

Biologia

ZAKRES PODSTAWOWY



Zmiana MEN 2024



Oznaczono usunięte
i zmienione treści

2

Podręcznik dla **szkół ponadpodstawowych**

Beata Jakubik
Renata Szymańska

Biologia

Podręcznik dla **szkół ponadpodstawowych**

2

ZAKRES PODSTAWOWY

 **OPERON**
Edukacja jest podróżą

2023

Konsultacja naukowa: dr Elwira Smolińska-Fijołek
Projekt okładki: Paweł Kwacz
Redaktor prowadzący: Izabela Kulaszewicz
Redakcja językowa: Marlena Dobrowolska
Redakcja graficzna i skład: Andrzej Puzyński, Roman Osiński
Fotoedycja: Marta Jasińska
Korekta techniczna: Eliza Perkowska

Rysunki: Roman Osiński

Zdjęcia: AquaBounty Technologies/Barrett & MacKay Photography, Shutterstock, Science VU/Drs. H.Potter-D.Dressler/Visuals Unlimited, Wellcome Library London/CC BY 4.0, Wikipedia/CC BY-SA 3.0

OPERON Sp. z o.o. oświadcza, że z należytą starannością podjął wszelkie działania zmierzające do powiadomienia podmiotów majątkowych praw autorskich do utworów słownych i fotograficznych wykorzystanych w podręczniku o zamiarze ich publikacji celem uzyskania od twórców lub ich następców prawnych wymaganej zgody za przysługującym wynagrodzeniem w stosownej wysokości. Osoby, których prawa w sposób niezawiniony przez wydawnictwo zostały naruszone, prosimy o bezpośredni kontakt z wydawcą.

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 w zakresie podstawowym na poziomie szkoły ponadpodstawowej, na podstawie opinii rzeczoznawców: lek. dr. Wojciecha Janusza Baranowskiego, dr Ewy Bartnik, dr Henryki Kaczorowskiej.

Etap edukacyjny: III

Typ szkoły: szkoła ponadpodstawowa

Numer dopuszczenia: 1030/2/2021

© Copyright by OPERON Sp. z o.o. & Beata Jakubik, Renata Szymańska
Gdynia 2021

Wszelkie prawa zastrzeżone. Kopiowanie w całości lub we fragmentach bez zgody wydawcy zabronione.

N7436

Wydawca:

OPERON Sp. z o.o.

81-212 Gdynia, ul. Hutnicza 3

tel. centrali 58 679 00 00

e-mail: info@operon.pl

www.operon.pl

ISBN 978-83-7879-994-8

05/23/XVI/S65

Zgodnie z decyzją MEN od września 2024 r. obowiązuje zmieniona, uszczuplona o ok. 20% podstawa programowa. W związku z tym w podręczniku znalazły się stosowne oznaczenia.



Takim symbolem oznaczono treści usunięte z podstawy programowej.



Takim symbolem oznaczono treści, które zostały zmienione. Nauczyciel przedstawi uczniowi zmiany i wyjaśni, czego powinien się nauczyć.

Spis treści

I. Budowa i funkcjonowanie organizmu człowieka

1. Hierarchiczna struktura ciała człowieka	8
2. Narządy i ich układy w organizmie człowieka	25
3. Rola składników odżywczych w funkcjonowaniu organizmu	30
4. Rola witamin i minerałów w diecie	36
5. Zasady zdrowego żywienia	42
6. Budowa i funkcje układu pokarmowego	45
7. Dodatkowe narządy układu pokarmowego. Trawienie i wchłanianie substancji odżywczych	53
8. Zaburzenia funkcjonowania układu pokarmowego oraz ich profilaktyka	59
9. Budowa i funkcje układu odpornościowego	68
10. Zaburzenia funkcjonowania układu odpornościowego	81
11. Wymiana gazowa i krążenie	86
12. Budowa układu krwionośnego	102
13. Osmoregulacja i wydalanie	119
14. Budowa i funkcje układu hormonalnego	129
15. Fizjologiczna rola hormonów	136
16. Regulacja nerwowa i budowa układu nerwowego	142
17. Narządy zmysłów	161
18. Poruszanie się	170
19. Skóra	186
20. Układ rozrodczy męski	194
21. Budowa i funkcjonowanie żeńskiego układu rozrodczego. Gametogeneza	198
22. Rozwój prenatalny człowieka	208
23. Choroby układu rozrodczego i ich profilaktyka	217
24. Wzrost i starzenie się człowieka	221

II. Ekspresja informacji genetycznej

1. DNA jako materiał genetyczny	242
2. Ekspresja informacji genetycznej	251
3. Translacja – biosynteza białka	258

III. Genetyka klasyczna

1. Podstawowe reguły dziedziczenia cech. Prawa Mendla i ich znaczenie	272
2. Uzupełnienia i modyfikacje praw Mendla	278
3. Chromosomowa teoria dziedziczenia	282

IV. Zmienność organizmów

1. Zmienność organizmów i jej przyczyny	292
2. Zmiany w materiale genetycznym	296
3. Choroby genetyczne człowieka	303

V. Biotechnologia

1. Biotechnologia tradycyjna	316
2. Biotechnologia nowoczesna i inżynieria genetyczna	324
3. Inne narzędzia inżynierii genetycznej	330
4. Zastosowania technik inżynierii genetycznej	339
5. Inżynieria genetyczna w profilaktyce i diagnostyce chorób uwarunkowanych genetycznie	344
6. Mikroorganizmy genetycznie zmodyfikowane	347
7. Modyfikacje genetyczne roślin	353
8. Zwierzęta transgeniczne	358
9. Zagrożenia związane z GMO	361
10. Klonowanie organizmów	365
11. Terapia genowa	373
12. Szanse i zagrożenia związane z biotechnologią i inżynierią genetyczną	377

Eksperymenty i obserwacje	388
Słowniczek trudniejszych pojęć	409
Indeks pojęć i terminów	413

Wstęp

Jak jest zbudowany nasz podręcznik

Podręcznik pozwala na pełne wykorzystanie nowoczesnych metod dydaktycznych w nauczaniu biologii.

