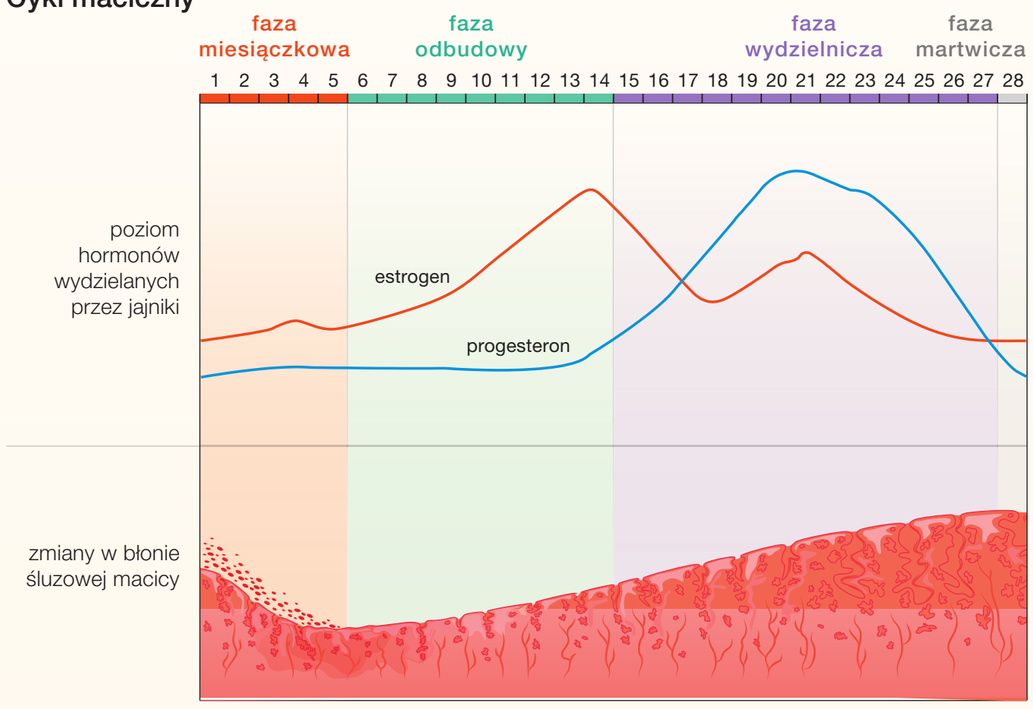
Cykl miesiączkowy

Przebieg cyklu miesiączkowego jest kontrolowany przez hormony przysadki (LH i FSH), które wpływają na pracę jajników (cykl jajnikowy), oraz przez hormony płciowe – estrogeny i progesteron – które powodują zmiany w błonie śluzowej macicy (cykl maciczny).

Cykl jajnikowy



Cykl maciczny



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, hormonów przysadki i hormonów jajnikowych.

Cykl jajnikowy

Cykl jajnikowy jest kontrolowany przez hormony przysadki (LH i FSH) 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 **dojrzały pęcherzy jajnikowy**, 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 jajnikowego oraz uwolnienie z jajnika oocytu II rzędu wraz z osłonką przejrzystą i wieńcem promienistym. Owulacja następuje w wyniku współdziałania hormonów przysadki wskutek nagłego wzrostu ich stężenia. Jeśli w ciągu 24–48 godz. nie dojdzie do zapłodnienia, to oocyt ulega degradacji.

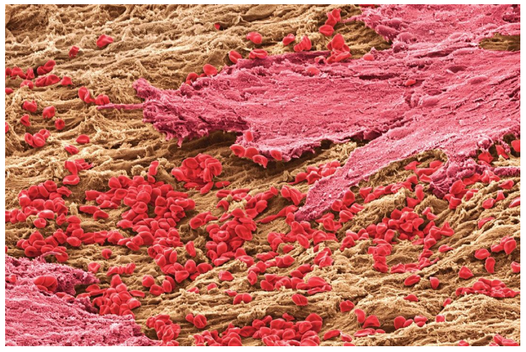
Cykl jajnikowy zamyka **stadium lutealne** (15.–28. dzień cyklu). Podczas niego pęknięty w trakcie owulacji pęcherzyk jajnikowy przekształca się w **ciałko żółte** wydzielające **progesteron**. Hormon ten jest konieczny do utrzymania ewentualnej ciąży. Jeśli dojdzie do zapłodnienia, to ciałko żółte przekształca się w ciałko żółte ciążowe, a jeśli nie dojdzie do zapłodnienia – w ciałko białawe.

Cykl maciczny

Cykliczne zmiany w błonie śluzowej macicy (endometrium) są skutkiem zmian poziomu estrogenów i progesteronu – hormonów wydzielanych przez jajniki. W **cyklu maciczny** 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 skutkuje skurczem 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 się oddziela, a naczynia krwionośne się rozkurczają – wypływająca z nich krew wraz z martwą tkanką jest usuwana na zewnątrz przez pochwę.

Dojrzały pęcherzyk jajnikowy (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. Rozrost endometrium stymulują estrogeny, które są wytwarzane przez rozwijające się w tym czasie pęcherzyki jajnikowe. Faza odbudowy kończy się w momencie owulacji i pęknięcia dojrzałego pęcherzyka jajnikowego.

Podczas **fazy wydzielniczej** (15.–27. dzień cyklu) pęknięty pęcherzyk jajnikowy 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 – dzięki takiej budowie jest gotowa do przyjęcia rozwijającego się zarodka i jego zagnieżdżenia, czyli **implantacji**. Jeśli dojdzie do implantacji, to ciałko żółte przekształca się 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. W efekcie rozpoczynają się menstruacja i kolejny cykl miesiączkowy.

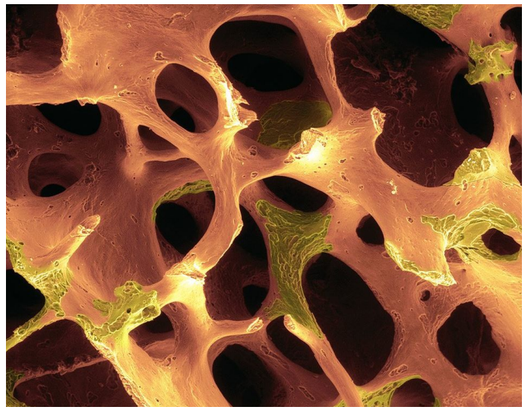
Menopauza

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,

Ponadto menopauza może wiązać się ze zwiększonym ryzykiem wielu chorób, m.in. osteoporozy, cukrzycy typu II i chorób układu krążenia.

Endometrium w fazie wydzielniczej (obraz spod SEM) z widoczną wydzieliną gruczołów macicznych.



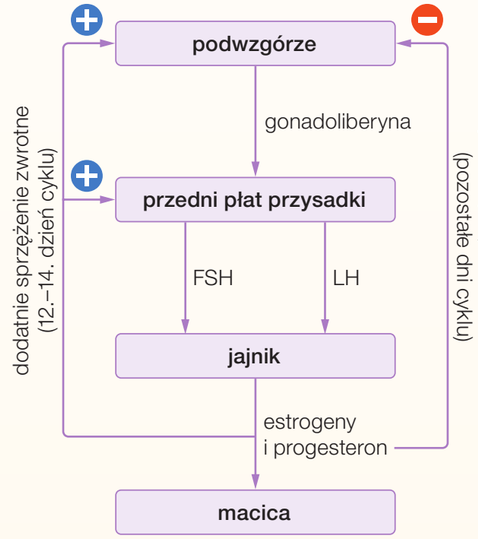
Podczas menopauzy spada poziom estrogenów, które pobudzają odkładanie wapnia w kościach, co zwiększa ryzyko osteoporozy (obraz spod SEM).

Regulacja hormonalna cyklu miesiączkowego

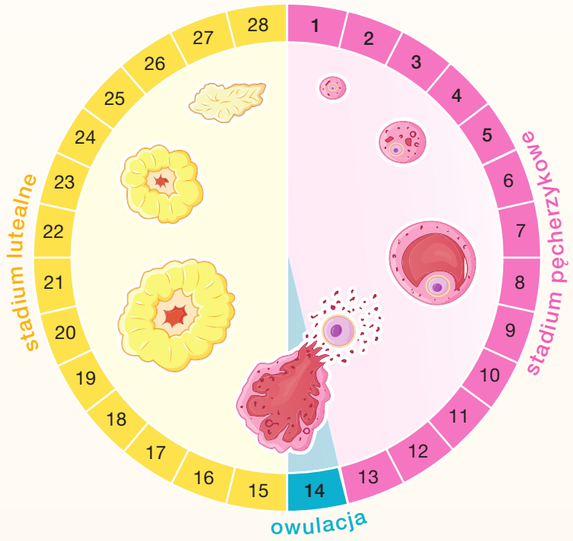
Cykl miesiączkowy kontrolują hormony wydzielane przez podwzgórze (gonadoliberyna), przysadkę (FSH i LH) oraz jajniki (estrogeny i progesteron).

Przebieg regulacji hormonalnej

1. W **stadium pęcherzykowym** stężenie FSH jest wysokie, co stymuluje rozwój pęcherzyków jajnikowych i pobudza wytwarzanie estrogenów. Z kolei estrogeny pobudzają wydzielanie LH na zasadzie sprzężenia zwrotnego dodatniego (12.–14. dzień cyklu miesiączkowego).
2. W **fazie owulacji** stężenie FSH i LH jest maksymalne, co prowadzi do pęknięcia dojrzałego pęcherzyka jajnikowego i uwolnienia oocytu II rzędu.
3. W **stadium lutealnym** następują obniżenie stężenia FSH i LH i przekształcenie pękniętego pęcherzyka jajnikowego w ciałko żółte wytwarzające progesteron. Jeśli nie dojdzie do zapłodnienia, to ciałko żółte zanika, a stężenie progesteronu gwałtownie spada – rozpoczynają się wówczas 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 jako 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.

12.4. Rozwój człowieka. Metody antykoncepcji

Ważne w tym temacie!

- przebieg ciąży i funkcje łożyska
- wpływ czynników wewnętrznych i zewnętrznych na przebieg ciąży
- znaczenie badań prenatalnych
- etapy ontogenezy człowieka
- skutki wydłużającego się okresu starości

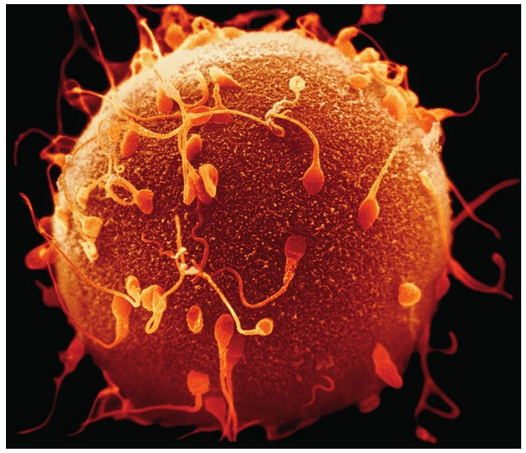
Rozwój osobniczy – **ontogeneza** – obejmuje wszystkie zmiany zachodzące od powstania pierwszej komórki nowego organizmu aż do jego śmierci. Ontogenezę dzieli się na dwa etapy:

- **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.



Plemniki otaczające oocyt II rzędu (obraz spod SEM). Z ok. 250 mln plemników znajdujących się w ejakulacie do miejsca zapłodnienia dociera maksymalnie 200.

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.

Zapłodnienie

Proces zapłodnienia obejmuje:

- wniknięcie plemnika do oocytu II rzędu,
- zakończenie drugiego 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 się zlewają, a jądro plemnika dostaje się do wnętrza żeńskiej komórki rozrodczej. Po połączeniu się gamet następuje dokończenie drugiego podziału mejotycznego – powstają dojrzała komórka jajowa oraz drugie ciałko kierunkowe. Twardnieje również osłonka przejrzysta, co uniemożliwia **polispermię**, czyli wnikanie do jednej komórki jajowej więcej niż jednego plemnika. Haploidalne jądro plemnika łączy się z haploidalnym jądrem komórki jajowej. W efekcie z połączenia się obu jąder powstaje diploidalna **zygota**, która jest pierwszą komórką nowego organizmu.

Rozwój prenatalny

Rozwój prenatalny obejmuje dwa okresy: zarodkowy i płodowy.

Rozwój zarodkowy

Rozwój zarodkowy trwa przez pierwsze osiem tygodni ciąży i liczy się od chwili powstania zygoty do momentu wykształcenia się zawiązków wszystkich narządów. Obejmuje on bruzdkowanie, gastrulację i organogenezę.

1. **Bruzdkowanie** polega na wielokrotnych podziałach mitotycznych zygoty. Powstałe w ten sposób komórki to tzw. blastomery (skupienie 12–16 blastomerów nosi nazwę moruli). Zarodek w trakcie bruzdkowania wędruje przez jajowód i dociera do jamy macicy. Pod koniec bruzdkowania zarodek osiąga stadium **blastocysty** – jest zbudowany z pęcherzyka (trofoblastu) oraz ze znajdującego się wewnątrz skupiska komórek (czyli z węzła zarodkowego). Z **węzła zarodkowego** rozwija się ciało zarodka. W implantacji zarodka (zagnieżdżeniu się zarodka w macicy) kluczową rolę odgrywa trofoblast – wydziela on enzymy umożliwiające trawienie osłonki przejrzystej i wniknięcie zarodka w błonę śluzową macicy, a także uczestniczy w tworzeniu kosmówki. Implantacja następuje ok. szóstego dnia rozwoju, liczonego od momentu zapłodnienia.
2. **Gastrulacja** to etap rozwoju zarodkowego, podczas którego formują się listki zarodkowe: ektoderma, endoderma i mezoderma. To z nich powstaną wszystkie rodzaje tkanek i narządów.
3. **Organogeneza** to ostatni etap rozwoju zarodkowego. W jego trakcie powstają podstawowe narządy organizmu.

Rozwój płodowy

Rozwój płodowy trwa od ok. dziewiątego tygodnia od zapłodnienia do porodu. W tym czasie następuje intensywny wzrost i rozwój płodu, który ma na celu przygotowanie dziecka do życia poza organizmem matki.

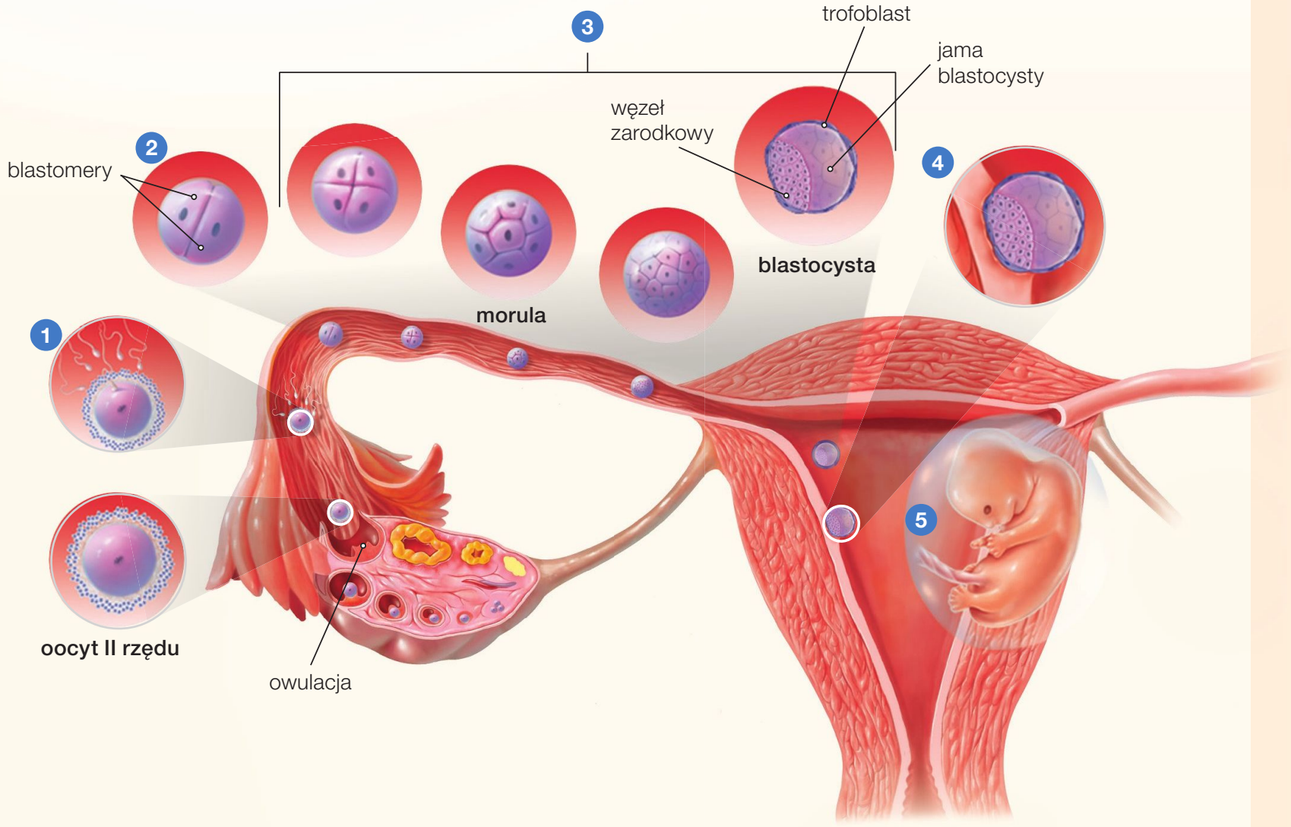
Pochodzenie wybranych tkanek i narządów ciała człowieka

Listek zarodkowy

ektoderma	mezoderma	endoderma
• naskórek i jego wytwory • układ nerwowy i narządy zmysłów • przysadka i szyszynka • szkliwo zębów • nabłonek części naturalnych otworów ciała (jamy ustnej, przedniej części jamy nosowej, odbytu)	• skóra właściwa • kości i chrząstki • tkanka tłuszczowa • mięśnie: szkieletowe, gładkie i serca • układy: moczowy, płciowy i krążenia (w tym krew i limfa)	• nabłonek układu oddechowego (z wyjątkiem przedniej części jamy nosowej) • nabłonek przewodu pokarmowego (z wyjątkiem jamy ustnej i odbytu) • wątroba, trzustka, grasica, tarczyca, przytarczyce, prostata

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 – rozpoczyna on bruzdkowanie. Powstają wówczas dwie identyczne komórki – **blastomery**.
3. Kolejne podziały mitotyczne 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 się dzielą, by razem z błoną śluzową macicy utworzyć łożysko i błony płodowe.
5. Około 22. dnia życia serce zarodka zaczyna bić. Pod koniec **drugiego miesiąca zarodek** ma ok. 3 cm długości, wykształcone zawiązki narządów, widoczne zarysy oczu i nosa, a także palców rąk i stóp.

Rozwój zarodkowy

6. Pod koniec **trzeciego miesiąca** płód ma ok. 10 cm długości oraz wykształcone układy nerwowy i mięśniowy. Reaguje na bodźce i porusza kończynami. Można już określić jego płeć.

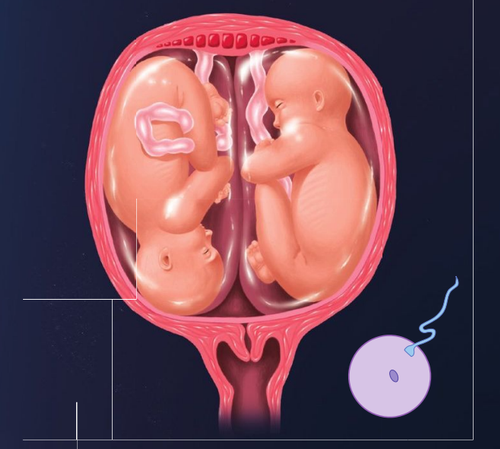
7. Pod koniec **szóstego miesiąca** płód ma ok. 30 cm długości. Jego szkielet kostnieje, a narządy wewnętrzne dojrzewają. Płuca zaczynają wytwarzać surfaktant (→ s. 176). Płód potrafi rozpoznać głos matki.

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.

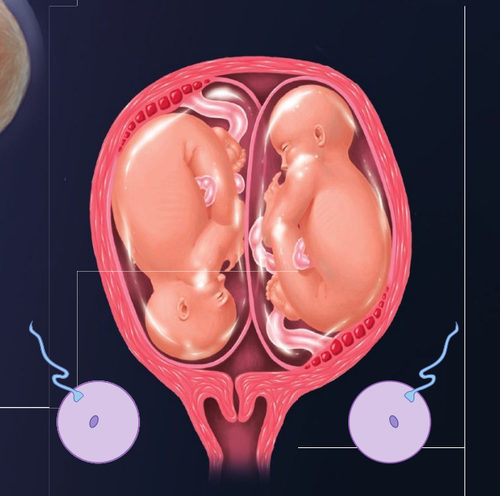
Rozwój płodowy

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.



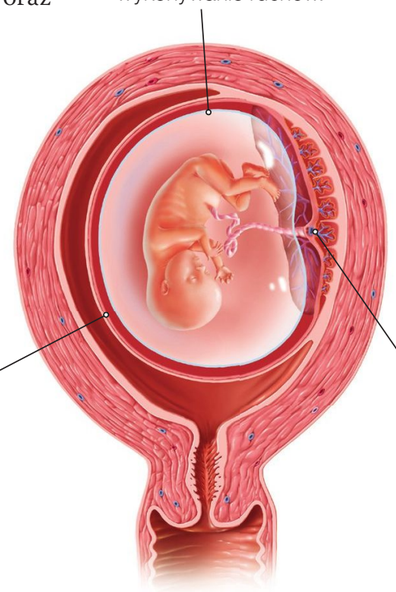
Bliźnięta dwujajowe powstają z dwóch różnych zygot.

Błony płodowe człowieka

Od ok. 8. 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

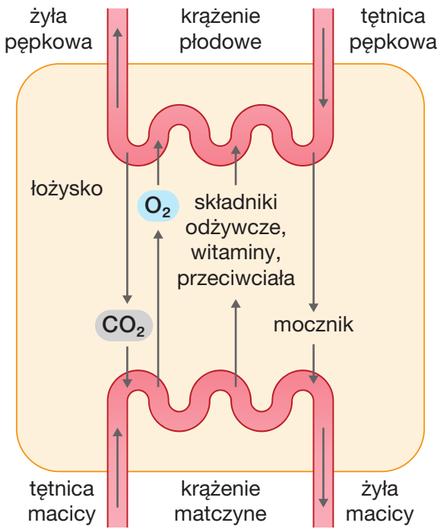
Łożysko jest wspólnym narządem matki i płodu. Składa się z dwóch części:

- **płodowej**, która jest rozbudowaną kosmówką,
- **matczynej**, która jest zmodyfikowaną błoną śluzową macicy.

Łożysko osiąga pełnię rozwoju 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.

Funkcje łożyska

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 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.



Wymiana substancji za pośrednictwem łożyska.

Działanie wybranych hormonów wydzielanych przez łożysko

Dowiedz się więcej

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.

Czynniki wewnętrzne

Do czynników wewnętrznych zalicza się m.in. choroby przewlekłe matki (np. cukrzycę, choroby tarczycy 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.

Czynniki zewnętrzne

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 z grupy B) może prowadzić do powstania u płodu wad układu nerwowego;

Podczas ciąży ważne jest zachowanie aktywności fizycznej, np. dzięki wykonywaniu specjalnych ćwiczeń.

- **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;
- **drobnoustroje chorobotwórcze**. Do szczególnie niebezpiecznych drobnoustrojów dla płodu, które przenikają przez barierę łożyskową, należą: wirus różyczki, wirus HIV 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.

Poród

Zakończeniem rozwoju prenatalnego jest poród. Zwykle następuje on mniej więcej 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.

1. **Faza pierwsza** trwa od rozpoczęcia akcji porodowej do pełnego rozwarcia szyjki macicy. Pojawiają się pierwsze skurcze porodowe, które stopniowo stają się coraz silniejsze i trwają coraz dłużej.
2. Podczas **fazy drugiej** następuje pęknięcie owodni i odejście wód płodowych. Intensywne skurcze macicy oraz mięśni brzucha przesuwają dziecko przez szyjkę macicy, a następnie przez pochwę na zewnątrz ciała. Od tej pory dziecko rozpoczyna życie poza organizmem matki.
3. **Faza trzecia** porodu trwa od przecięcia pępowiny do wydalenia łożyska i błon płodowych.

Po porodzie rozpoczyna się rozwój postnatalny dziecka.

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. Przykładami badań prenatalnych są badanie ultrasonograficzne (USG) i amniopunkcja.

Badanie ultrasonograficzne (USG)

Do badania ultrasonograficznego (USG) wykorzystuje się ultradźwięki, które odbijają się od płodu i innych struktur.

Podczas badania USG na podstawie obrazu uzyskanego na monitorze lekarz może m.in. ocenić prawidłowość rozwoju dziecka, określić jego wiek i płeć, a także sprawdzić, czy ciąża jest mnoga.

Amniopunkcja

Amniopunkcja polega na nakłuciu owodni i pobraniu wód płodowych zawierających złuszczone komórki płodu.

Komórki pobrane podczas amniopunkcji są poddawane różnorodnym badaniom, m.in. analizom DNA i kariotypu, które pozwalają wykryć choroby genetyczne lub zaburzenia chromosomowe.

Etapy rozwoju postnatalnego

Rozwój postnatalny człowieka trwa od momentu narodzin aż do śmierci. Składa się z ośmiu okresów.

1 Okres noworodkowy

(od narodzin do ok. 28. dnia życia)

Noworodek przystosowuje się do życia poza organizmem matki. Jest bezbronny – wymaga opieki, pielęgnacji i karmienia.

2 Okres niemowlęcy

(od początku 2. miesiąca życia do końca 1. roku życia)

Niemowlę stopniowo rozwija się ruchowo, pojawiają się u niego zęby mleczne oraz zaczyna wypowiadać pierwsze słowa.

3 Okres poniemowlęcy

(od początku 2. roku życia do końca 3. roku życia)

Dziecko uczy się wykonywania złożonych czynności, rozwijają się u niego mowa oraz zdolność kojarzenia i koncentracji uwagi.

4 Okres dzieciństwa

(od początku 4. roku życia do rozpoczęcia okresu dojrzewania)

Następuje szybki wzrost i wielostronny rozwój dziecka. Rozpoczynają się wymiana zębów mlecznych na zęby stałe i mineralizacja szkieletu.

5 Okres dojrzewania i dorastania

(od ok. 9.–11. roku życia do ok. 18.–20. 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.–20. roku życia do okresu przekwitania)

W tym okresie człowiek osiąga dojrzałość fizyczną, psychiczną i społeczną.

7 Okres przekwitania

(od ok. 45.–55. roku życia do ok. 60.–65. 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 do śmierci)

Następuje spadek odporności, sprawności fizycznej, a czasem też intelektualnej człowieka.

Dowiedz się więcej

Antykoncepcja. Niepłodność

Antykoncepcja

Antykoncepcja to metody mające na celu zapobieganie niezaplanowanemu poczęciu dziecka. Metody antykoncepcji można podzielić na naturalne i sztuczne. Sztuczne metody antykoncepcji dzieli się na trzy grupy: metody mechaniczne, metody chemiczne i metody hormonalne.

Metody antykoncepcji

naturalne
- Polegają na obserwacji zmian w ciele kobiety podczas cyklu miesiączkowego i powstrzymywaniu się od współżycia w dni płodne.

sztuczne

mechaniczne
- Polegają na umieszczeniu fizycznej bariery na drodze plemników do komórki jajowej.

chemiczne
- Polegają przede wszystkim na stosowaniu środków plemnikobójczych, które powodują uszkodzenie plemników.

hormonalne
- Polegają na przyjmowaniu przez kobietę syntetycznych odpowiedników ludzkich hormonów płciowych, co powoduje m.in. zahamowanie owulacji.

Porównanie wybranych metod antykoncepcji

Skuteczność metod antykoncepcyjnych wyraża się w procentach lub za pomocą wskaźnika Pearla [wym. perla]. Wskazuje on ile procent kobiet zachodzi w ciążę mimo prawidłowego stosowania danej metody. Im wyższy wskaźnik, tym większe prawdopodobieństwo zajścia w ciążę. Brak współżycia ma wskaźnik 0, a współżycie bez zabezpieczenia ma wskaźnik 85.

Metody naturalne

Nazwa metody	Sposób działania	Zalety	Wady	Wskaźnik Pearla
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 może zaburzać przebieg cyklu.	14–50
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 może zaburzać przebieg cyklu.	0,2–9

Metody sztuczne

Nazwa metody	Sposób działania	Zalety	Wady	Wskaźnik Pearla
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, lub powodować uczulenia.	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.	• Mogą powodować dużo skutków ubocznych. • Ich użycie jest możliwe tylko po konsultacji z lekarzem. • Przyjmowanie środków w postaci tabletek wymaga regularnego stosowania.	0,1–1

Niepłodność

Niepłodnością nazywa się niemożność poczęcia dziecka mimo regularnego współżycia bez zabezpieczenia w okresie dłuższym niż jeden rok. Szacuje się, że problem ten dotyczy ok. 15% par.

Najczęstsze przyczyny niepłodności:

u kobiet:
- zaburzenia hormonalne wpływające na owulację,
- zespół policystycznych jajników (→ s. 454),
- nieprawidłowa budowa narządów rozrodczych (np. niedrożność jajowodów) i przebyte stany zapalne tych narządów,
- nadużywanie alkoholu i palenie papierosów;

u mężczyzn:
- niska jakość nasienia, w tym: zbyt mała liczba plemników, nieprawidłowa budowa plemników, obniżona żywotność plemników.

Pary, które mają trudności z poczęciem dziecka, mogą skorzystać z pomocy medycznej w specjalistycznym ośrodku leczenia niepłodności.

Wyzwania i możliwości związane z okresem starzenia się

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. dzięki rozwiązywaniu krzyżówek i czytaniu 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. Wymień i opisz etapy rozwoju prenatalnego człowieka.
2. Podaj przykłady trzech substancji, które 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. Sformułuj dwa argumenty, które przemawiają za wykonywaniem badań prenatalnych.
7. Podaj nazwę okresu rozwoju postnatalnego, w którym obecnie się znajdujesz.
8. Podaj dwie różnice między naturalnymi metodami antykoncepcji a sztucznymi metodami antykoncepcji.
9. Zaproponuj wspólną aktywność nastolatków i seniorów, dzięki której młode osoby będą mogły czerpać z wiedzy i doświadczenia osób starszych.

12.5. Higiena i choroby układu rozrodczego

Ważne w tym temacie!

- choroby układu rozrodczego człowieka oraz znaczenie ich wczesnej diagnostyki
- choroby przenoszone drogą płciową i ich profilaktyka

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 szybkie 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

Aby uniknąć chorób układu rozrodczego, należy:

- dbać o czystość zewnętrznych narządów rozrodczych,
- unikać ryzykownych zachowań seksualnych,
- obserwować swoje ciało i konsultować z lekarzem wszelkie niepokojące objawy (np. zmiany na skórze okolic intymnych, ból tych okolic czy wydzielina z pochwy lub cewki moczowej),
- regularnie wykonywać badania kontrolne.

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

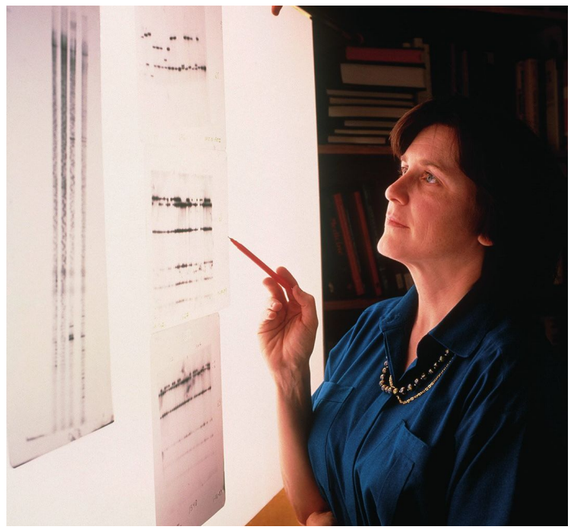
Badanie USG jamy brzusznej pozwala przyjrzeć się budowie narządów należących do układu rozrodczego, m.in. jajników i macicy u kobiet, a także prostaty u mężczyzn. Badanie ultrasonograficzne pozwala m.in. na wykrycie guzów nowotworowych czy wad rozwojowych.

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.

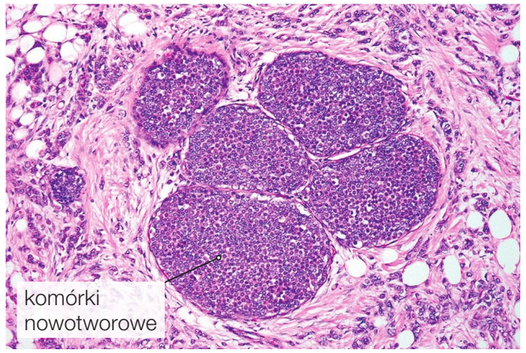


Zespół badawczy amerykańskiej genetyczki Mary-Claire King [wym. mery kler king] jako pierwszy odkrył powiązanie między mutacją w genie *BRCA1* a zwiększonym ryzykiem zachorowania na raka piersi.

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 45. roku życia oraz przez kobiety po 20. 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 określić rodzaj zmiany i dobrać właściwą terapię.



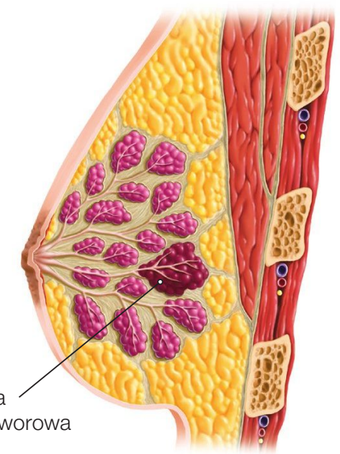
Komórki nowotworowe w piersi (obraz spod mikroskopu optycznego).

Przypomnij sobie

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.

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**.