Zanim zaczniecie korzystać z podręcznika, zapoznajcie się z jego budową i przyjrzyjcie się wszystkim jego elementom. Zostały one skonstruowane tak, by ułatwić wam naukę i pomóc w błyskawicznym znalezieniu potrzebnych informacji.



Każdy dział podręcznika otwiera **spis tematów** z danego obszaru.

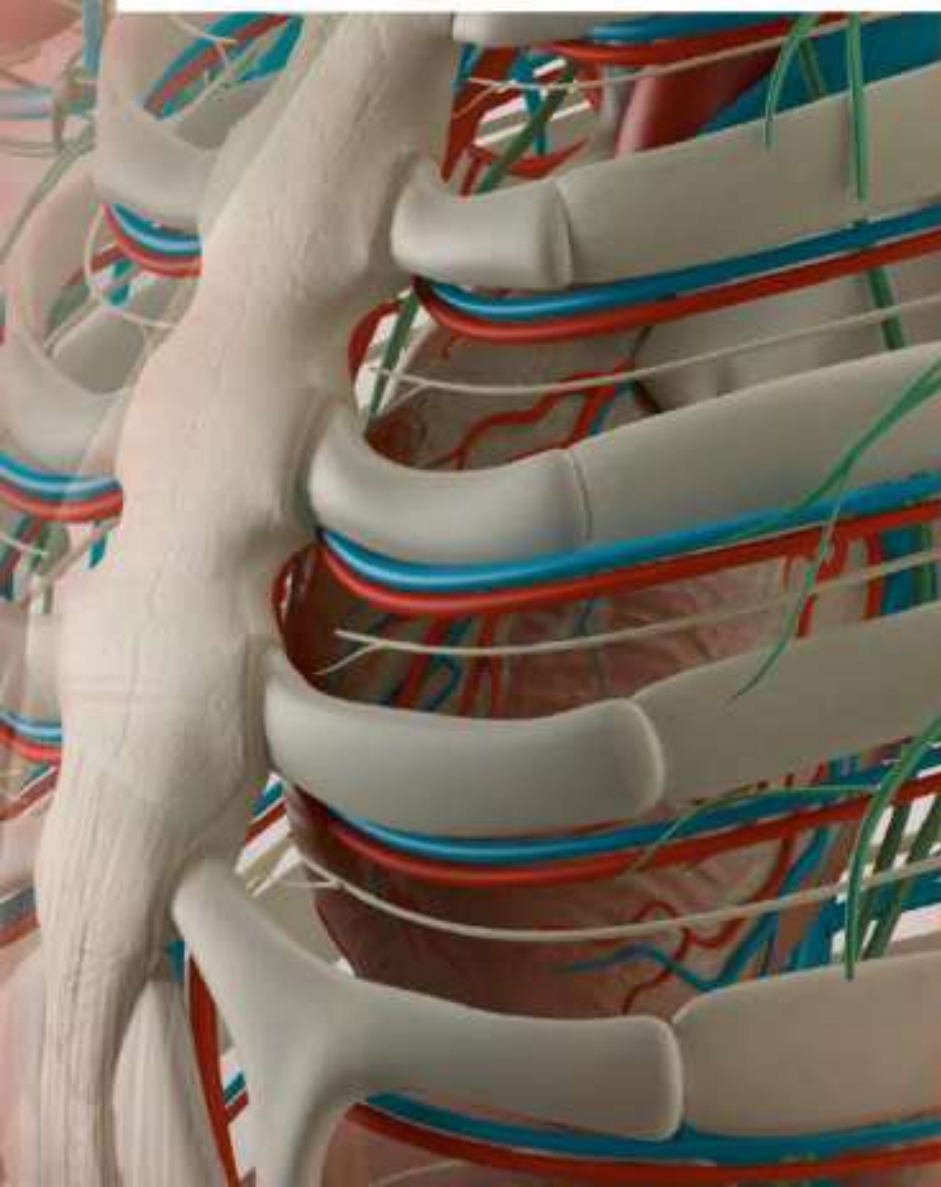
Bezpośrednio pod tytułem rozdziału znajdziecie moduł **„Na tej lekcji”** – jego zadaniem jest ukierunkowanie was na cele realizowane w danym temacie.

Hasła na marginesach to treści obowiązkowe do zapamiętania z lekcji. Zostaną powtórzone w podsumowaniu lekcji.



- ▶ 1. Hierarchiczna struktura ciała człowieka
- ▶ 2. Narządy i ich układy w organizmie człowieka
- ▶ 3. Rola składników odżywczych w funkcjonowaniu organizmu
- ▶ 4. Rola witamin i minerałów w diecie
- ▶ 5. Zasady zdrowego żywienia
- ▶ 6. Budowa i funkcje układu pokarmowego
- ▶ 7. Dodatkowe narządy układu pokarmowego. Trawienie i wchłanianie substancji odżywczych
- ▶ 8. Zaburzenia funkcjonowania układu pokarmowego oraz ich profilaktyka
- ▶ 9. Budowa i funkcje układu odpornościowego
- ▶ 10. Zaburzenia funkcjonowania układu odpornościowego
- ▶ 11. Wymiana gazowa i krążenie
- ▶ 12. Budowa układu krwionośnego