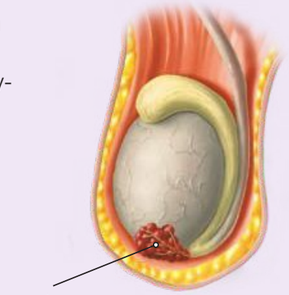
- **Przyczyny:** zmiany w materiale genetycznym, powodujące niekontrolowane dzielenie się komórek.
- **Czynniki ryzyka:**
  – uwarunkowania genetyczne,
  – wiek,
  – czynniki środowiskowe, m.in. niezdrowa dieta i stosowanie używek.

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.



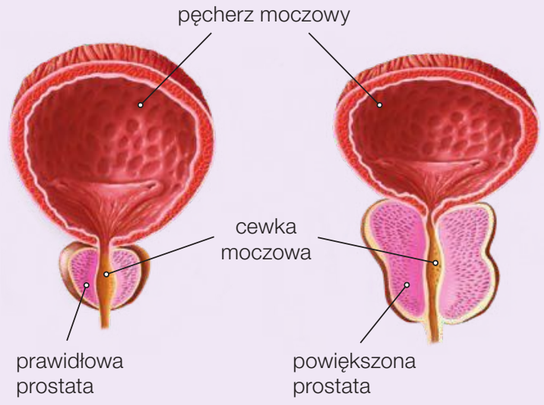
Jądro ze zmianą nowotworową.

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:** regularne wizyty u urologa i wykonywanie badań kontrolnych.
- **Objawy:** częste oddawanie małych ilości moczu, zmniejszony strumień oddawanego moczu, uczucie niecałkowitego opróżnienia pęcherza moczowego, problemy ze wzwodem i ból podczas ejakulacji.

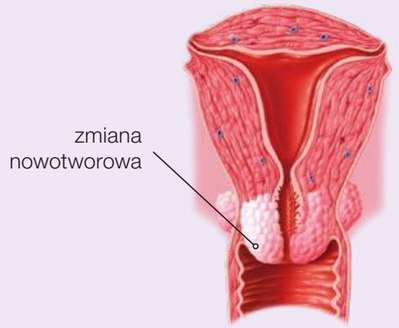
Diagnostyka:
– badanie *per rectum* (przez odbytnicę),
– badanie poziomu antygenu PSA (charakterystycznego m.in. dla raka gruczołu krokowego),
– USG jamy brzusznej.



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).

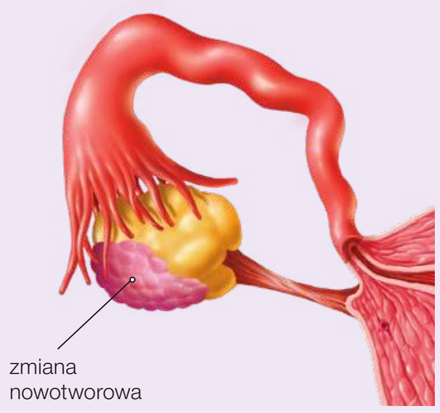
Szczepionka przeciwko HPV, przyjęta zwłaszcza przed rozpoczęciem życia seksualnego, skutecznie chroni przed zakażeniem wybranymi typami tego wirusa.

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.

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.

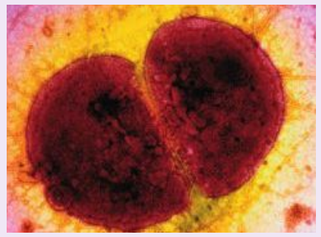
Krętek blady (obraz spod SEM).

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 podczas oddawania 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.



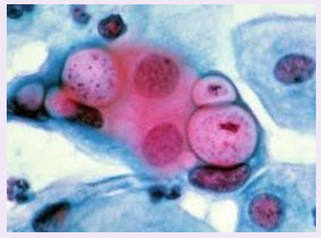
Dwoinka rzeżączki (obraz spod TEM).

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.



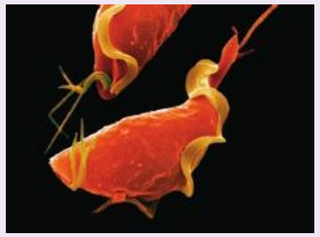
Chlamydia trachomatis (obraz spod mikroskopu świetlnego).

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.



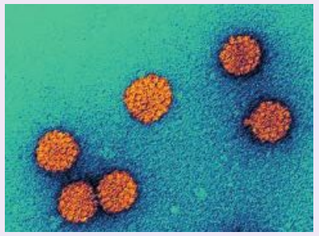
Rzęsistek pochwowy (obraz spod SEM).

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.



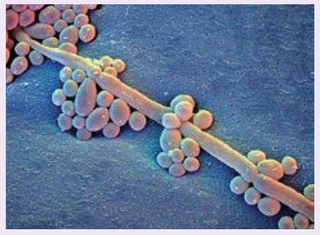
Wirus HPV (obraz spod TEM).

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* (np. bielnik biały). 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

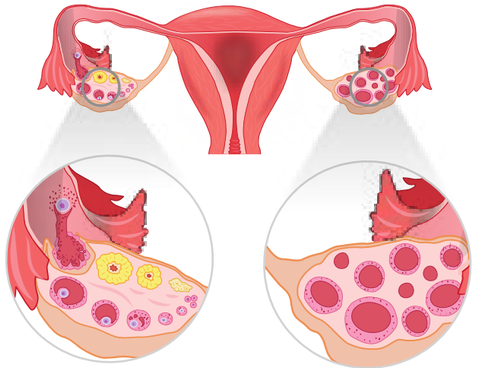
Zespół policystycznych jajników (PCOS) jest uznawany za jedno z najczęstszych schorzeń endokrynologicznych wśród kobiet w wieku rozrodczym.

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 z PCOS 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 z 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.

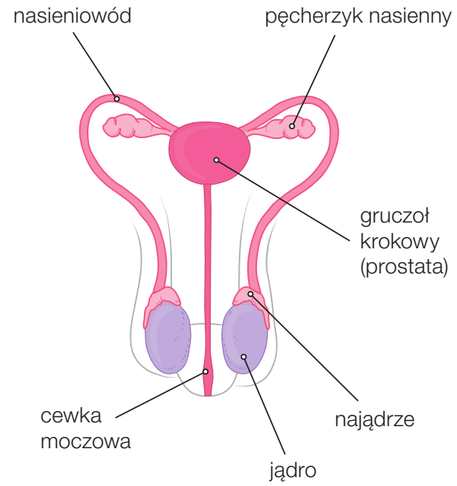
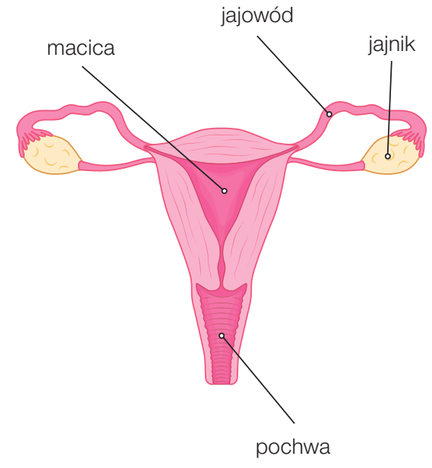
PCOS jest jedną z najczęstszych przyczyn niepłodności kobiet.

Polecenia kontrolne

1. Sformułuj trzy zalecenia, których przestrzeganie pozwala zachować odpowiednią higienę miejsc intymnych.
2. Podaj trzy czynniki, które sprzyjają zarażeniu się chorobami przenoszonymi drogą płciową.
3. Podaj przykład metody diagnostycznej, która umożliwia 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

Męski układ rozrodczy	Żeński układ rozrodczy
narządy zewnętrzne	
• prącie • moszna	• srom (wzgórek łonowy, wargi sromowe większe i mniejsze, łechtaczka)
narządy wewnętrzne	
	

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 gamety żeńskie 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 płodu 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 (cykl jajnikowy)		
1.–13. dzień	**14. dzień**	**15.–28. dzień**
stadium pęcherzykowe • Dojrzewanie pęcherzyka jajnikowego, który wytwarza estrogeny.	**owulacja** • Pęknięcie dojrzałego pęcherzyka jajnikowego 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 (cykl maciczny)			
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 lub jako metodę antykoncepcji.

5 **Funkcje łożyska i błon płodowych**

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. • Chroni 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:**

- choroby przewlekłe matki,
- kondycja fizyczna matki,
- wiek matki,
- 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 małej 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
Rak jajnika	• wzdęcia • uczucie pełności w brzuchu • nieprawidłowe krwawienia z dróg rodnych • uczucie ucisku w miednicy	• regularne wizyty kontrolne u ginekologa

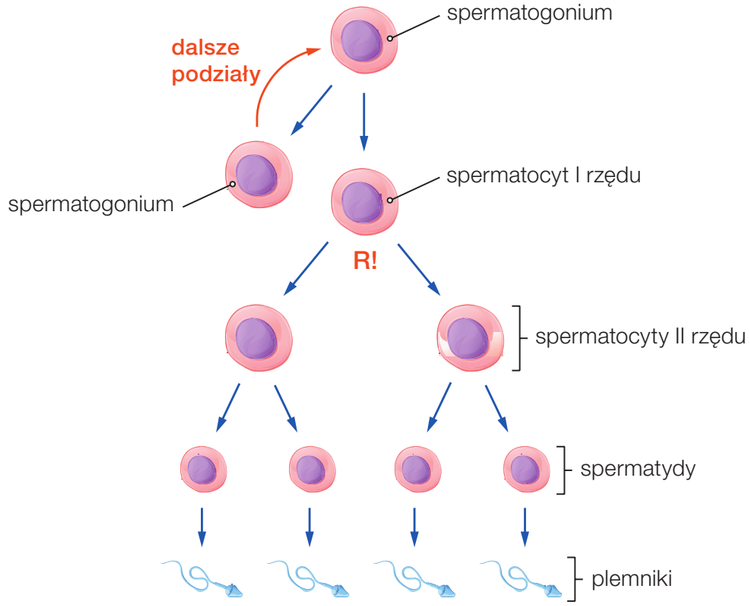
10 **Chorobami przenoszonymi drogą płciową** można zarazić się podczas kontaktów seksualnych.

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* (np. bielnik biały)

Sposób na zadania

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Schemat przedstawia przebieg spermatogenezy.



a) Oceń, czy poniższe stwierdzenia dotyczące przebiegu spermatogenezy są prawdziwe. Wybierz P, jeśli stwierdzenie jest prawdziwe, albo F – jeśli jest fałszywe.

Pierwsze etapy spermatogenezy zachodzą w okresie życia płodowego. Przypomnij sobie, czy w tym czasie dochodzi do intensywnych podziałów spermatogoniów (→ s. 425).

1.	Podziały spermatogonium zachodzą w okresie życia płodowego.	P	F
2.	Spermatocyty II rzędu i spermatydy są haploidalne.	P	F

Przyjrzyj się schematowi i zastanów się, jakiego typu podziały komórkowe prowadzą do powstania spermatocytów II rzędu i spermatydów. Pamiętaj, że symbol R! oznacza podział redukcyjny, czyli pierwszy podział mejotyczny.

Rozwiązanie:
1. – F, 2. – P

Zróżnicowanie genetyczne komórek potomnych występuje wtedy, gdy w trakcie podziału komórki macierzystej dochodzi do niezależnej segregacji chromosomów homologicznych oraz do *crossing-over*. Przypomnij sobie, podczas którego podziału komórkowego (podczas mejozy czy mitozy) następują te procesy, a także zastanów się, czy podział ten zachodzi w czasie powstawania plemników.

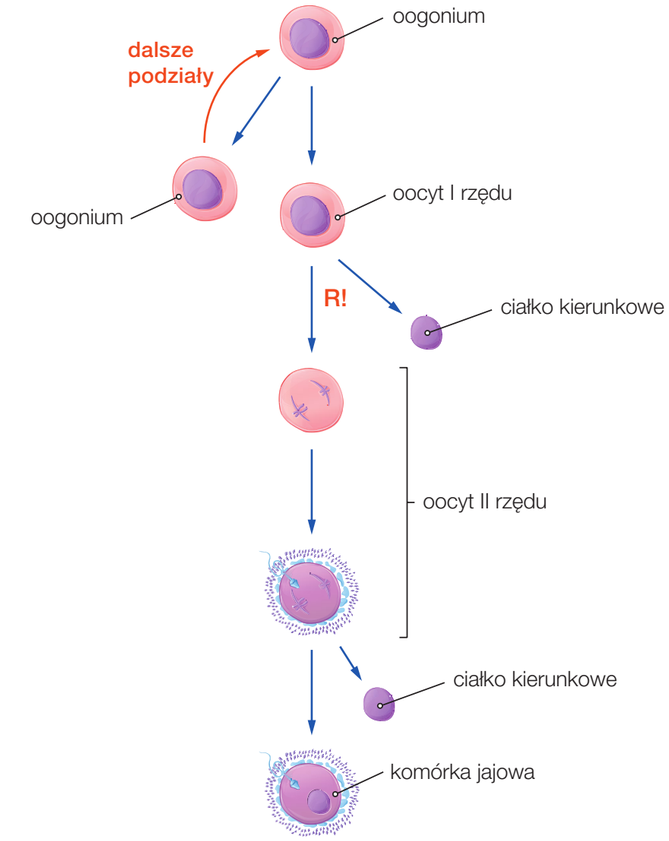
b) Rozstrzygnij, czy plemniki powstające z jednego spermatocytu I rzędu są zróżnicowane czy identyczne pod względem genetycznym. Odpowiedź uzasadnij.

Rozwiązanie:
Rozstrzygnięcie: zróżnicowane genetycznie
Uzasadnienie: Plemniki powstające z jednego spermatocytu I rzędu powstają w wyniku podziału mejotycznego, w czasie którego dochodzi do niezależnej segregacji chromosomów homologicznych oraz do *crossing-over*.

Zadanie analogiczne

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Schemat przedstawia przebieg oogenezy.



a) Oceń, czy poniższe stwierdzenia dotyczące przebiegu oogenezy są prawdziwe. Wybierz P, jeśli stwierdzenie jest prawdziwe, albo F – jeśli jest fałszywe.

1.	Podziały oogonium rozpoczynają się w okresie życia płodowego.	P	F
2.	Oocyty I rzędu oraz oocyty II rzędu są haploidalne.	P	F

b) Rozstrzygnij, czy komórka jajowa i ciałko kierunkowe powstające z tego samego oocytu II rzędu są zróżnicowane czy identyczne pod względem genetycznym. Odpowiedź uzasadnij.

Zadania powtórzeniowe

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Jądra, najądrza i początkowe odcinki nasieniowodów są osłonięte moszną. Jest to skórno-mięśniowy worek, który utrzymuje jądra w temperaturze optymalnej dla rozwoju plemników, czyli w temperaturze o mniej więcej 2,5–4°C niższej od temperatury ciała. Moszna pełni funkcję termoregulacyjną dzięki obecności kurczliwej błony zbudowanej z mięśni gładkich (która reguluje napięcie moszny), a także dzięki nieobecności podściółki tłuszczowej.

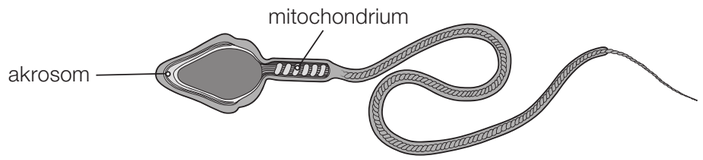
a) Wyjaśnij, w jaki sposób błona kurczliwa moszny zapewnia jądrom ochronę przed wychłodzeniem.

b) Wykaż termoregulacyjne znaczenie braku podściółki tłuszczowej w worku mosznowym.

c) Podaj 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.

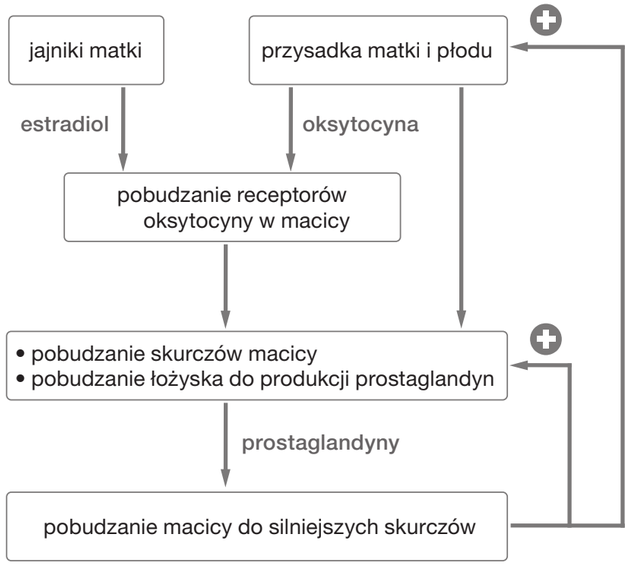
c) Określ, który składnik płynu nasiennego stanowi główny substrat energetyczny dla plemników, oraz podaj nazwę gruczołu dodatkowego, który go wydziela.

d) Wybierz 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.