I. Budowa i funkcjonowanie organizmu człowieka



- ▶ 13. Osmoregulacja i wydalanie
- ▶ 14. Budowa i funkcje układu hormonalnego
- ▶ 15. Fizjologiczna rola hormonów
- ▶ 16. Regulacja nerwowa i budowa układu nerwowego
- ▶ 17. Narządy zmysłów
- ▶ 18. Poruszanie się
- ▶ 19. Skóra
- ▶ 20. Układ rozrodczy męski
- ▶ 21. Budowa i funkcjonowanie żeńskiego układu rozrodczego. Gametogeneza
- ▶ 22. Rozwój prenatalny człowieka
- ▶ 23. Choroby układu rozrodczego i ich profilaktyka
- ▶ 24. Wzrost i starzenie się człowieka



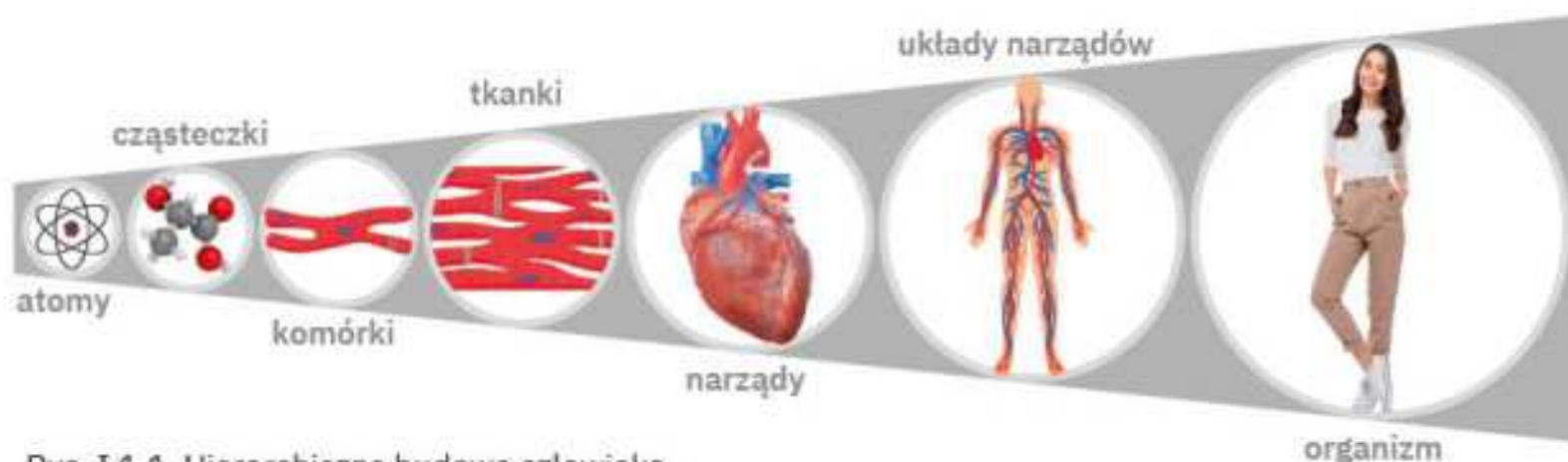
1. Hierarchiczna struktura ciała człowieka

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz tkanki zwierzęce;
- dowiesz się, jaki związek ma budowa tkanki z pełnioną funkcją.

narządy

Zespół komórek o wspólnym pochodzeniu, podobnej budowie i pełniący określoną funkcję nazywamy **tkanką**. Z tkanek są zbudowane narządy, a te, współpracując ze sobą, tworzą **układy narządów**, które współtworzą organizm człowieka i pozwalają na wykonywanie wielu czynności fizjologicznych.



Ryc. I.1.1. Hierarchiczna budowa człowieka.

listki zarodkowe

Złożony plan budowy ciała wymaga współpracy różnych typów tkanek. We wczesnych etapach rozwoju zarodkowego człowieka wykształcają się **listki zarodkowe**: ektoderma, endoderma i mezoderma, z których formują się tkanki (**tab. I.1.1.**).

Tab. I.1.1. Udział listków zarodkowych w tworzeniu tkanek

Typ tkanki	Listki zarodkowe		
	ektoderma	endoderma	mezoderma
nabłonkowa	X	X	X
łączna (w tym krew i limfa)		X	X
mięśniowa			X
nerwowa	X		

Tkanki – budowa i funkcje

podstawowe typy tkanek

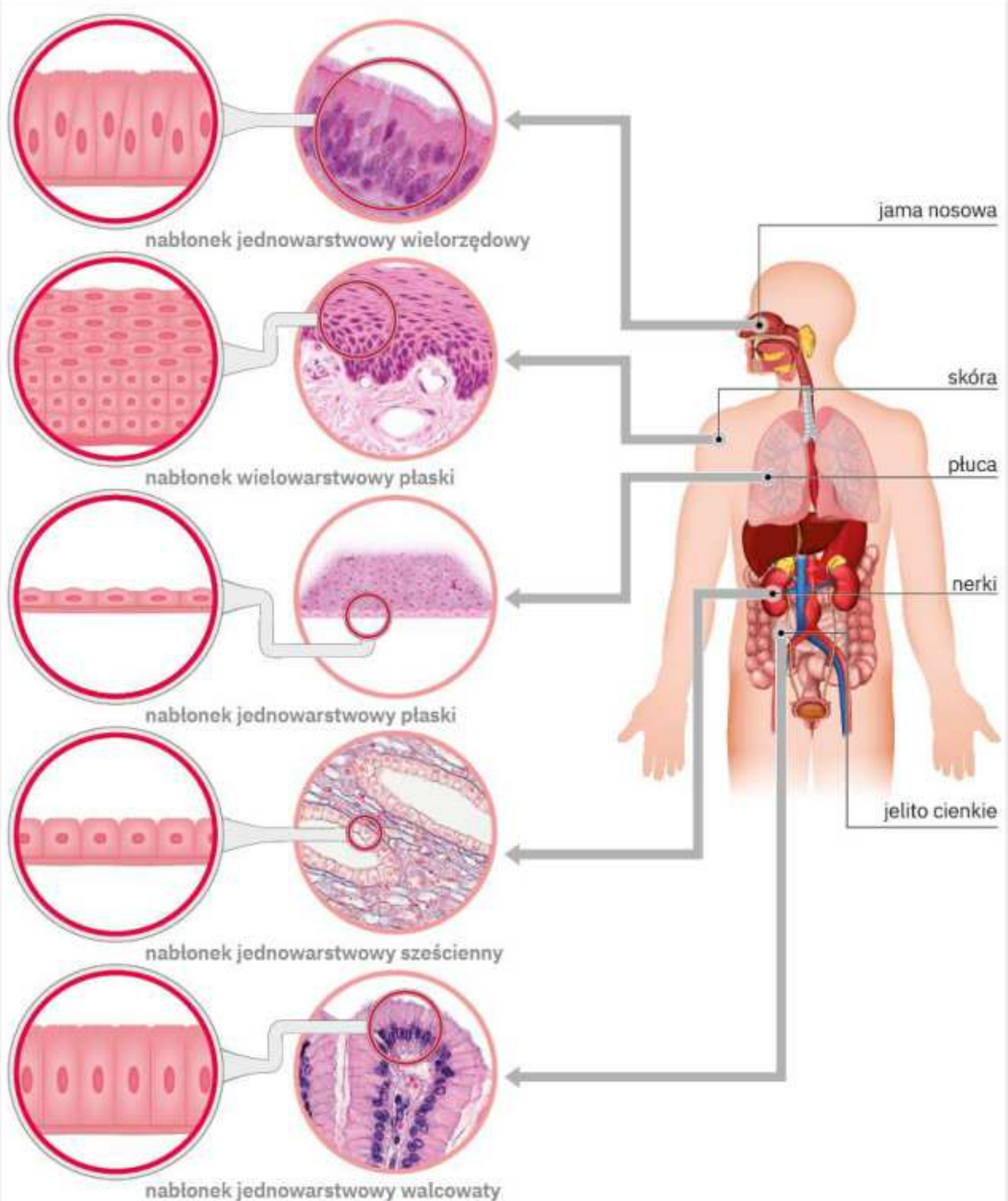
W organizmie człowieka wyróżnia się cztery podstawowe typy tkanek: nabłonkową, łączną, mięśniową i nerwową.



tkanka
nabłonkowa

Tkanka nabłonkowa

Tkanka nabłonkowa może formować się ze wszystkich listków zarodkowych, np. nabłonek skóry powstaje z ektodermy, nabłonek wyściełający drogi oddechowe – z endodermy, a nabłonek wyściełający naczynia krwionośne – z mezodermy.

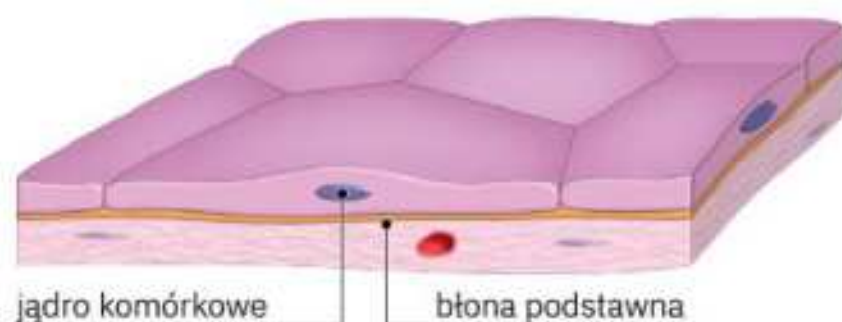


Ryc. I.1.2. Rodzaje tkanek nabłonkowych.



Tkanka nabłonkowa okrywa ciało i narządy wewnętrzne. Stanowi zewnętrzną warstwę skóry, a także wyściela przewody wewnątrz organizmu. Jeśli jej komórki wchodzi w skład gruczołów, może ona pełnić funkcję wydzielniczą, a kiedy budują narządy zmysłów, nabłonek pełni funkcję zmysłową.

Cechą wspólną budowy wszystkich nabłonków jest zwarty układ komórek, które ściśle do siebie przylegają. Komórki są osadzone na **błonie podstawnej** (substancji bezkomórkowej zbudowanej z włókien białkowych) (**ryc. I.1.3.**).



Ryc. I.1.3. Model budowy nabłonka jednowarstwowego płaskiego. Błona podstawna umożliwia zachowanie kształtu komórkom nabłonka i pozwala na transport substancji między nim a leżącą pod nim tkanką łączną. Dzięki temu następuje odżywianie nabłonka, który nie jest unaczyniony.

nabłonki
jednowarstwowe
i wielowarstwowe

Podstawowy podział nabłonków opiera się na kształcie komórek, liczbie ich warstw oraz funkcji, jaką spełniają (**tab. I.1.2.**). Nabłonki zbudowane z pojedynczej warstwy komórek o podobnym kształcie określamy jako **jednowarstwowe**, a gdy warstw jest więcej – jako **wielowarstwowe**. Szczególny rodzaj nabłonka jednowarstwowego to nabłonek **wielorzędowy**, którego komórki mają różną wysokość, co sprawia wrażenie, że tworzą kilka warstw. Nabłonki jednowarstwowe najczęściej występują w miejscach, gdzie zachodzi intensywna wymiana substancji, np. dyfuzja, a nabłonki wielowarstwowe znajdują się w miejscach, w których jest potrzebna ochrona fizyczna lub chemiczna. Komórki tkanki nabłonkowej mogą mieć kształt płaski, sześcienny (brukowy, kostkowy) lub walcowaty (cylindryczny).