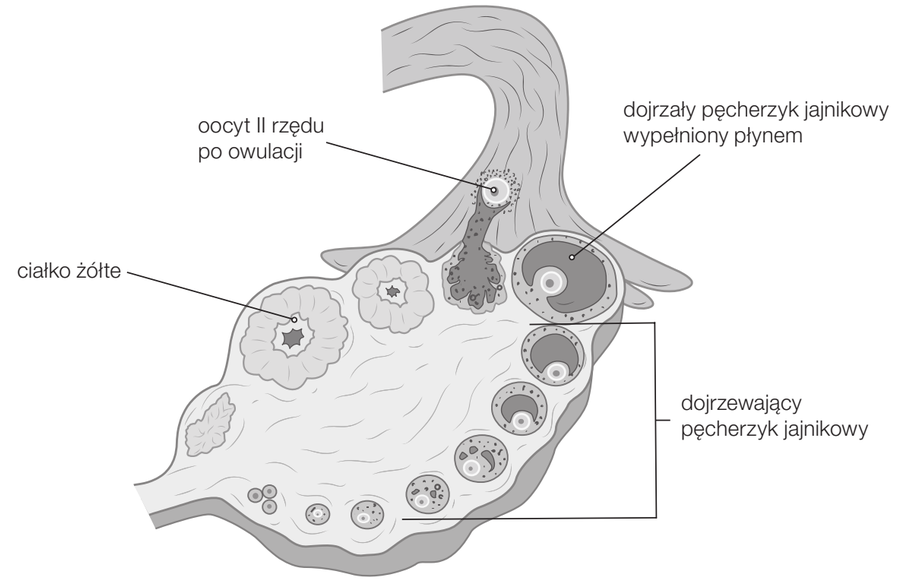
a) Wyjaśnij, czym różni się mechanizm sprzężenia zwrotnego dodatniego od mechanizmu sprzężenia zwrotnego ujemnego.

b) Podaj przystosowanie w budowie czaszki dziecka, które umożliwia przejście jego głowy przez kanał rodny podczas porodu.

c) Przedstaw rolę oksytocyny wydzielanej w organizmie matki po zakończeniu porodu.

d) Podaj funkcję oksytocyny u mężczyzn.

4 Schemat przedstawia budowę wewnętrzną jajnika i jego zmiany podczas cyklu miesiączkowego.



a) Uzasadnij, że występowanie u ptaków jednego jajnika to przystosowanie przedstawicieli tej gromady do prowadzonego trybu życia.

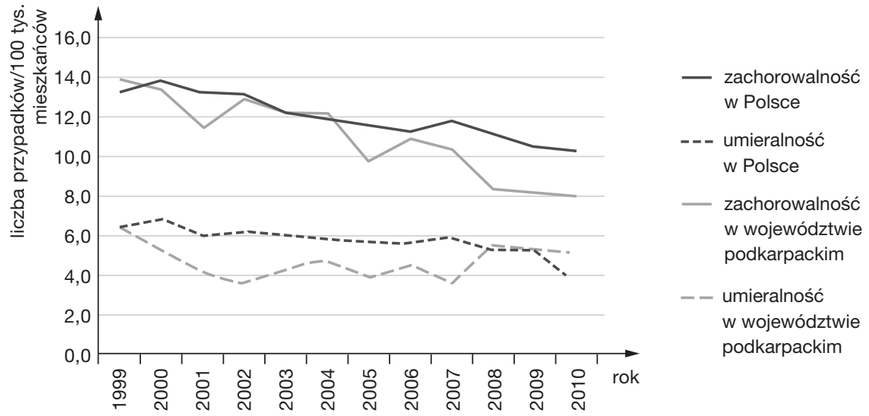
b) Określ, na jakim etapie mejozy zostaje zatrzymany oocyt II rzędu w momencie owulacji.

c) Uzupełnij poniższe zdania tak, aby zawierały prawdziwe informacje na temat pęcherzyków jajnikowych. Wybierz właściwe określenia spośród podanych.

1. W każdym cyklu miesiączkowym dojrzewa zazwyczaj (*jeden pęcherzyk jajnikowy* / *kilka pęcherzyków jajnikowych*).
2. Przed owulacją komórki pęcherzyków jajnikowych wydzielają (*estradiol* / *progesteron*).

d) Podaj rolę ciałka żółtego po zapłodnieniu oocytu II rzędu.

5 Na wykresie przedstawiono 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) Wybierz nazwę badania, które <u>nie służy</u> do diagnostyki nowotworów szyjki macicy.

A. Cytologia.
B. Mammografia.
C. USG jamy brzusznej.
D. Badanie ginekologiczne.

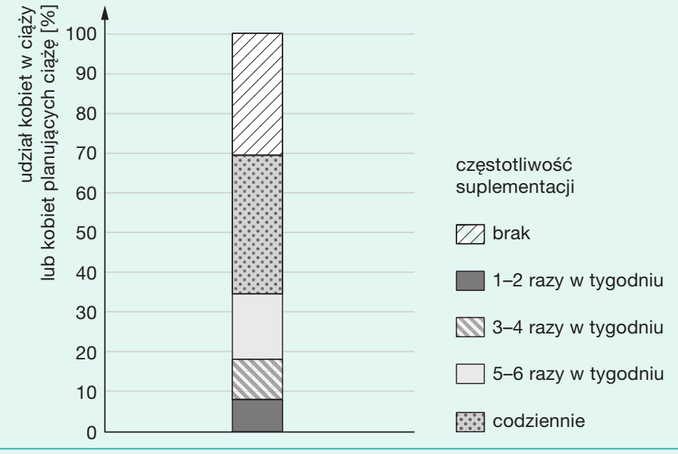
6 Rozwój prenatalny organizmu człowieka obejmuje dwa okresy – okres zarodkowy i okres płodowy.

a) Uporządkuj etapy rozwoju zarodkowego w kolejności ich zachodzenia. Przerysuj tabelę do zeszytu, a następnie wpisz w odpowiednie miejsca numery 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) Podaj, w którym tygodniu od zapłodnienia rozpoczyna się okres płodowy.

Sposób na zadania – odpowiedzi

Strona	Propozycja poprawnej odpowiedzi
	Organizm człowieka jako funkcjonalna całość
21	**a)** 1. Termoreceptory rejestrują (*<u>spadek</u>* / *wzrost*) temperatury otoczenia. 2. Przepływ krwi przez skórne naczynia krwionośne się (*<u>zmniejsza</u>* / *zwiększa*). 3. Temperatura ciała (*się obniża* / *<u>wraca do normy</u>*). 4. Termoreceptory rejestrują (*spadek* / *<u>wzrost</u>*) temperatury otoczenia. 5. Przepływ krwi przez skórne naczynia krwionośne się (*zmniejsza* / *<u>zwiększa</u>*). 6. Temperatura ciała (*się podwyższa* / *<u>wraca do normy</u>*).
	b) 35,5–37°C
	Układ powłokowy
47	**a)** Skóra gadów składa się ze skóry właściwej zbudowanej z tkanki (*nabłonkowej* / *<u>łącznej</u>*) oraz z naskórka zbudowanego z tkanki (*<u>nabłonkowej</u>* / *łącznej*).
	b) naskórek
	c) Sucha skóra pokryta łuskami chroni organizm gada przed utratą wody w środowisku lądowym.
	Układ ruchu
96	**a)** Przykładowe rozwiązania: • Skrzydła jerzyka są płaskie i mają dużą powierzchnię, dzięki czemu tworzą powierzchnię lotną i umożliwiają szybowanie w powietrzu. • Skrzydła są pokryte lotkami, które tworzą powierzchnię lotną skrzydeł i umożliwiają poruszanie się w powietrzu / latanie.
	b) Opływowy / aerodynamiczny kształt ciała jerzyków zmniejsza opór powietrza, co pozwala im szybciej latać (oraz wykonywać zwrotne manewry w locie).
	Układ pokarmowy
158	**a)** 
	b) zaburzenia pracy serca / zaburzenia pracy mięśni / zaburzenia pracy układu nerwowego
	c) Niedobór witaminy D_3 u dzieci powoduje krzywicę.

Układ oddechowy	
202	Podczas wymiany gazowej wewnętrznej tlen dyfunduje z (*komórek ciała* / *krwi*) do (*komórek ciała* / *krwi*), ponieważ ciśnienie parcjalne tlenu w komórkach ciała jest (*wyższe* / *niższe*) niż we krwi. Z kolei dwutlenek węgla dyfunduje z (*komórek ciała* / *krwi*) do (*komórek ciała* / *krwi*), ponieważ ciśnienie parcjalne dwutlenku węgla w komórkach ciała jest (*wyższe* / *niższe*) niż we krwi.
Układ krążenia	
254	**a)** U płazów żyła płucna transportuje krew utlenowaną, ponieważ krew ta powraca z płuc. W płucach na drodze dyfuzji tlen przenika z powietrza znajdującego się w pęcherzykach płucnych do krwi.
	b) Zastawka spiralna zapobiega mieszaniu się / ogranicza mieszanie się (w stożku tętniczym) krwi utlenowanej z krwią odtlenowaną.
Odporność organizmu	
284	**a)** 4, 1, 5, 2, 3
	b) Swoista odpowiedź komórkowa jest skierowana m.in. przeciw (*komórkom zakażonym wirusem* / *bakteriom*). Limfocyty Tc uczestniczące w swoistej odpowiedzi komórkowej stanowią element (*drugiej* / *trzeciej*) linii obrony organizmu.
Układ moczowy	
311	**a)** Przykładowe rozwiązania: • Stwierdzenie jest prawdziwe, ponieważ mocz ostateczny zawiera ponad dwukrotnie więcej rozpuszczonych soli mineralnych niż mocz pierwotny. • Prawdziwe, ponieważ mocz ostateczny zawiera więcej rozpuszczonych substancji osmotycznie czynnych niż mocz pierwotny, czyli jest roztworem o większym stężeniu.
	b) W moczu ostatecznym nie występuje glukoza, ponieważ podczas procesu resorpcji jest ona wchłaniana w kanalikach nerkowych (na drodze transportu czynnego / aktywnego) z moczu pierwotnego do krwi.
Układ nerwowy	
351	**a)** Podczas repolaryzacji zostaje ograniczona przepuszczalność błony neuronu dla kationów sodu / Na^+, co z kolei ogranicza ich dyfuzję do wnętrza neuronu. Jednocześnie otwierają się kanały potasowe, co powoduje odpływ kationów potasu / K^+ na zewnątrz neuronu. Pompa sodowo-potasowa przywraca rozmieszczenie jonów, które jest typowe dla stanu polaryzacji.
	b) Stwierdzenie jest nieprawdziwe, ponieważ w synapsach elektrycznych impuls nerwowy jest przekazywany bezpośrednio z jednej komórki do drugiej. Z kolei w synapsach chemicznych występuje szczelina synaptyczna, przez którą impuls nerwowy jest przekazywany za pomocą substancji chemicznej. To sprawia, że podczas przekazywania impulsu nerwowego w synapsie chemicznej zachodzi opóźnienie, a w synapsie elektrycznej – nie zachodzi.
	c) sód / Na lub potas / K
Narządy zmysłów	
384	Rysunek przedstawia oko kręgowca, ponieważ włókna nerwowe znajdują się nad warstwą fotoreceptorów. Ponadto miejsce, w którym włókna nerwowe zbiegają się w nerw wzrokowy, jest pozbawione pręcików i czopków.

Układ hormonalny	
413	Terapii pochodnymi sulfonylomocznika poddano myszy nieotyłe, które były chore na cukrzycę, ponieważ terapia spowodowała, że (znacząco) wrosła ilość wydzielanej przez nie insuliny / u nich sekrecja insuliny.
Rozmnażanie i rozwój	
459	**a)** 1. – P, 2. – F
	b) Rozstrzygnięcie: odmienne genetycznie **Uzasadnienie:** Komórka jajowa i ciałko kierunkowe powstają w wyniku podziału mejotycznego, w czasie którego dochodzi do niezależnej segregacji chromosomów homologicznych oraz do *crossing-over*.

Doświadczenia i obserwacje – odpowiedzi

Strona	Tytuł doświadczenia lub obserwacji	Propozycja poprawnej odpowiedzi
Układ powłokowy		
33	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		
136	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		
185	Badanie zawartości dwutlenku węgla w powietrzu wdychanym i wydychanym	**Wynik doświadczenia:** Woda wapienna w próbie badawczej uległa większemu zmętnieniu niż woda wapienna w próbie kontrolnej. **Wniosek:** Zawartość dwutlenku węgla w powietrzu wydychanym jest większa niż w powietrzu wdychanym.
197	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 są zbudowane miofilamenty cienkie. Razem z miozyną tworzącą miofilamenty grube bierze udział w skurczu mięśni.

aldosteron – hormon wytwarzany i wydzielany przez komórki kory nadnerczy. Pobudza wchłanianie zwrotne jonów sodu.

alergia – stan nadwrażliwości organizmu na różne substancje pochodzące ze środowiska zewnętrznego, na które zdrowy organizm nie reaguje. Może objawiać 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 zapalnych i alergicznych, wytwarzają m.in. heparynę oraz histaminę.

blastocel – wypełniona płynem jama blastuli.

blastocysta – stadium w rozwoju zarodkowym ssaków. Ma postać pęcherzyka, którego ściana (trofoblast) jest utworzona z jednej warstwy komórek, a w jego wnętrzu, przy jednym z biegunów, znajduje się skupisko komórek – węzeł zarodkowy. Przestrzeń między trofoblastem a węzłem zarodkowym wypełnia płyn.

choroba autoimmunizacyjna (autoimmunologiczna) – choroba spowodowana autoagresją, czyli reakcją odpornościową skierowaną przeciwko własnym komórkom lub tkankom organizmu, np. cukrzyca typu I, reumatoidalne zapalenie stawów, łuszczyca.

ciałko żółte – powstaje po owulacji z pękniętego pęcherzyka jajnikowego. Funkcjonuje jako gruczoł dokrewny. Wydziela progesteron – hormon warunkujący w początkowym okresie utrzymanie ciąży.

cytokiny – różnorodne peptydy lub białka wytwarzane przez wiele komórek ciała, w tym przez komórki układu odpornościowego. Związki te pełnią funkcję regulacyjną – wpływają m.in. na namnażanie się, specjalizację i aktywowanie komórek uczestniczących w odpowiedzi immunologicznej.

depolaryzacja – zmiana ładunków elektrycznych po obu stronach błony komórkowej spowodowana napływem do komórki jonów Na^+ lub Ca^{2+}. Prowadzi do pobudzenia komórki nerwowej lub mięśniowej.

dług tlenowy – stan fizjologiczny związany z deficytem tlenu, który pojawia się m.in. w mięśniach podczas intensywnego wysiłku fizycznego. W jego wyniku organizm czasowo przechodzi na beztlenowy sposób pozyskiwania energii, czyli fermentację mleczanową. Po zakończeniu wysiłku i przywróceniu warunków tlenowych część energii jest zużywana odbudowę zasobów energetycznych.

efektor – narząd wykonujący lub zmieniający swą czynność pod wpływem bodźca nerwowego, np. mięsień, gruczoł.

embriogeneza (rozwój zarodkowy) – proces powstawania oraz rozwoju zarodka.

eozynofile (leukocyty kwasochłonne) – rodzaj krwinek białych. Ich główną rolą jest zwalczanie pasożytów oraz udział w reakcjach alergicznych.

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 żeńskich cech płciowych.

fibrynogen – rozpuszczalne białko osocza biorące udział w procesie krzepnięcia krwi.

fosfokreatyna – wysokoenergetyczny związek magazynowany w mięśniach. Jest źródłem grup fosforanowych do odtwarzania ATP.

gastrulacja – etap rozwoju zarodkowego zwierząt, podczas którego formują się listki zarodkowe: ektoderma, endoderma i mezoderma (u części gatunków).

gruczoły dokrewne (gruczoły wydzielania wewnętrznego – gruczoły, które nie mają przewodów wyprowadzających wydzielinę. Ich 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 we krwi.

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 względnie stałych warunków środowiska wewnętrznego ustroju (np. temperatury, 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 po ok. siedmiu dniach po zapłodnieniu.

interferony – białka zwierzęce należące do grupy cytokin. Są zaangażowane m.in. w obronę przeciwwirusową i przeciwnowotworową.

kalcytonina – hormon wytwarzany przez tarczycę. Hamuje uwalnianie wapnia z kości.

komórki tuczne (mastocyty) – duże komórki układu odpornościowego występujące w tkance łącznej w obrębie różnych narządów. Zawierają histaminę, a także 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, wykonywanie ruchów precyzyjnych oraz czynności charakterystyczne tylko dla ludzi, takie jak: mowa, czytanie, pisanie czy myślenie abstrakcyjne.

krążenie wrotne – układ dwóch sieci naczyń włosowatych, które są połączone żyłą. U człowieka przykładem jest krążenie wrotne wątroby.

kwas moczowy – trudno rozpuszczalny w wodzie związek chemiczny, powstający w organizmach jako jeden z końcowych produktów przemiany związków azotowych. 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. Po rozpoznaniu antygenu przekształcają się w komórki plazmatyczne wytwarzające przeciwciała.

limfocyty T – jeden z rodzajów limfocytów. Biorą udział w odpowiedzi immunologicznej typu komórkowego. Pod względem funkcji dzielą się na: limfocyty Tc (cytotoksyczne) – rozpoznające i niszczące komórki z nieprawidłowym antygenem – oraz limfocyty Th (pomocnicze) – wzmacniające odpowiedź immunologiczną przez 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 układu odpornościowego wywodzące się z monocytów, zdolne do fagocytozy i trawienia pochłoniętych bakterii lub fragmentów uszkodzonych komórek i tkanek.