Tab. I.1.2. Kryteria podziału tkanki nabłonkowej

Kryterium podziału	Rodzaj nabłonka
Liczba warstw komórek	jednowarstwowo, wielowarstwowo
Kształt komórek	płaski, sześcienny, walcowaty
Funkcje	ochronny, transportujący, wydzielniczy, czuciowy, rozrodczy

Nabłonek jednowarstwowo płaski

Nabłonek jednowarstwowo płaski tworzy jedna warstwa szerokich, spłaszczonych komórek, których jądra są umieszczone centralnie. Nabłonek musi być cienki i przepuszczalny, ponieważ występuje w tej części organizmu, gdzie odbywa się wymiana substancji przez dyfuzję (**ryc. I.1.2.**). Wyściela naczynia krwionośne i limfatyczne, pęcherzyki płucne oraz jamy serca, a także znajduje się na powierzchni błon surowiczych (opłucnej, osierdza, otrzewnej).



Nabłonek jednowarstwowy sześcienny

Nabłonek jednowarstwowy sześcienny jest zbudowany z jednej warstwy równościennych komórek (przypominają kształtem kostki do gry), których jądra są umieszczone centralnie (**ryc. I.1.2.**). Występuje u człowieka w miejscach intensywnego wchłaniania i wydzielania – w przewodach wyprowadzających gruczołów wydzielania zewnętrznego, np. śliniankach, gruczołach mlecznych, a także w ścianach kanalików nerkowych.

Nabłonek jednowarstwowy walcowaty

Nabłonek jednowarstwowy walcowaty składa się z jednej warstwy komórek o kształcie wydłużonym (nieregularne graniastosłupy), których jądra znajdują się blisko błony podstawnej (**ryc. I.1.2.**). Wyścięta przewód pokarmowy (od żołądka do odbytnicy), gdzie odpowiada za wydzielanie soków trawiennych. W jelicie cienkim komórki nabłonka mają liczne cienkie wypustki cytoplazmatyczne – **mikrokosmki**, które zwiększają powierzchnię wchłaniania składników pokarmowych. W jajowodzie dzięki licznym **rzęskom** ułatwiają przemieszczanie komórki jajowej (lub zygoty) w kierunku macicy.

Nabłonek jednowarstwowy wielorzędowy

Nabłonek jednowarstwowy wielorzędowy jest zbudowany z jednej warstwy komórek o różnej wysokości i kształcie graniastosłupów, przez co jądra komórkowe znajdują się na różnych poziomach (**ryc. I.1.2.**). Wyścięta drogi oddechowe (część oddechową i węchową jamy nosowej, górną część gardła, tchawicę, oskrzela). Dzięki obecności mikrokosmków na wolnej powierzchni komórek ułatwia usuwanie zanieczyszczeń, np. cząstek kurzu i pyłu.

Nabłonek wielowarstwowy płaski

Nabłonek wielowarstwowy płaski składa się z **kilku warstw komórek**, których warstwa zewnętrzna jest spłaszczona (**ryc. I.1.2.**). Występuje na powierzchniach narażonych na ścieranie. Ma zdolności regeneracyjne dzięki intensywnym podziałom mitotycznym zachodzącym w głębszych jego warstwach. Nowe komórki umożliwiają złuszczenie się warstw wierzchnich i stałe odnawianie się całego nabłonka. Nabłonek tworzy zewnętrzną warstwę skóry (naskórek). Występuje w jamie ustnej, w części środkowej i dolnej gardła, wyścięta większą część przetyku i pochwę, a także tworzy przednią powierzchnię rogówki oka.

Tkanka łączna

Tkanka łączna powstaje z mezodermy. W organizmie człowieka jest odpowiedzialna za szereg funkcji: wypełniającą, odżywczą, transportową, szkieletotwórczą oraz obronną (**ryc. I.1.4.**).

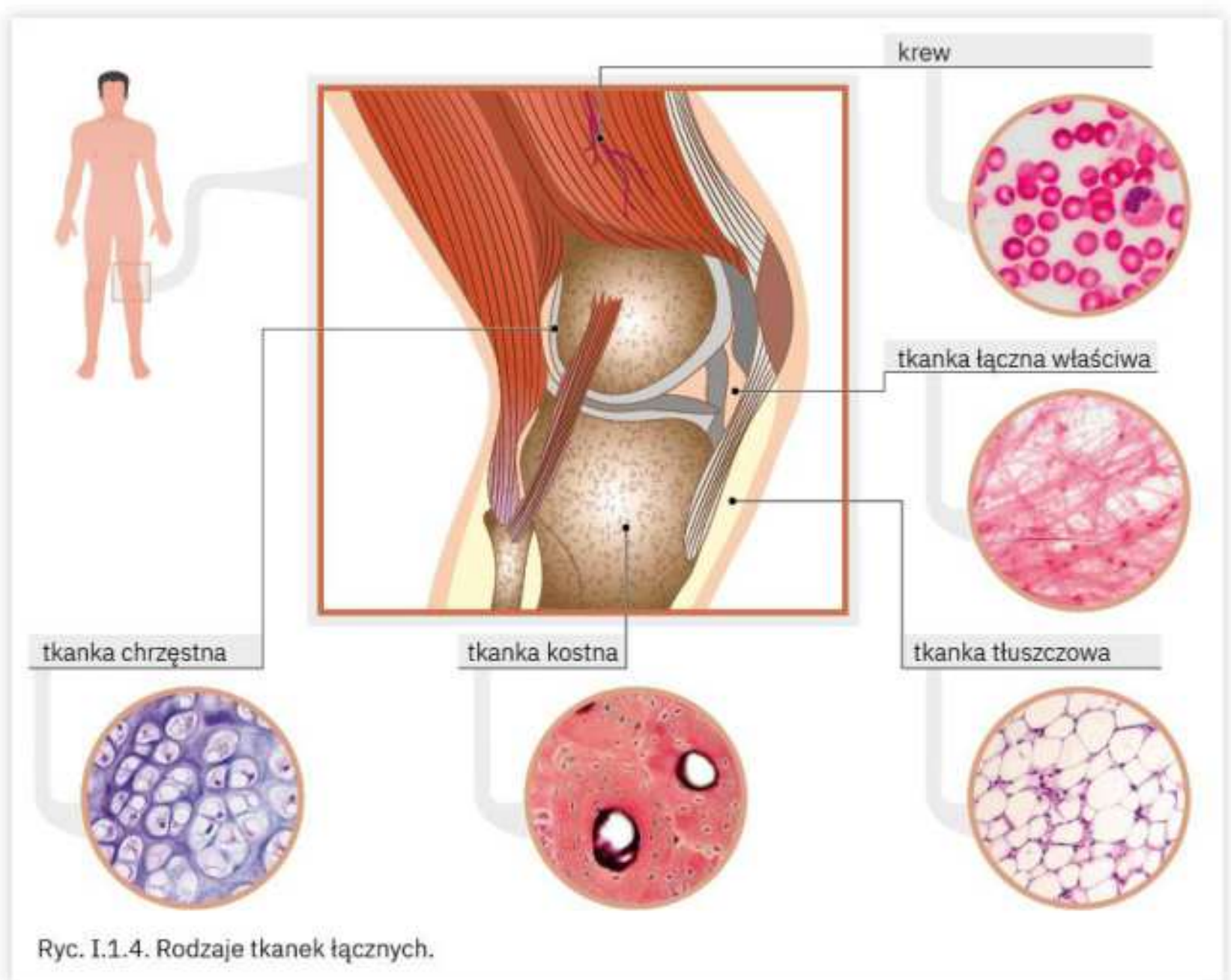
Składa się z **substancji międzykomórkowej**, w której są zawieszone **komórki**. **Komórki różnych typów tkanek łącznych różnią się kształtem i budową**. W skład substancji międzykomórkowej wchodzi **istota podstawowa** (rodzaj żelu z dużą zawartością wody w tkankach łącznych właściwych czy twarda, zmineralizowana substancja podstawowa w tkankach łącznych oporowych) oraz **białkowe elementy włókniste**, do których należą:

tkanka łączna



- **włókna kolagenowe** – zbudowane z nierozpuszczalnego białka **kolagenu**, nadające dużą wytrzymałość i odporność na rozerwanie, dlatego licznie występują w ścięgnach, chrząstkach i kościach;
- **włókna sprężyste** – zbudowane z białka **elastyny**, tworzącego nieregularną, sprężystą sieć, która nadaje giętkość i sprężystość;
- **włókna retikulinowe** – zbudowane z białka **retikuliny**, które jest składnikiem delikatnych włókien stanowiących rusztowania zrębów niektórych narządów wewnętrznych, np. węzłów chłonnych.

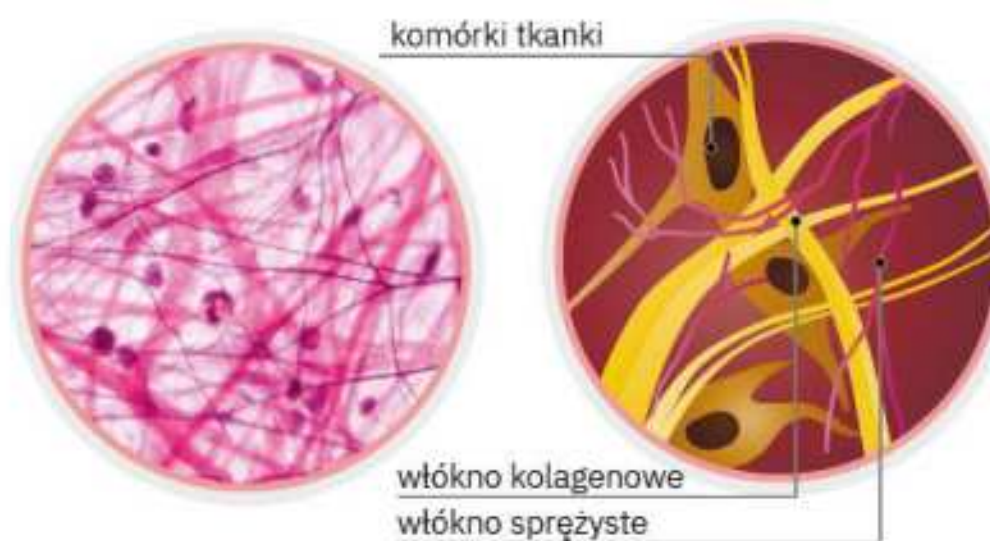
Tkanka łączna jest najbardziej zróżnicowaną tkanką spośród tkanek budujących organizm człowieka. Najważniejszymi rodzajami tkanki łącznej są: tkanka łączna właściwa, tkanka tłuszczowa, tkanka chrzęstna, tkanka kostna oraz krew i limfa.





Tkanka łączna właściwa

Tkanka łączna właściwa dzięki nieregularnie ułożonym włóknom kolagenowym, sprężystym i retikulinowym w substancji podstawowej stanowi rusztowanie dla innych tkanek i narządów, utrzymując je we właściwym miejscu. Razem z podskórną tkanką tłuszczową tworzy przyczep skóry do mięśni, zapewniając tym samym elastyczną podporę.



Ryc. I.1.5. Model tkanki właściwej.