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 (polepszają właściwości optyczne).

menstruacja – proces fizjologiczny polegający na okresowym (najczęściej co 28 dni) usuwaniu krwi i złuszczonej błony śluzowej macicy z dróg rodnych dojrzałych płciowo kobiet.

mioglobina – białko złożone zawierające grupę hemową, w której skład wchodzi żelazo; czerwony barwnik podobny do hemoglobiny występujący w mięśniach. Mioglobina 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. W mięśniach tlen jest wykorzystywany do uzyskiwania energii koniecznej do skurczu.

mocznik – rozpuszczalny w wodzie związek chemiczny powstający w organizmach jako jeden z końcowych produktów przemiany związków azotowych. 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, w którym zarodek ma postać kulistej bryłki. U ssaków składa się z kilkunastu blastomerów (12–16).

napięcie spoczynkowe mięśni (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 ziarnistości zawierają substancje o działaniu przeciwbakteryjnym. 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 rdzeniowe, zwoje nerwowe i receptory zmysłowe.

odruch – automatyczna reakcja organizmu na bodziec wewnętrzny lub zewnętrzny, zachodząca za pośrednictwem układu nerwowego. Wyróżnia się odruchy bezwarunkowe i warunkowe.

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 – ogół mechanizmów, które prowadzą do utrzymania równowagi wodno-mineralnej organizmu, w tym właściwego składu płynów ustrojowych.

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 i wzmożone wchłanianie z przewodu pokarmowego.

patogen – czynnik chorobotwórczy. Do patogenów zalicza się drobnoustroje chorobotwórcze, a także inne czynniki, takie jak związki chemiczne czy promieniowanie.

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. Mają zdolność unieszkodliwiania antygenów.

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.

serotonina – neuroprzekaźnik w ośrodkowym układzie nerwowym. Odpowiada za regulację snu, apetytu, temperatury ciała i ciśnienia krwi.

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. Reguluje rozwój i funkcjonowanie męskich narządów rozrodczych.

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.

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, która uczestniczy m.in. w trawieniu i wchłanianiu tłuszczów.

Indeks

A
adaptacja 33, 360, 379, 388, 394
adrenalina 322, 340, 389, 390, 393, 405, 406, 410, 411, 466
aglutynacja 216, 217
agranulocyty 213
agrekan 65
AIDS 274, 275
akomodacja oka 366, 382
akrosom 426
akson 315, 316, 323, 345, 379, 466
aktyna 77, 79, 94, 466
albuminy 138, 212
aldosteron 301, 466
alergia 274–276, 282, 466
alkoholizm 343
aminopeptydazy 127, 131, 132
amniopunkcja 442
amoniak 138, 139, 290, 291, 294, 295
amylaza 466
– ślinowa 123, 125, 129, 130, 136,154
– trzustkowa 123, 127, 129, 130, 154
androgeny 422, 424
anemia, p. niedokrwistość
angina (zapalenie migdałków podniebiennych) 195
angioplastyka 248
anhydraza węglanowa 179, 182
anoreksja (jadłowstręt psychiczny)
antygen (antygeny) 260–262, 267, 270, 271
– D 215
– H 216
– powierzchniowe 259
– zgodności tkankowej (MHC) 259
antykoncepcja 435, 444
apoptoza 270
astma oskrzelowa 196
astrocyty 329
astygmatyzm 367
atlas, p. dźwigacz
autoagresja 278, 282,466
automatyzm serca 225, 226
awitaminoza 113

B
badanie (badania)
– cytologiczne 448, 451
– endoskopowe 145, 149, 193, 150
– histopatologiczne 39, 450
– ogólne moczu 303, 304
– prenatalne 442
– rentgenowskie (RTG) 91, 193, 201
– ultrasonograficzne (USG) 145, 252
bariera
– filtracyjna 299
– krew–mózg 329
– łożyskowa 440
baroreceptory 15, 232, 356
bazofile 213, 260, 280, 466
białaczka 243
białko (białka)
– CRP 263
– ostrej fazy 262, 263, 265, 268
bielactwo nabyte 278
bilans
– azotowy 108
– energetyczny 141, 143
– wodny 120, 288, 289
biotyna 115, 152
blastocysta 419, 437, 438, 466
blastomery 419, 437, 438
błędnik 371, 372
– błoniasty 358, 372
– kostny 372
błona (błony)
– bębenkowa 358, 370, 371, 373, 383
– maziowa 63
– mięśniowa 121, 122
– płodowe 418, 438, 440
– podśluzowa 121, 122
– śluzowa 121, 122, 127, 174, 266, 390, 428, 429, 434, 440
błonnik 106, 107, 151
brodawki językowe 124
bronchoskopia 193, 201
bruzdkowanie 418, 419, 437, 438
brzusiec 75, 76
bulimia 144, 156

C
celuloza 103, 104, 106, 107, 127
cewa nerwowa 115
cewka moczowa 294, 302, 305, 422–424, 427, 429, 252, 253
cewki Malpighiego 292
chemoreceptory 179, 356, 359, 378, 379, 383
chlamydioza 452
chłonka, p. limfa
cholesterol 36, 107, 110–112, 138, 140, 245, 390
choroba (choroby)
– Alzheimera 344
– autoimmunizacyjne (autoimmunologiczne) 274, 278, 282
– cywilizacyjne 240
– Gravesa–Basedowa 404
– Parkinsona 344, 349
– wieńcowa 246, 247
chrząstka tarczowata 174
chrząstkozrosty 62, 70, 93
chylomikrony 131, 133–135
chymotrypsyna 123, 127, 131, 132
ciałko (ciałka)
– białawe 433, 434
– gęste 80
– kierunkowe 430, 431,433, 436, 437
– nerkowe 293, 297, 298, 309
– Meissnera 30
– Pacciniego 30
– żółte 427, 433–435, 441, 466
ciało (ciała)
– ketonowe 304
– modzelowate 325, 326
– rzęskowe 360, 361
– szkliste 358, 360, 361, 364
ciemiączko 66
ciśnienie
– krwi 207, 222, 228, 229, 231, 232, 242
– parcjalne (cząstkowe) 162, 163, 165, 181, 182, 184, 186
cukrzyca 12, 408
cykl (cykle)
– jajnikowy 432, 433
– Krebsa 108, 184
– maciczny 432, 433
– miesiączkowy 393, 432–435, 456
– mocznikowy 138, 139, 295
– pracy serca 228, 232, 242
cytokiny 262, 264, 268, 271, 466
czerniak 39, 41, 43
czopki 361, 362, 364

D
dalekowzroczność 367
daltonizm 368
dendryty 315, 321,323, 356
depolaryzacja 317–320
depresja 345, 405
dermatoskopia 39
desmosom 226
dializa 306, 307, 309
dług tlenowy 82
dopamina 322, 342, 344, 399
doping 86
drogi nerwowe 325, 327
drzewo oskrzelowe 175, 196
dyfuzja prosta 162
dymorfizm płciowy 417
dźwigacz 68

E
efektor 12, 331, 333
ejakulacja (wytrysk) 422, 423, 436, 450
ejakulat 426, 436
eksteroreceptory 356
ektoderma 419, 437
elektroencefalografia (EEG) 346
elektrokardiografia (EKG) 242
elektroreceptory 356
elementy morfotyczne 58, 59, 212, 213, 236, 241
emulgacja tłuszczów 126, 131, 138, 140
endoderma 419, 437
endometrium 428,433, 434
enzymy
– hydrolityczne 101, 260, 266, 269, 425, 426
– lipolityczne 131
– proteolityczne 126, 127, 131
– trawienne 108, 125, 126, 394
eozynofile 213, 260, 466
erekcja (wzwód) 422
erytrocyty (krwinki czerwone) 212, 213, 215– 217, 241, 243
erytropoetyna 86, 302, 390
estrogeny 393, 401, 432, 435, 441

F
fagocytoza 213, 260, 267
fermentacja
– mleczanowa 82, 184, 213
– błonnika 128
feromony 390
filtracja 298
fosfokreatyna 81, 466
fotoreceptory 356, 364, 365
fotostarzenie 41
fototyp skóry 40, 41

G
gałka oczna 360
gastroskopia 149
gastrulacja 419, 437, 467
gastryna 137, 390
glikogen 106, 123, 139, 398
glikolipidy 31, 215
glikoliza 184
globuliny 212
glukagon 389, 390, 393, 394, 398
glukoneogeneza 82, 139
glukoza 82, 106, 134, 135, 139, 304
głośnia 174, 175
główny układ zgodności tkankowej (MHC) 25, 267, 269– 271, 277
gonadotropina 441, 392
gonady, p. gruczoły płciowe
gonocyty 425, 430
granulocyty 213, 260
grasica 389, 393
gruczoł (gruczoły)
– krokowy (prostata) 423, 425
– łojowe 35, 36, 42
– mlekowe (sutkowe) 35, 36, 392, 427
– opuszkowo-cewkowy 422, 423, 245
– płciowe (gonady) 401
– potowe 14, 35–37
– sutkowe, p. mlekowe
– wewnątrzwydzielnicze (dokrewne, endokrynne) 388
– zewnątrzwydzielnicze (egzokrynne) 388
grupa krwi 215
gruźlica płuc 196
grypa 194

H
hem 182
hematokryt 227, 241
hemodializa 306
hemoglobina 181–184, 206
hemolimfa 164, 168, 206, 208
hiperpolaryzacja 320
hiperwitaminoza 113
hipowitaminoza 113
histamina 276, 390
HIV 275
HLA (p. ludzkie antygeny leukocytarne) 259, 277
homeostaza 11–16, 301
hormon (hormony)
– anaboliczne 390
– antydiuretyczny, p. wazopresyna
– folikulotropowy 434
– hamujące, p. statyny
– kataboliczne 390
– luteinizujący 434
– o działaniu ogólnym 390
– niesteroidowe 390, 395
– steroidowe 390
– tkankowe 390
– tropowe 392
– tyreotropowy, p. tyreotropina
– uwalniające, p. liberyny
– wzrostu 392, 397
hydroliza enzymatyczna 129

I
immunoglobuliny (Ig) 262
immunosupresja 277
implantacja 437, 438
insulina 390, 393, 398
interferony 264
interoreceptory 356
istota
– biała 324, 325, 327, 328
– szara 324, 325, 328, 340

J
jadłowstręt psychiczny, p. anoreksja
jajnik 389, 393, 401, 417, 427
jajowód 428
jama bębenkowa 370, 371
jaskra 368
jądro 393, 423, 424
jądra podkorowe 325
jelito
– czcze 126
– kręte 126
– ślepe 127
jodopsyna 362, 364

K
kalcytonina 393, 399
kaletki maziowe 63
kamica nerkowa 305
kamyczki błędnikowe (otolity) 374, 375
kanalik (kanaliki)
– kręty 297–299
– nasienne 424
kanał (kanały)
– kręgowy 67, 328, 331
– półkoliste 358, 372
kapacytacja 436
karbaminohemoglobina 182, 183
karboksypeptydazy 123, 127, 131
kardiomiocyt 226
karoten 113
katar, p. nieżyt nosa
keratyny 27, 31, 34
kifoza 88, 90
kiła 452
kobalamina 115
kolagen 31, 58, 108
kolonoskopia 149
komórka (komórki)
– dendrytyczna 261
– dwubiegunowa 362, 379
– główna 125, 126
– jajowa 417, 430
– Leydiga 424
– NK 261, 266, 269
– pamięci 261, 272
– prezentujące antygen 267
– rzęsata 358, 372, 374
– Sertoliego (podporowe) 424
– słuchowa 372, 373
– smakowa 378, 379
– światłoczułe 361
– tuczne (mastocyty) 261
– węchowa 379, 380
– zwojowa 362
– żerne 213, 260, 261, 266, 267
konekson 226, 323
konflikt serologiczny 217
kora mózgu (mózgowa) 324–326
kortykosteroidy 276
kortykotropina 392, 401
kortyzol 393, 401, 405
kosmki jelitowe 126, 127
kosmówka 418, 440
kosteczki słuchowe 66, 358, 370, 371, 373
kościozrosty 62
kowadełko 66, 358, 370, 371
krążenie wieńcowe 233
krążki
– międzykręgowe 62
– stawowe 63
kresomózgowie 324–326
krótkowzroczność 367
krwinki
– białe, p. leukocyty
– czerwone, p. erytrocyty
krwiobieg
– płucny 209, 229, 230
– ustrojowy 209, 229, 230
kryzys psychiczny 346
krzywica 89
kubki smakowe 124, 357, 378, 379
kurczliwość 73
kwas (kwasy)
– foliowy 115
– hialuronowy 38
– mlekowy 82, 428
– moczowy 290, 291
– pantotenowy 115
– solny 125
– żółciowe 126

L
laparoskopia 150
lecytyna 111
leki immunosupresyjne 276–278
leukocyty (krwinki białe) 213
liberyny 392, 399
limfa (chłonka) 206, 237, 238, 251
limfocyty 213, 236, 241
– B 238, 271
– T 238, 265
linia
– boczna 357
– M 77
– Z 77
linie papilarne 32
lipaza
– ślinowa 123, 125, 129, 133
– trzustkowa 123, 127, 133
lipoproteina
– HDL 111, 241
– LDL 111, 241
lizozym 266, 363
lordoza 88
ludzkie antygeny leukocytarne (HLA) 259, 277

Ł
łańcuch oddechowy 184
łechtaczka 427, 429
łojotok 114
łożysko 440
łuk odruchowy 331, 333
łuszczyca 279

M
macica 428, 429
macierz paznokcia 34
makroelementy 117, 118
makrofagi 100, 260
mammografia 449
markery nowotworowe 241, 448, 451
mastocyty, p. komórki tuczne
mechanizm (mechanizmy)
– homeostatyczne 11, 12, 14
– pompy mięśniowej 231
– przeciwprądów 165
mechanoreceptory 356–358, 370
melaniny 31, 360
melatonina 393
menopauza 434
menstruacja 433, 435
metanefrydia 292
mezoderma 419, 437
MHC (p. główny układ zgodności tkankowej)
miazga 124
miażdżyca 245
miedniczka nerkowa 296
międzymózgowie 324, 325
mięsień (mięśnie)
– antagonistyczne 81
– dwubrzuśćcowy 75
– gładkie 74
– rzęskowy 360, 361
– sercowy 74, 226, 233
– synergistyczne 81
– szkieletowe 73–75, 78, 79, 84
– wyrazowe 73
mikrobiom 103, 127, 128, 266
mikroelementy 117, 118
mikrofagi 101
miofilament 53, 76
– cienki (aktynowy) 76–78
– gruby (miozynowy) 76–78
miofibryla 77
mioglobina 76, 184
miozyna 77, 79
miracidium 52
młoteczek 66, 358, 370, 371
mocz
– ostateczny 296, 298, 299
– pierwotny 296, 298, 299
mocznik 108, 123, 138, 139, 290, 291, 294, 295
moczowód 293–296, 300
monocyty 213
morula 419, 437, 438
mostek 70
moszna 423, 424
mózg 324–326
mózgowie 324
móżdżek 327

N
naczyniówka 360
nadciśnienie tętnicze 244
nadnercza 389, 393, 401, 405
nagłośnia 125, 173, 174
namięsna 76
narząd (narządy)
– limfatyczne 235
– równowagi 358, 372–375
– słuchu 358, 370
– smaku 378
– spiralny (Cortiego) 372
– tympanalne 358
– węchu 378
– wzroku 358, 360
napletek 422
nasienie (sperma) 426
nasieniowód 423, 424
naskórek 31
nefron 293, 297
neoderma 26
nerw (nerwy)
– czaszkowe 314, 331, 332
– czuciowe 331
– mieszane 331
– przedsionkowo-ślimakowy 370–373
– rdzeniowe 314, 331, 332
– ruchowe 331
– wzrokowy 362
neurohormony 391, 394
neuron 314, 315
neuroprzekaźnik 321, 322
neutrofile 213
niacyna 114
niedociśnienie tętnicze 242
niedokrwistość (anemia) 114, 115, 116, 243
niepłodność 445
niewydolność nerek 302, 306
NNKT (niezbędne nienasycone kwasy tłuszczowe) 111
nieżyt nosa (katar) 194
nocyceptory, p. receptory bólu
noradrenalina 393, 406
nowotwory złośliwe 41, 192, 343, 448, 449, 450

O
objętość
– minutowa (pojemność minutowa) 228
– wyrzutowa (pojemność wyrzutowa) 228
obrotnik 64, 68, 69
odbytnica 128
oddychanie
– komórkowe 162, 179, 184
– tlenowe 162, 172
odporność
– humoralna 267, 271
– komórkowa 269
– nieswoista (wrodzona) 265, 268, 269
– swoista (nabyta) 267, 270
odpowiedź immunologiczna 267
– pierwotna 272
– wtórna 272
odruch (odruchy) 331
– bezwarunkowy 333, 334
– kolanowy 331, 333
– monosynaptyczny 331
– polisynaptyczny 331
– rdzeniowe 333
– warunkowy 333–335
okienko owalne 370, 372, 373
okrężnica 127, 128
oksyhemoglobina 181, 183
oksymioglobina 82
oksytocyna 389, 392, 399, 442
omocznia 418, 440
ontogeneza 436
oocyt 427–431, 436
oogamia 417, 419
oogeneza 430, 431
oogonium 430
opłucna 176
opona (opony)
– miękka 328, 329
– mózgowia 328, 329
– pajęcza 328, 329
– twarda 328, 329
opsyna 364, 365
organogeneza 419, 437
oskórek 24, 25
osłonka (osłonki)
– przejrzysta 431, 433, 437
– mielinowe 314–316
osmoregulacja 15, 288
osocze 212
ospa wietrzna 43
osteon 59
osteoporoza 89
ośrodek
– głodu i sytości 137, 325
– naczynioruchowy 232, 326, 340
– oddechowy 179, 326
– pragnienia 120
– sercowy 232
– wdechu 179
– wydechu 179
otrzewna 121
otyłość 143
owodnia 418, 440
owulacja 432, 433