Obecność włókien kolagenowych daje tkance dużą wytrzymałość. W związku z tym ta tkanka buduje skórę właściwą kręgowców (umożliwia silne odkształcanie), występuje w ścięgnach, które łączą mięśnie z kośćmi, oraz w więzadłach wzmacniających połączenia stawowe i łączących ze sobą kości.

Tkanka tłuszczowa

Tkanka tłuszczowa gromadzi tłuszcz, który może być wykorzystywany w organizmie jako źródło energii. Tkanka tłuszczowa występuje w dwóch postaciach: żółtej i brunatnej. Tkanka żółta znajduje się przede wszystkim pod skórą i w torebkach tłuszczowych wokół narządów wewnętrznych. Pełni funkcję termoizolacyjną, odżywczą i amortyzującą wstrząsy.

Tkanka brunatna pojawia się w życiu płodowym człowieka i utrzymuje się jeszcze w okresie niemowlęcym. Jej zadaniem jest gromadzenie ciepła. Natomiast u zwierząt występuje u gatunków zapadających w sen zimowy, czyli hibernujących.

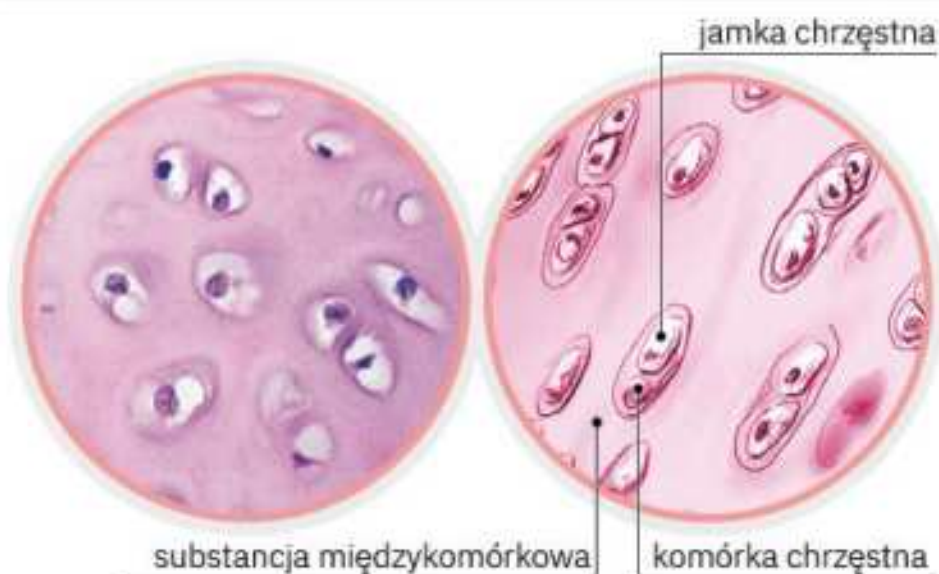


Ryc. I.1.6. Jeż europejski (*Erinaceus europaeus*) zapada w sen zimowy, kiedy temperatura otoczenia spada w ciągu kilku dni poniżej 10°C. W jego organizmie następuje spowolnienie większości czynności fizjologicznych.

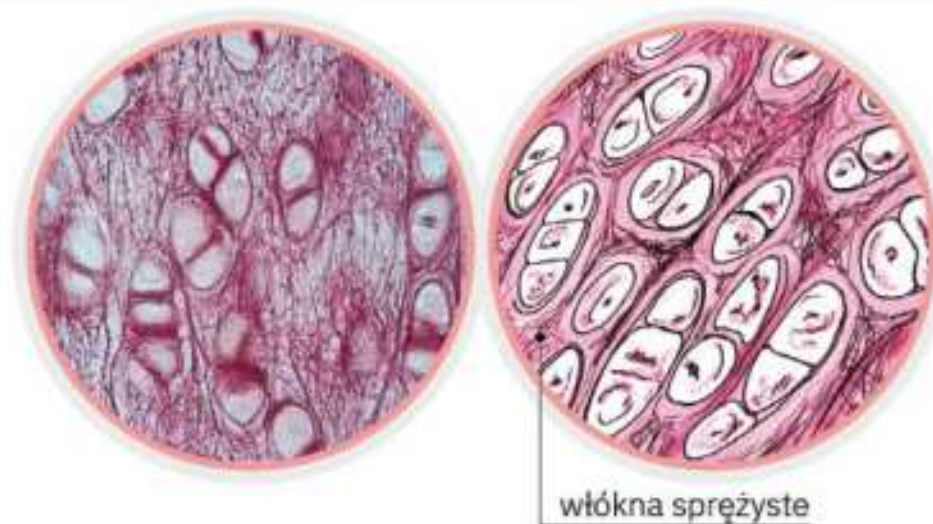


Tkanka chrzęstna

Tkanka chrzęstna jest zbudowana z **komórek chrzęstnych** oraz **substancji międzykomórkowej**, w której są zanurzone włókna białkowe. Komórki chrzęstne znajdują się pojedynczo lub po kilka w jamkach chrzęstnych. Wyróżnia się tkankę chrzęstną szklaną, sprężystą i włóknistą.



Ryc. I.1.7. Model tkanki chrzęstnej szklistej.



Ryc. I.1.8. Model tkanki chrzęstnej sprężystej.



Ryc. I.1.9. Model tkanki chrzęstnej włóknistej.

● Tkanka chrzęstna szklista

W substancji podstawowej tej tkanki między cienkimi **włóknami kolagenowymi** znajdują się liczne skupiska komórek chrzęstnych (ryc. I.1.7.). Daje to odporność na ścieranie i dlatego w szkieletie dorosłego człowieka tkanka ta buduje powierzchnie stawowe i przymostkowe części żeber. Występuje również w części chrzęstnej nosa, nagłośni i w oskrzelach. Tkanka stopniowo ulega kostnieniu (mineralizacji).