P
pajęczynówka 329
pamięć immunologiczna 265, 272

parathormon (PTH) 301, 389, 393, 399
partenogeneza 417
pączkowanie 416
pepsyna 131, 132
pepsynogen 126
pęcherz moczowy 295, 423
pęcherzyk (pęcherzyki)
– jajnikowy (Graafa) 427, 429, 430, 433
– nasienny 423
– płucne 173, 176, 178
– żółciowy 123, 140
– żółtkowy 418, 440
pęczek przedsionkowo-komorowy 226, 227
pętla nefronu (Henlego) 297, 298
pień mózgu 325
piramida zdrowego żywienia i stylu życia 142
pirydoksyna 114
plamka 361
planula 52
plazmocyty 261
plemnik 417, 419, 422, 423, 425, 426
płaskostopie 88
płat
– ciemieniowy 326
– czołowy 326
– potyliczny 326
– skroniowy 326
płucotchawki 164, 168
płyn
– mózgowo-rdzeniowy 328, 329
– ustrojowy 206
płynożercy 101
płytka paznokciowa 34
płytki krwi 212, 214, 241
pnie współczulne 340
pobudliwość 73, 316, 227
pochwa 428
podwzgórze 325, 389, 392, 394, 399, 400
pojemność płuc 177, 178
polaryzacja 316, 318
pole węchowe 174
poliembrionia 417
polispermia 437
połączenia szczelinowe 226, 323
pompa sodowo-potasowa 135, 316–319
poród 442
potencjał
– czynnościowy 317, 320
– spoczynkowy 316, 320
pranercze 293
prącie 422, 423
prążek
– anizotropowy (A) 77
– izotropowy (I) 77
prezentacja antygenu 260, 261
pręciki 361, 361, 364
proenzym 126, 127
progesteron 393, 427, 432–435
prolaktyna 392
prostata, p. gruczoł krokowy
protonefrydia 292
prowitamina 113
przeciwciała 262, 271, 273, 276
przednercze 293
przeobrażenie
– niezupełne 421
– zupełne 421
przepona 81, 177, 178
przestrzeń podpajęczynówkowa 329
przewlekła obturacyjna choroba płuc (POChP) 196
przewód
– nosowo-łzowy 363
– pokarmowy 102, 103, 121
– słuchowy 128
– wydalniczy 292
– wytryskowy 423
przeziębienie 194
przysadka 389, 392, 400
przytarczyce 389, 393, 399
puls, p. tętno

R
rak
– gruczołu krokowego (prostaty) 450
– jajnika 451
– jądra 450
– piersi 449
– płuc 195
– szyjki macicy 451
rąbek szczoteczkowy 126, 129, 131
rdzeń
– kręgowy 324, 328
– przedłużony 324, 326
reakcja
– alergiczna 275, 276
– pomostowa 184
– zapalna 268
receptor (receptory)
– błonowy 395
– bólu (nocyceptory) 356
– cytozolowy 396
– dotyku 30, 326
– jądrowy 396
– smaku 359, 378, 379
– termiczne (termoreceptory) 13, 356
– węchu 359
refrakcja
– neuronu 320
– oka 364
relaksyna 441
repolaryzacja 317–319
resorpcja (wchłanianie zwrotne) 298, 299, 301
retinal 364
reumatoidalne zapalenie stawów 278
rodopsyna 358, 362, 364
rogówka 360, 361
rozedma płuc 169
rozwój
– płodowy 437–439
– postnatalny 436, 443
– prenatalny 436–438
– prosty 420
– zarodkowy 418, 437, 438
– złożony 420, 421
różyczka 272, 441
ruchy perystaltyczne 121, 428
ryboflawina 114
ryby dwudyszne 167
rzepka 60, 71, 72
rzeżączka 452
rzęsistkowica 453

S
samozapłodnienie 418
saprofagi 103, 105
sarkolema 76
sarkomer 77
sarkoplazma 76
sekrecja (wydzielanie) 298, 299
sepsa 247
serce 208, 210, 218, 220, 225
serotonina 322
siateczka sarkoplazmatyczna 76, 78
siatkówka 360–362
sieć dziwna
– tętniczo-tętnicza 223
– żylno-żylna 223
skolioza 88
skóra właściwa 28, 31, 32
skrzela 164
– wewnętrzna 167
– zewnętrzna 166
skrzelotchawki 166
skrzyżowanie wzrokowe 366
skurcz
– auksotoniczny (mieszany) 84
– izometryczny 84
– izotoniczny 84
smuga H 77
soczewka 361, 364, 365
sok
– trzustkowy 123
– żołądkowy 125
somatotropina, p. hormon wzrostu
sperma, p. nasienie
spermatocyt 425, 431
spermatogeneza 425, 431
spermatogonium 425
spermatydy 425
spirometria 193
spojówka 363
sprzężenie zwrotne
– dodatnie 435
– ujemne 400, 401
srom 427, 429
stan
– równowagi dynamicznej 11
– zapalny 266, 268
statolity 358
statyny 392, 399
staw 62–64, 81
stres 405–407
stresory 405
strobilizacja 416
strzemiączko 66, 358, 370, 371
surfaktant 176
surowica
– krwi 216
– odpornościowa 273
synapsa 321
– chemiczna 321
– elektryczna 323
syncytium 26
szczepienia 272
szkielet 53, 58–61
szkliwo 124
szwy 62
szyszynka 389, 393

Ś
ścięgno 75, 81
śledziona 236, 258
ślimak 372
śródbłonek 222, 229
śródmózgowie 324, 325
świerzb 42
świnka 147

T
tarczyca 389, 393, 397, 404
tchawica 173, 175
tchawki 164, 168
termogeneza
– bezdrżeniowa 13
– drżeniowa 13
termoregulacja 13, 14
termoreceptory, p. receptory termiczne
testosteron 390, 393, 401, 424
tęczówka 360, 361
tętnica 222, 233
tętno (puls) 232
tiamina 114
toksoplazmoza 440, 441
tonus 84
torebka Bowmana (torebka kłębuszka) 297–299
transfuzja (przetaczanie krwi) 87
transplantacja (przeszczepianie) 277
trąbka słuchowa (trąbka Eustachiusza) 370
trądzik pospolity 42
trochofora 52
trofoblast 437, 438
trombocyty, p. płytki krwi
tropomiozyna 79
troponina 79
trójjodotyronina 393, 396
trypsyna 123, 127, 131, 132
tryskawka 165
trzeszczki 72
trzustka 121, 123, 389, 393, 394, 398
tubulina 52
twardówka 360, 361
tyłomózgowie wtórne 324, 325
tymozyna 393
tyreotropina (hormon tyreotropowy) 392, 400
tyroksyna 390, 393, 396

U
udar mózgu 245
układ (układy)
– autonomiczny 314, 338–340
– bodźcoprzewodzący serca 225
– dopełniacza 263
– grupowy AB0 (ABO) 215, 216
– limbiczny 327
– obwodowy 314, 330–337
– ośrodkowy 314, 324–329
– somatyczny 314, 338
– przywspółczulny 338–340
– grupowy Rh 215
– wrotny 223
– współczulny 338–340
utlenowanie 180, 181, 184, 209, 230
uzależnienie 342

W
wargi sromowe
wazopresyna (hormon antydiuretyczny, ADH) 301, 392
wchłanianie zwrotne, p. resorpcja
węglowodany (sacharydy) 106, 129, 294
węzeł
– przedsionkowo-komorowy 226, 227
– zarodkowy 438
– zatokowo-przedsionkowy 226, 227
węzły chłonne 236, 237, 258
wieniec promienisty 431, 433, 437
więzadła 62, 63
więzozrosty 62
włosowate naczynia krwionośne 209, 219, 222, 223
włosy 29, 34
włókno (włókna)

– elastynowe 31, 32
– kolagenowe 31, 58
– mięśniowe 53, 73, 74, 76
wór
– powłokowo-mięśniowy 24
– powłokowy 24
wskaźnik Pearla 444
współczynnik oddechowy 185
wstrząs krwotoczny 214
wszawica 42
wydzielanie, p. sekrecja
wymiana gazowa 162–171, 177–189
wylew 214, 245
wyrostek
– kolczysty 67
– kruczy 71
– poprzeczny 68
– stawowy 69
wyspy Langerhansa 394
wytrysk, p. ejakulacja
wzgórek łonowy 427, 429
wzór zębowy 124
WZW 146, 272
wzwód, p. erekcja

Z
zabiegi immunosupresyjne 277
zaćma 368
zakażenie
– dróg moczowych 305
– wirusem brodawczaka ludzkiego (HPV) 453
zakrzep 214, 245
zanercze 293
zapalenie
– migdałków podniebiennych, p. angina
– tarczycy typu Hashimoto 279, 404
zaplemnienie 422
zapłodnienie 418, 419, 436, 438
zarodek 418, 419, 437
zastawka
– aorty 220
– dwudzielna 220
– pnia płucnego 220
– spiralna 210
– trójdzielna 220
zatoki przynosowe 67
zawał serca 246
zespół
– opóźnionego bólu mięśniowego 82
– policystycznych jajników 454
zębina 124
zęby
– mleczne 124
– stałe 124
złamanie 88
zwichnięcie 88
zwierzęta
– acelomatyczne 102
– amonioteliczne 291
– celomatyczne 102
– hiperosmotyczne 290
– hipoosmotyczne 290
– izoosmotyczne 290
– mięsożerne 103, 104
– pseudocelomatyczne 102
– roślinożerne 103, 104
– stałocieplne 13
– ureoteliczne 291
– urykoteliczne 291
– wszystkożerne 103, 105
– zmiennocieplne 13
zwój nerwowy 330
zwyrodnienie plamki związane z wiekiem 368
zygota 417–419, 437

Ź
źrenica 360, 361

Ż
żebra
– prawdziwe 70
– rzekome 70
– wolne 70
żołądek 125, 129
żółć 123, 126
żylaki 244
żyła wrotna 138, 223, 233

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.

Projekty graficzne:

Marek Błoszko: 16,187; **Maciej Galiński:** 368; **Elena Grikurova-Wojnowska:** 444–445; **Elena Grikurova-Wojnowska**, **Marcin Kołacz:** 42–43, 180; **Klaudia Jarocka-Ciok:** 304, 335, 438–439, 443; **Klaudia Jarocka-Ciok**, **Marcin Kołacz:** 322, 376, 397; **Marcin Kołacz:** 7, 8–9, 10, 14-15, 24–25, 26, 30–31, 36–37, 52, 54–55, 56–57, 60, 61, 64, 67, 68–69, 76–77, 78–79, 85, 86–87, 90, 100–101, 104–105, 107, 122–123, 130, 132, 133, 134–135, 142, 143, 145, 149, 150, 166–167, 168–169, 170–171, 173, 186, 192, 210–211, 212–213, 223, 270–271, 278–279, 291, 292, 303, 315, 318–319, 332, 339, 342–343, 362, 369, 380, 392–393, 394, 402, 404; **Marcin Kołacz**, **Marcin Oleksak:** 296–297; **Marcin Kołacz**, **Zuzanna Sri:** 114–115, 116, 118; **Marcin Oleksak:** 188–189, 220–221, 224, 234; **Logoteka Piotr Rudź:** 28–29; **Zuzanna Sri:** 91, 109, 226, 231, 248, 260–261, 268–269, 416, 417; **Grażyna Truchlińska:** 34–35, 40–41; **Sławek Włodarczyk:** 236–237, 371.

Autorzy ilustracji:

Ewelina Baran: 14 (mózg), 15 (mózg), 21 (mózg), 67 (zatoki), 70 (il. górna), 89 (krzywica), 92, 93, 94, 97, 112 (nadnercza), 137 (mózg), 165 (il. górna), 165 (iskrzela ryby i wyjazdy ze skrzeli, il. górna), 168 (pająk), 169 (ikona gad), 170 (wdech, wydech żaby, ikona jaszczurki), 198 (krwinka), 198, 199 (il. górne), 208 (układ krwionośny, konik polny, ślimak, dżdżownica), 211 (ikona jaszczurka), 220 (il. górna), 223, 239 (serce), 232 (mózg), 244 (oko, mozg, serce, nerka), 245 (il. górna), 250, 251, 301 (mózg), 305 (kamień w nerce), 309, 324 (mózg), 325 (mózg), 326 (mózg), 342, 360, 362 (il. w lupie, czopek, pręcik), 365 (il. górna), 374 (il. w środku), 380 (mózg), 381, 392 (mózg), 431, 439 (komórka, plemnik), 449 (rak), 450 (il. górna rak, il. dolna prawa), 451 (rak), 454, 461; **Katarzyna Borek-Polkowska:** 237 (naczynie limfatyczne), 239, 245 (il. w lupie), 248 (il. dolna – stent), 378 (kubek); **Elżbieta Buczkowska:** 7 (tkanka nerwowa), 12 (schematy), 24 (ślimak), 25 (rozgwiazda), 32, 34 (paznokcie), 44, 52, 61 (il. gąbczasta), 62 (il. włókniste), 64 (staw elipsoidalny, płaski, siodełkowy), 70 (klatka piersiowa), 78 (neuron), 124 (jama ustna, zęby), 130 (schematy), 144, 146, 153, 162, 167, 168 (świerszcz, il. w lupach), 169 (ślimak), 171 (wdech i wydech ptaka), 210 (układy krwionośne), 211 (układy krwionośne), 212, 217, 222, 223, 228 (wykres), 231 (il. górna), 237 (węzeł chłonny), 238 (sieć limfatyczna, il. kość, węzeł chłonny), 239, 245 (il. górna), 248 (il. dolna), 253, 254, 255, 292 (il. świerszcz), 305 (postać), 307 (postać), 309 (il. prawa), 315 (neuron), 343 (ikony: wątroba, trzustka), 316 (neuron), 360, 381, 406 (neuron), 408, 418, 427, 428, 429 (il. górna), 432, 435 (il. prawa), 438, 440 (il. górna), 460 (plemnik); **Rafał Buczkowski:** 7 (układ narządów), 8 (układ szkieletowy, układ oddechowy), 9 (fantomy, organy układów limfatycznego, nerwowego, hormonalnego, moczowego), 14, 15, 19, 21, 60 (tył – szkielet), 62 (chrząstkozrosty, szwy), 63, 64 (staw zawiasowy, obrotowy, kulisty), 66, 67 (czaszka), 68, 69, 88 (wada postawy), 89 (kości udowe z miednicą, krzywica), 93, 119, 122 (fantom, organy wewnętrzne), 123 (il. górna), 128 (jelita), 130 (postać, narządy), 132 (postać, narządy), 133 (postać, narządy), 134 (fantom), 138 (postać, narządy), 149 (fantom, jelita), 172 (organy wewnętrzne), 173 (fantom, płuca, pęcherzyki płucne), 174 (fantom), 175 (fantom), 176 (organy wewnętrzne), 193 (fantom), 194 (fantom), 196 (zdrowy pęcherzyk), 219 (fantom), 221(płuca), 230 (obieg krwi), 230 (mózg, płuca, wątroba, jelita, nerki), 231 (il. w lupie), 232 (kompozycja, serce, naczynie krwionośne), 236 (fantom, układ limfatyczny), 237 (fantom, układ limfatyczny, żyła podobojczykowa), 244 (naczynie w il. górnej), 248 (fantom), 258, 262 (il. górna), 281, 295 (il. dolna), 301 (nerka), 306 (fantom), 308, 324 (il. górna), 328, 332 (il. górna), 333 (kręgosłup), 339 (żołądek), 343 (fantom i narządy wewnętrzne – bez serca i organów rozrodczych), 349, 354, 366 (oko), 367, 378 (il. język), 389 (il. górna, fantom i organy), 400 (fantom), 401 (naczynie krwionośne, serce), 406 (naczynie krwionośne), 431; **Marta Długokęcka:** 25 (powłoka), 32, 41, 42, 46,47, 90, 102, 126, 141, 148 (rak żołądka), 178 (wykres), 181, 196 (il. górna), 208 (układ krwionośny rozgwiazdy), 210 (układ krwionośny ryby), 211 (układy krwionośne), 221 (il. dolna), 253, 254, 262, 293, 326 (przekrój mózgu), 371 (il. w lupie), 412, 413, 419 (kot), 463; **Zuzanna Dudzic:** 33 (il. dolna); **Justyna Dybala:** 111; **Natalia Helman:** 14 (postać), 21(postać), 24 (glista, dżdżownica), 24 (ściany u płazińca), 27, 31 (włos, gruczoł), 36, 38, 60 (il. górna), 74 (schematy), 75 (budowa mięśnia), 81, 82, 84, 86 (pigułki, EPO), 87 (puchar), 98 (il. górna), 114 (żołądek, krwinki, neuron), 115 (dziecko, krwinki), 116, 118, 137 (ikona postać), 139 (krwinka, nerka, komórka), 142 (ikony śpiąca postać, waga), 168 (świerszcz), 170 (wdech, wydech żaby), 184 (wykres), 191, 208 (ikona pierścienica), 210 (ikona ryba), 217, 227 (ikona dłoń), 228 (układ), 232 (il. ikona), 264, 265, 266 (bakteria, grzyb), 273, 275, 277 (il. górna), 294 (ikona płuca, nerki), 301(il. ikona, układ), 306 (il. ikony), 307 (il. w lupie), 315 (ikony), 325 (ikony), 326(ikony), 331, 338, 339 (ikony), 340, 341, 343 (ikona serce, mózg, żołądek, dziecko), 344, 356, 357, 375 (postacie), 376, 382 (il. dolna), 393 (nadnercze, trzustka, jajnik, jądro), 398 (trzustka, dzwonek), 399 (dzwonek), 400 (termometr, śnieżynka), 401 (postać, nadnercza, jajnik, jądro), 406 (postać, nadnercza, zegar, przysadka), 407, 420 (postać), 447 (toaleta); **Wioleta Herczyńska:** 6, 24 (ściany u płazińca), 27, 34 (włos), 42, 50, 61 (duża kość, tkanka szklista), 72, 74 (naczynie, schematy), 75 (budowa mięśnia), 78 (neuron), 81, 89 (kość udowa, krzywica), 112 (jajniki, jądra), 123 (wątroba), 124 (il. górna), 125 (łupka), 127 (il. druga, trzecia), 134 (jelita), 140 (wątroba), 146, 168 (pająk), 169 (ikona żaba), 170 (ikona żaba), 182 (wzór chemiczny, krwinka), 183, 185 (słomka), 196 (chory pęcherzyk), 200, 210 (układ krwionośny płaza), 210 (ikona żaby), 216 (il. dolna, krwinki), 217, 219 (il. w lupie), 222, 231 (il. górna, noga), 233 (wątroba), 237 (żyła podobojczykowa), 238 (kość, grasica), 245 (il. górna), 248 (il. dolna), 254, 259, 268, 297 (nefron), 307, 316 (neuron), 327, 329, 332(il. dolna), 333, 339 (oko, kręgosłup, pień mózgowy, wyjazdy, pęcherz moczowy, oskrzela, ślinianka), 350, 351, 352, 361, 362 (oko), 363 (il. górna), 365 (oko), 366 (oko, il. dolna), 371 (ucho), 373 (il. w lupach), 378 (brodawka), 389 (tarczyca), 392 (il. w lupie), 399 (kość), 421(kokon), 422, 423, 426, 427, 428, 429, 438, 439 (3 miesiąc), 440 (il. górna), 449, 450 (il. górna, il. dolna lewa), 451 (narządy), 461; **Paulina Jarmusik:** 203 (il. górne), 289, 293; **Przemysław Kłosin:** 6, 53 (szkielet zewnętrzny), 61 (il. gąbczasta), 62 (kościozrosty), 64 (staw płaski), 71, 72, 76 (il. górna budowy), 77 (il. dolna budowy), 78 (mięsień), 79, 102 (wypławek, dżdżownica), 165 (głowa ryby), 169 (płuca płaza, gada, ptaka), 220 (il. górna), 228 (serce), 239 (serce), 250, 330, 371 (ucho), 372, 421 (motyl, gąsienica), 438, 439 (6 miesiąc, bliźnięta); **Agata Knajdek:** 12 (ikona człowiek), 86 (strzykawka), 87(DNA, kroplówka), 142 (szare ikony), 148(ikony), 277 (il. górna), 344, 345, 365 (słońce); **Michał Kosieradzki:** 61(il. górna, przekrój kość, tkanka szklista i zbita), 66, 88 (płaskostopie kości), 89 (kość udowa, krzywica), 239, 251; **Sławek Maniak:** 30, 35, 44, 418; **Laura Maziewska:** 13, 24 (meduza, wypławek), 25 (ważka), 52, 86 (strzykawka), 98 (wykres), 103, 114 (mitochondrium, plaster), 115 (CoA), 139 (skóra, wątroba), 141, 142 (ikona komputer, ząb i szczoteczka do zębów), 157, 169 (ikona lew), 171 (płuca ssaka), 171 (ikona lew), 178 (żebra, mostek), 208 (ikona ślimak, szkarłupnie, ważka), 211 (ikona lew), 218 (ikona tarcza, wirus, waga), 219 (ikony), 229, 256 (wykres), 266 (wirus), 292, 294 (ikona włos), 298, 311, 320(wykresy), 332 (il. dolna), 337, 364, 365 (il. dolna), 366 (il. dolna), 414 (wykres), 420 (widłonóg, ryba), 447 (bielizna, wanna, ręcznik, płyn, kropla wody), 462; **Małgorzata Motyka:** 374 (il. w lupkach), 375 (il. w kołach), 386 (il. w lupie); **Krzysztof Mrawiński:** 11 (schemat), 12 (schematy), 75 (postacie), 76, 77 (il. dolna budowy), 180 (układ krwionośny), 226 (schemat), 230 (obieg krwi), 272, 276, 277 (il. dolna), 291, 314, 324 (rdzeń kręgowy), 327 (il. dolna), 350, 351, 419 (plemnik z komórką); **Marek Nawrocki:** 65, 89 (osteoporoza), 262 (il. dolna); **Marcin Oleksak:** 7 (nerka), 8 (układ mięśniowy), 9 (jama ustna, układ krwionośny), 30, 35, 44, 60 (szkielet – przód), 73, 74 (serce), 75 (postacie), 112 (wątroba, nerka), 121, 122 (jama ustna), 123 (ślinianki, trzustka, wątroba), 125 (żołądek, wycinek), 127 (il. pierwsza, druga), 130 (jama ustna), 132 (jama ustna), 133 (jama ustna), 138 (jama ustna), 140 (wątroba), 148 (żołądek), 149 (jama ustna, przyrządy do badań), 150, 169 (płuca ssaka), 173 (jama ustna), 188, 189, 193 (jama ustna, przyrządy do badań), 194 (wydzielina, jama nosowa), 219 (układ krwionośny), 220 (il. środkowa, dolna), 221(trzy ilustracje serca), 224, 226 (serce), 233 (serce, wątroba), 234, 244 (żylaki), 245 (mózgi), 246, 248 (serce, żyły w nodze), 296, 297(il. niebieska), 305 (pęcherz, bakterie, nerka), 306 (il. dwie dolne), 307(wnętrzności, worki), 325 (mózg), 326(mózg), 339 (serce, wątroba, trzustka, płuca), 343 (serce), 352, 360, 361, 362 (oko), 363 (il. dolne), 365 (il. górna), 366 (oko), 367, 371(ucho), 373 (mózg), 392 (mózg), 394 (il. dolna), 400 (il. górna – mózg, wyjazd), 419(komórki), 421 (rozwój konika, liść z jajami), 422, 429 (il. dolna), 438, 439 (9 miesiąc); **Joanna Ptak:** 11 (wykres), 22, 27, 31, 46, 47, 82 (mięsień), 103, 106, 110, 112 (układ), 115 (ikony przy witaminach H i C), 130 (schematy), 131, 132 (schematy), 133 (schematy), 134 (układ, mała lupka), 135, 136, 137, 139, 140 (il. górna), 142 (ikona talerz), 155, 163, 165 (wymiana gazowa), 169 (ikona ptak), 171 (ikona ptak), 172, 176 (postać), 178 (mechanizm wentylacji), 180, 184 (il. dolna),185, 195, 199 (il. dolne), 202, 211 (ikona ptak), 216 (il. górna– łańcuchy cząsteczek), 218 (ikona ciężarówka), 227 (ikony), 229, 265, 269, 270, 271, 275, 276 (postać), 277 (postać w il. dolnej), 294, 295 (il. górna), 317, 324, 306 (il. prawa dolna), 331, 332 (il. dolna), 345, 353, 364, 365 (il. dolna), 380 (projekt i składowe ilustracji), 382 (il. górna), 383, 385, 389 (il. górna), 393 (tarczyca, szyszynka, przytarczyca, grasica), 398 (wątroba), 399 (tarczyca), 400 (tarczyca, komórka), 408, 432, 435 (il. prawa), 440 (il. dolna), 455; **Marcin Ptak:** 31, 76 (budowa włókna), 176 (il. w lupce), 183, 216 (il. dolna); **Daniel Rudnicki:** 9 (organy układy rozrodcze, układ krwionośny), 343 (męskie narządy); **Wojciech Sendal:** 64 (schematy), 210 (budowa serca), 251, 268, 297 (il. w lupie), 300, 360; **Joanna Safranow:** 173 (kostka); **Marta Sieczkowska:** 160, 184 (il. dolna); **Ewa Sowulewska:** 7 (komórka), 7 (tkanka mięśniowa, nabłonka, łączna), 11 (wykres), 14 (mózg), 15 (mózg), 19 (mózg), 21 (mózg), 25 (nabłonek), 26, 33 (skóra), 37, 52, 77 (il. górna), 78 (schemat – punkty 1–6), 79, 80, 94, 122 (przekroje), 130 (schematy), 131, 132 (schematy), 133 (schematy), 134 (kosmek, uproszczony układ na fantomie – oprócz jelit), 135, 137 (mózg), 14 0(il. górna), 144, 153, 170 (wdech, wydech gada), 174, 175, 195, 207 (hemolimfa, krew), 209, 213, 215, 232, 238 (limfocyty), 256 (il. górna), 264, 265, 267, 268, 269, 270, 271, 275, 301 (mózg), 316, 318, 319, 321, 323, 332 (il. dolna), 333, 335, 342, 348, 358, 373 (ucho z kanałem i narządami), 374 (il. w środku), 380 (kwiat), 384, 386 (il. po lewej), 388, 391, 394 (il. górna), 395, 396, 409, 414 (il. dolna), 419 (komórki), 425, 430, 458, 459; **Monika Wiśniewska:** 179, 197.

Zdjęcia pochodzą ze zbiorów:

BE&W: Alamy Stock Photo/robertharding s. 27 (linienie pingwinów), Nature Picture Library (NPL)/2020VISION/Alex Mustard s. 28 (pstrąg), NPL/Alex Hyde s. 28 (drzewołaz), NPL/2020VISION/Danny Green s. 28 (wąż), NPL/Andy Rouse s. 29 (tygrys), Science Source/Anatomical Travelogue s. 30 (receptor ucisku, receptor dotyku), Science Source/Alvin Telser s. 35 (gruczoły łojowe), Alamy Stock Photo/Tatiana Chekryzhova s. 39 (dermatoskopia), Alamy Stock Photo/tilialucida s. 39 (tkanki histologiczne), Alamy Stock Photo/NAS Medical s. 41 (rak podstawnokomórkowy), Science Source/Biophoto Associates s. 42 (grzybica), BSIP RM/Chassenet s. 43 (czerniak o dużej średnicy – D), Alamy Stock Photo/blickwinkel s. 54 (płaziniec *Thysanozoon*), NPL/Georgette Douwma s. 54 (ślimak *Phalium glaucum*), NPL/Jurgen Freund s. 54 (krab), NPL/Valeriy Maleev s. 56 (jerboa), NPL/Ingo Arndt s. 56 (pająk jak mrówka), NPL/Andy Rouse s. 57 (ważka), NPL/Kim Taylor s. 57 (południowa wiewiórka latająca *Glaucomys volans*), NPL/Markus Varesvuo s. 57 (sokół), Alamy Stock Photo/Gary Mitchell/GMP Media s. 83 (sprinterki), Alamy Stock Photo/Bill Varie s. 91 (badanie RTG), Alamy Stock Photo/Puwadol Jaturawutthichai s. 91 (RTG złamanej ręki), Alamy Stock Photo/BSIP SA s. 91 (RTG zębów), Alamy Stock Photo/Arterra Picture Library s. 101 (furczak gołąbek *Macroglossum stellatarum*), NPL/Georgette Douwma s. 101 (małż), NPL/Franco Banfi s. 104 (ryś), NPL/Eric Baccega s. 104 (hiena), NPL/Philippe Clement s. 105 (dżdżownica), Alamy Stock Photo/Jason Ondreicka s. 164 (salamandra bezpłucna), NPL/Georgette Douwma s. 166 (ślimak morski, wieloszczet *Sabellastarte*), Alamy Stock Photo/blickwinkel s. 166 (kijanki krewetek), NPL/Jan Hamrsky s. 166 (nimfa ważki), NPL/Alex Mustard s. 167 (makrela z otwartą paszczą), Alamy Stock Photo/Viktoriia Novokhatska s. 187 (komora hiperbaryczna), Alamy Stock Photo/Yongkiet s. 273 (pobieranie jadu), NPL/MYN/Niall Benvie s. 290 (ryba słodkowodna), Alamy Stock Photo/Andy Lidstone s. 290 (ryba słonowodna), Alamy Stock Photo/pewi s. 334 (kobieta z cytryną), Photo Researchers, Inc./Jessica Wilson s. 344 (przekrój przez mózg), Alamy Stock Photo/Viacheslav Iakobchuk s. 346 (EEG), Granger Collection s. 357 (Albert Einstein), NPL/Alex Mustard s. 357 (wieloszczety), Alamy Stock Photo/Science History Images s. 362 (czopki i pręciki), Alamy Stock Photo/Natalia Gdovskaia s. 369 (chłopak przed laptopem), Alamy Stock Photo/Daria Artemenko s. 403 (USG tarczycy), NPL/Visuals Unlimited s. 416 (meduzy – efyra), Alamy Stock Photo/DP Wildlife Invertebrates s. 416 (polip), Science Source/David M. Phillips s. 436 (komórka jajowa i plemniki), Photo Researchers, Inc./Kwangshin Kim s. 452 (dwoinka rzeżączki), Alamy Stock Photo/Science History Images s. 452 (krętek blady); **DEPOSITPHOTOS:** Maxisports s. 15 (biegacze), WAYHOME.studio s. 40 (fototyp 1), Scott Griessel/Creatista s. 40 (fototyp 3), artjazz s. 41 (dziurawiec), Massimo Lama s. 43 (czerniak z nierównymi brzegami – B), belchonock s. 110 (warzywa liściaste i owoce), Andris Tkacenko s. 110 (kasze, ryż i zboża), aamulya s. 118 (magnez), Valentyn_Volkov s. 118 (potas), Melica s. 118 (sól kuchenna), alexrath s. 118 (jod), Ilya Andriyanov s. 443 (okres noworodkowy), Family Veldman s. 443 (okres niemowlęcy); **EAST NEWS:** Science Photo Library (SPL) s. 26 (neoderma tasiemca), SPL/Steve Gschmeissner s. 59 (tkanka kostna gąbczasta), SPL s. 128 (bakterie), SPL s. 236 (szpik kostny), SPL/ Steve Gschmeissner s. 243 (krew osoby chorej na białaczkę), Science Source/Don W. Fawcett s. 261 (mastocyty), SPL/Visuals Unlimited, Inc./ Dr Gladden Willis s. 279 (tarczyca osoby chorej na Hashimoto), SPL s. 394 (komórki egzokrynne trzustki); **GETTY IMAGES:** iStock/ktsimage – okładka, E+/amriphoto s. 5 (joga), Westend61 s. 7 (mężczyzna podczas trekkingu), Corbis RF Stills/Fuse s. 8 (kobieta grająca w siatkówkę), Digital Vision/Tony Anderson s. 10 (biegnąca kobieta), Science Photo Library RF s. 10 (model układu mięśniowego człowieka), E+/simonkr s. 16 (tło górskie), E+/miljko s. 16 (biegaczka w górach), iStock/APISIT_WILAIJIT s. 25 (pająk i wylinka), imageBROKER RF/Thomas Hinsche s. 29 (koliber), iStock/xijian s. 32 (linie papilarne), iStock/LUHUANFENG s. 32 (odcisk palca), Brand X Pictures/Science Photo Library/Roger Harris s. 35 (gruczoły mlekowe), E+/Alberto Pomares s. 40 (wpływ promieniowania UV), E+/Juanmonino s. 40 (fototyp 4), Image Source/Callista Images s. 43 (czerniak asymetryczny – A), 500px Unreleased s. 54 (meduza), The Image Bank RF/Kevin Schafer s. 55 (pingwiny królewskie), Moment RF/Aleksei Permiakov s. 55 (żółw zielony), Cultura RF/Rodrigo Friscione s. 55 (dno morskie), E+/cinoby s. 55 (ławica ryb), Moment RF/Kristian Bell s. 56 (wąż), E+/kyoshino s. 56 (piasek na tło), Stone RF/Paul Starosta s. 56 (dżdżownica), Moment Open/Ger Bosma s. 56 (żuk tygrysi), iStock/EyeEm Mobile GmbH s. 57 (las – łąka, tło), E+/Ivan Bliznetsov s. 85 (kobieta jedząca sałatkę), E+/Floortje s. 86–87 (leki i strzykawka), Cultura RF/Igor Emmerich s. 87 (biegnąca kobieta), E+/iphotoworld s. 100 (wąż zjadający mysz), iStock/Jmrocek s. 100 (lis gryzący kości), Moment Open/Wouter Marck s. 104 (sarna zjadająca trawę), Neil Burton s. 105 (dzik), Photodisc/Nico Tondini s. 105 (pijawka lekarska), iStock/Vitalina Rybakova s. 110 (rośliny strączkowe), iStock/anilakkus s. 110 (orzechy i migdały), iStock/JulijaDmitrijeva s. 111 (tłuszcze nienasycone omega 3), Digital Vision/Jonathan Knowles s. 116 (olej na tło), iStock/Anna_Shepulova s. 118 (wapń), Fancy/Veer/Corbis s. 143 (ryba na talerzu), E+/domin_domin s. 143 (talerz), iStock/Inside Creative House s. 143 (otyła osoba ćwicząca), iStock/DMITRIY KUZNETSOV ZZZDIM.COM s. 145 (badanie USG), E+/hdere s. 147 (lód), E+/vm s. 150 (laparoskopia), Stone RF/Paul Starosta s. 166 (traszka *Ambystoma*), iStock/User10095428_393 s. 167 (ryba dwudyszna), E+/Maciej Laska s. 167 (krab), iStock Unreleased/fotoVoyager s. 186 (Szerpowie w Himalajach), Westend61/Alun Richardson s. 186 (himalaiści z butlami tlenowymi), EyeEm/Thierry Najean s. 187 (płetwonurek), Rattanakun Thongbun/EyeEm s. 192 (palenie papierosa), Corbis RM Stills/Viaframe s. 192 (płuca zdrowe i płuca palacza), iStock/WILLSIE s. 195 (RTG płuc – nowotwór), iStock/leonello s. 231 (klatka piersiowa z sercem), iStock/Jacek Chabraszewski s. 240 (kobieta na rowerze), E+/andresr s. 242 (EKG wysiłkowe), Photodisc/Jodi Jacobson s. 279 (łuszczyca), Moment RF/Nature Smart Images s. 289 (szczuroskoczek), iStock/Kerkez s. 303 (dzieci pijące wodę), Brand X/Science Photo Library s. 318–319 (neuron), conceptualmotion s. 337 (osoba zamyślona), E+/izusek s. 338 (nastolatki piszące egzamin), E+/magnetcreative s. 343 (leki), Cultura RF/Phil Boorman Photography Ltd s. 346 (tomografia komputerowa), Cultura RF/Rakusen s. 346 (rezonans magnetyczny), Foodcollection/Image Professionals GmbH s. 369 (produkty bogate w witaminy), iStock/Karanov images s. 369 (badanie wzroku), iStock/Halfpoint s. 369 (kobieta czytająca książkę), BJI/Blue Jean Images s. 375 (baletnica), iStock/ablokhin s. 404 (powiększona tarczyca), iStock/Voislav Kolevski s. 416 (*Anemonia sulcata*), 500px Plus/Juan R.D. Diaz Colodrero s. 417 (pancernik), Photononstop RF/Christophe Lehenaff s. 417 (mszyce), iStock/PeopleImages s. 441 (kobieta w ciąży podczas ćwiczeń), 443 (okres dojrzewania), Digital Vision/Plume Creative s. 443 (okres dorosłości), iStock/stocknroll s. 443 (okres przekwitania), Digital Vision/Jose Luis Pelaez Inc. s. 443 (okres starości), E+/FatCamera s. 446 (aerobik wodny dla seniorów); **INDIGO IMAGES:** Science Photo Library (SPL)/Steve Gschmeissner s. 23 (skóra, obraz SEM), SPL s. 26 (powłoka ciała tasiemca, obraz SEM, mikrokosmki, obraz SEM), 28 (łuski ryby, gruczoły

śluzowe płazów, łuski gada), 29 (pióra ptaka, sierść ssaka, obraz SEM), 35 (gruczoły potowe), SPL/Dr P. Marazzi s. 43 (czerniak o niejednolitym kolorze – C), SPL s. 43 (ewoluowanie zmian czerniaka – E), SPL/Steve Gschmeissner s. 51 (tkanka kostna, obraz SEM), SPL s. 52 (miracidium pasożyta, trochofora), 53 (przekrój przez dżdżownicę, układ mięśniowy konia, ilustracja), AGE Fotostock/Reinhard Dirscherl s. 55 (skalar *Pomacanthus semicirculatus*), SPL s. 56 (czułki pająka), SPL/Steve Gschmeissner s. 59 (tkanka kostna zbita), SPL/SCIEPRO s. 64 (biegnący człowiek – szkielet, ilustracja), SPL s. 65 (agrekan tkanki chrzęstnej), 72 (trzeszczki stopy), 74 (tkanka mięśniowa gładka, tkanka mięśniowa poprzecznie prążkowana serca), SPL/Eric Grave s. 74 (tkanka mięśniowa poprzecznie prążkowana szkieletowa), SPL/Don W. Fawcett s. 77 (sarkomer włókna mięśniowego), SPL/Steve Gschmeissner s. 99 (jelito cienkie, obraz SEM), SPL s. 125 (ściana żołądka), 127 (ściana jelita cienkiego), 149 (zakażenie bakteriami *Helicobacter pylori*, kolonoskopia), 150 (wnętrze żołądka), SPL/The Francis Crick Institute, EM STP, Anne Weston s. 161 (powierzchnia tchawicy, obraz SEM), SPL/Marek Mis s. 166 (skrzela larwy ważki), SPL/Alexander Semenov s. 167 (małże morskie *Modiolus modiolus* i *Mytilus edulis*), SPL/Dennis Kunkel Microscopy s. 167 (skrzela ryby, SEM), SPL s. 173 (nabłonek migawkowy), SPL/Biophoto Associates s. 173 (pęcherzyki płucne), SPL s. 175 (drzewo oskrzelowe), AGE Fotostock/Javier Larrea s. 193 (spirometria), SPL/Dr P. Marazzi s. 195 (powiększone migdałki), SPL/Moredun Animal Health s. 195 (nowotwór płuc), SPL/Steve Gschmeissner s. 205 (krwinki czerwone, obraz SEM), SPL s. 223 (czerwona krwinka, obraz SEM), 226 (tkanka mięśniowa poprzecznie prążkowana serca), 227 (krzywa elektrokardiograficzna), 243 (krew osoby zdrowej), SPL/Steve Gschmeissner s. 243 (krew osoby z anemią), SPL s. 246 (angiogram serca), SPL/Steve Gschmeissner s. 247 (bakterie sepsy, obraz SEM), SPL s. 248 (przekrój przez tętnicę), SPL/Eye Of Science s. 257 (makrofagi atakujące pasożyta, obraz SEM), SPL s. 260 (szpik kostny, obraz SEM), SPL/Steve Gschmeissner s. 260 (makrofagi), SPL s. 260 (neutrofil, eozynofil, bazofil), SPL/Steve Gschmeissner s. 261 (komórka dendrytyczna), SPL/Eye Of Science s. 261 (limfocyt T, komórka NK), SPL s. 261 (limfocyt B), SPL s. 278 (RTG kości), 279 (tarczyca osoby zdrowej), SPL/Steve Gschmeissner s. 287 (kłębuszki nerkowe, obraz SEM), SPL s. 300 (nabłonek przejściowy pęcherza moczowego), 305 (bakterie *E. coli*), SPL/Thomas Deerinck, NCMIR s. 313 (nerw korzeniowy, obraz SEM), SPL/Jose Calvo s. 324 (przekrój przez mózg), SPL/Eye Of Science s. 324 (przekrój przez rdzeń kręgowy), SPL/Susumu Nishinaga s. 355 (budowa oka, obraz SEM), SPL s. 359 (kontrola lotniskowa przy pomocy pszczół, pszczoła miodna, aparat gębowy pszczoły, odnóże pszczoły, czułek pszczoły), 361 (oko), 377 (implant ślimakowy), Design Pics/Mark Hunt s. 377 (język migowy), SPL s. 379 (kubki smakowe, nabłonek węchowy), SPL/Steve Gschmeissner s. 387 (komórki trzustki, obraz SEM), SPL s. 394 (komórki endokrynne trzustki), 402 (produkcja insuliny), 405 (kobieta z głową na laptopie, chłopiec z autyzmem, kobieta zakrywająca uszy), SPL/Steve Gschmeissner s. 415 (nasieniowody, obraz SEM), SPL s. 424 (kanalik nasienny w jądrze), 428 (orzęsiony nabłonek jajowodów), 433 (pęcherzyk Graafa, błona śluzowa macicy), 434 (endometrium w fazie wydzielniczej), 434 (kości z osteoporozą), 448 (Mary-Claire King), 449 (komórki nowotworowe w piersi), 452 (chlamydia), SPL/Dr. David Phillips s. 453 (rzęsistek pochwowy), SPL s. 453 (wirus HPV, bielnik biały); **SHUTTERSTOCK:** PixieMe s. 8 (skóra), Sebastian Kaulitzki s. 10 (układy ciała ludzkiego), Marco Bongera s. 25 (rozgwiazda), YTCphoto s. 32 (rozstępy na skórze), Irina Bg s. 34 (twarz dziewczyny), YuriyZhuravov s. 34 (dłonie), Maridav s. 37 (przegrzanie ciała), Stock-Studio s. 37 (wyziębienie ciała), Evgeniy Kalinovskiy s. 39 (videodermatoskopia), goodluz s. 40 (fototyp 2), Gladskikh Tatiana s. 42 (dziewczynka z psem), Dragana Gordic s. 43 (dziecko z ospą), shoma81 s. 52 (larwa parzydełkowca), Lapis2380 s. 54 (daphnia), Artorn Thongtukit s. 54–55 (dno morskie – tło), OSTILL/Franck Camhi s. 65 (biegnąca kobieta), goodluz s. 67 (twarz kobiety), Maxisport s. 83 (biegacze długodystansowi), Roman Samborskyi s. 90 (kobieta stojąca poprawnie), Christian Musat s. 95 (pingwin peruwiański pod wodą), Drakuliren s. 96 (jerzyk w locie), Tim UR s. 106 (winogrona), nehophoto s. 106 (produkty pełnoziarniste), Albert Fedchenko s. 106 (czekolada), Ulada s. 107 (otręby), Oleksandra Naumenko s. 107 (warzywa i owoce), Antonina Vlasova s. 109 (źródła białek), Elena Zajchikova s. 110 (nasiona słonecznika), Ivaschenko Roman s. 110 (nasiona dyni), beats1 s. 111 (słonecznik, olej słonecznikowy), BGStock72 s. 113 (rodzina w parku), Sea Wave s. 113 (marchew i świeży sok marchwiowy), aboikis s. 114 (orzechy), comzeal images s. 114 (jaja), Aprilphoto s. 114 (zielony groszek), Africa Studio s. 114 (wątróbka), Skobrik s. 114 (chleb razowy), Elena Itsenko s. 115 (owoce cytrusowe), Andrey Eremin s. 115 (czerwone papryki), Zhukovskaya Elena s. 115 (warzywa zielone), Natali Zakharova s. 115 (jeżyny i maliny), Evan Lorne s. 116 (witamina A), tamsindove s. 116 (witamina D_2), Oleksandra Naumenko s. 116 (witamina E), sirtravelalot s. 116 (witamina K), photopixel s. 117 (cytryny i sól), bitt24 s. 118 (żelazo), SUPIDA KHEMAWAN s. 118 (fluor), Magic mine s. 128 (model człowieka z jelitami), Luis Carlos Jimenez del rio s. 142 (piramida żywności), Shutterstock s. 142 (woda), Iurii Stepanov s. 143 (dłonie), Ermak Oksana s. 143 (kasza), Isarapic s. 143 (warzywa), Magic mine s. 147 (model człowieka z żołądkiem), nobeastsofierce s. 147 (bakteria *Salmonella*), Magic mine s. 148 (model człowieka z żołądkiem), Peter Sobolev s. 150 (pigułka z kamerą), Antonio Guillem s. 150 (mężczyzna połykający pigułkę), pongsakorn chaina s. 150 (laptop), Rudmer Zwerver s. 170 (jaszczurka żyworodna), Cira123 s. 177 (kaszlący człowiek), petarg s. 182 (model hemoglobiny), Yevhen Vitte s. 187 (otwieranie butelki wody gazowanej), paradoo s. 190 (smog), khuruzero s. 193 (RTG płuc), LightField Studios s. 195 (badanie gardła), petarg s. 203 (model hemoglobiny), LAILA ALKHALEEL s. 206 (parzydełkowiec), Jaber AlAzmeh s. 224 (biegnące antylopy), Sergii Sobolevskyi s. 225 (ćwiczenia z pierwszej pomocy z użyciem defibrylatora), Jose Luis Calvo s. 236 (przekrój przez jelito), Evgeniy Kalinovskiy s. 237 (zaburzenia przepływu limfy), New Africa s. 240 (odpowiednia dieta), Aquarius Studio s. 241 (probówki z krwią), Peakstock s. 242 (badanie EKG), Ground Picture s. 242 (pomiar ciśnienia krwi), Andrey_Popov s. 247 (dłoń zatrzymująca przewracające się domino), lunamarina s. 263 (płytka z testami ELISA), Robert Kneschke s. 268 (dziecko z gorączką), Alexey Smolyanyy s. 275 (wstrzykiwanie adrenaliny), shurkin_son s. 278 (bielactwo nabyte), Soloviova Liudmyla s. 289 (osoba pijąca wodę), bluehand s. 291 (błazenek), Stefan Petru Andronache s. 291 (królik), clarst5 s. 291 (rudzik), Jung Hsuan s. 292 (koralowiec), New Africa s. 304 (probówka z moczem), Andrii Vodolazhskyi s. 315 (neurony), Dean Drobot s. 322 (GABA – śpiąca kobieta), fizkes s. 322 (dopamina – kobieta odczuwająca smaki), Pecold s. 322 (adrenalina – rafting), Liderina s. 322 (serotonina – kobieta z dzieckiem), Studio Romantic s. 322 (acetylocholina – ćwiczący mężczyzna), Supattra Luasook s. 334 (odruch ssania u dziecka), peter verreussel s. 335 (kobieta trenująca psa), Syda Productions s. 336 (uczeń piszący egzamin), Bram Smits s. 342 (krasnodrzew pospolity – koka), FOTOGRIN s. 343 (e-papierosy), New Africa s. 345 (nastolatek u psychologa), goodluz s. 363 (młoda dziewczyna), LeManna s. 368 (chłopiec czytający książkę), LuckyBall s. 368 (barwna tablica do badania daltonizmu), LightField Studios s. 369 (nastolatki robią eksperyment), PreciousJ s. 374 (osoba przyjmująca leki), Prostock-studio s. 376 (dziewczyna słuchająca muzyki), Nerthuz s. 397 (model tarczycy), Yuganov Konstantin s. 397 (dziewczynka mierząca swój wzrost), Roman Zaiets s. 403 (pobieranie próbek krwi), dr.D s. 404 (USG tarczycy), LStockStudio s. 405 (uczniowie piszący sprawdzian), VH-studio s. 407 (młoda osoba u psychoterapeuty), EJ Ka s. 408 (glukometr i zapisywanie poziomu cukru), godi photo s. 420 (żaby na skrzeku), photomaster s. 420 (gniazdo kosa z jajami), areeya_ann s. 435 (tabletki antykoncepcyjne), Nejron Photo s. 442 (USG kobiety w ciąży), Soda_02 s. 442 (amniopunkcja), Ana Blazic Pavlovic s. 443 (okres poniemowlęcy), Donskaya Olga s. 443 (okres dzieciństwa), sasirin pamai s. 444 (stosowanie antykoncepcji – tabletki, termometr, kalendarz), Studio Romantic s. 445 (para młodych ludzi u ginekologa), Ljupco Smokovski s. 446 (seniorzy grający w szachy), Syda Productions s. 451 (szczepienie przeciwko HPV), Pixel-Shot s. 454 (niepłodność u kobiet – wizyta u lekarza) oraz Bogdan Wańkowicz s. 366 (widzenie dalekie i widzenie bliskie).

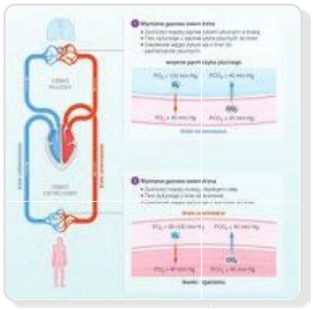
nowa era *Twoje mocne strony*

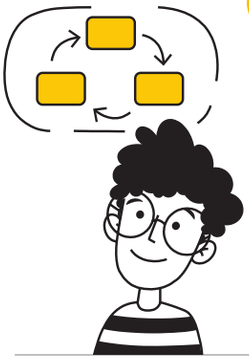
NOWA
Biologia na czasie

Za co polubisz podręcznik *NOWA Biologia na czasie 3*?

Powód 1

Realistyczne ilustracje, uproszczone rysunki i czytelne infografiki. Dzięki nim zrozumiesz, co się dzieje wewnątrz Twojego ciała. Nie ma tu długich tekstów, wszystko widać na grafice.





Powód 2

Wypunktowania, schematy i wyróżnienia. Na pierwszy rzut oka widać, co w tekście jest najważniejsze. Łatwiej wtedy zapamiętujesz, a mniej czasu potrzebujesz na powtórki.

Powód 3

Matura. Dobrze jest mieć podręcznik, który uczy rozwiązywania takich zadań, jakie pojawiają się na maturze. Dzięki temu możesz mieć pewność, że **Wiesz, umiesz, zdasz**.

Nowa Era Sp. z o.o.
www.nowaera.pl nowaera@nowaera.pl
Centrum Kontaktu: 58 721 48 00

ISBN 978-83-267-5349-7
9 788326 753497