● Tkanka chrzęstna sprężysta

Tkanka chrzęstna sprężysta zawiera w istocie podstawowej dużą ilość **włókien sprężystych**, nadających tkance elastyczność (ryc. I.1.8.). Występuje w małżowinie usznej, a także współtworzy część chrząstek krtani i nagłośni. Jako jedyna tkanka chrzęstna nie ulega mineralizacji.

● Tkanka chrzęstna włóknista

Tkanka chrzęstna włóknista w substancji podstawowej ma liczne grube **włókna kolagenowe** z niewielką ilością włókien sprężystych, co czyni ją wytrzymałą na rozerwanie i zgniatanie. Występuje w miejscach przyczepu mięśni do kości, buduje spójnię łonowe oraz dyski międzykręgowe w kręgosłupie (ryc. I.1.9.).



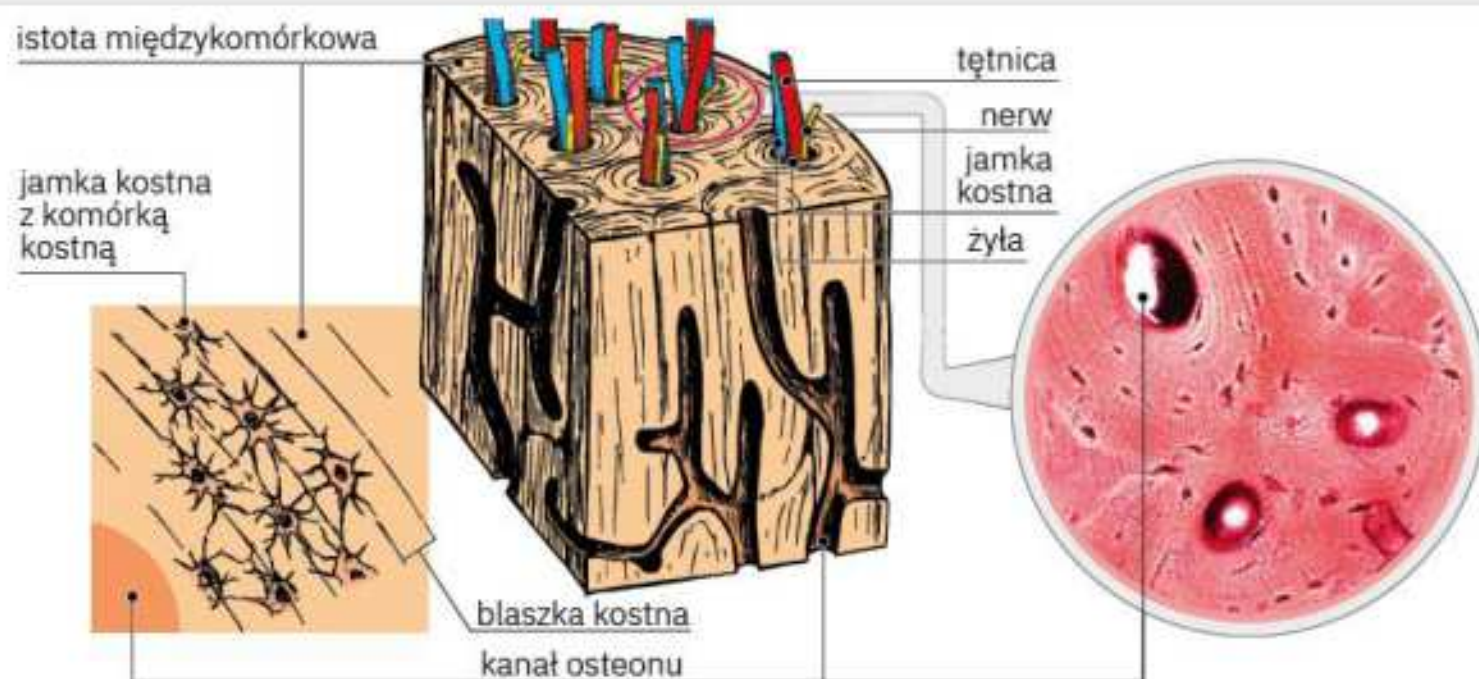
Tkanka kostna

Tkanka kostna powstaje na drodze kostnienia tkanki chrzęstnej szklistej lub w nieznacznym stopniu tkanki łącznej właściwej. Proces kostnienia kończy się około 21. roku życia u mężczyzn (u kobiet nieco wcześniej). W przeciwieństwie do tkanki chrzęstnej w tkance kostnej przebiegają naczynia krwionośne, które zaopatrują komórki tkanki w tlen i substancje odżywcze i jednocześnie usuwają z nich zbędne produkty przemiany materii. Tkanka pełni wiele funkcji wynikających z jej budowy: podporową, osłaniającą narządy miękkie, zapasową dla jonów, głównie wapniowych, a także krwiotwórczą. Kolagenowa substancja międzykomórkowa – **osseina** – jest przesycona **solami mineralnymi** (m.in. fosforanem wapnia i magnezu, węglanem wapnia). Sole mineralne nadają tkance twardość, co czyni ją odporną na ścieranie, a obecność włókien kolagenowych zapewnia jej elastyczność. W substancji międzykomórkowej występują liczne **jamki kostne** połączone kanalikami kostnymi. W każdej jamce znajduje się **komórka kostna**, która kontaktuje się z innymi komórkami kostnymi za pomocą wypustek cytoplazmatycznych. Komórki kostne tworzą **blaszki kostne**. Składniki organiczne stanowią około 30% masy kości, a związki mineralne – około 70%. Wraz z wiekiem zmniejsza się w kościach zawartość związków nieorganicznych, co jest przyczyną kruchości i częstej łamliwości kości ludzi w starszym wieku.

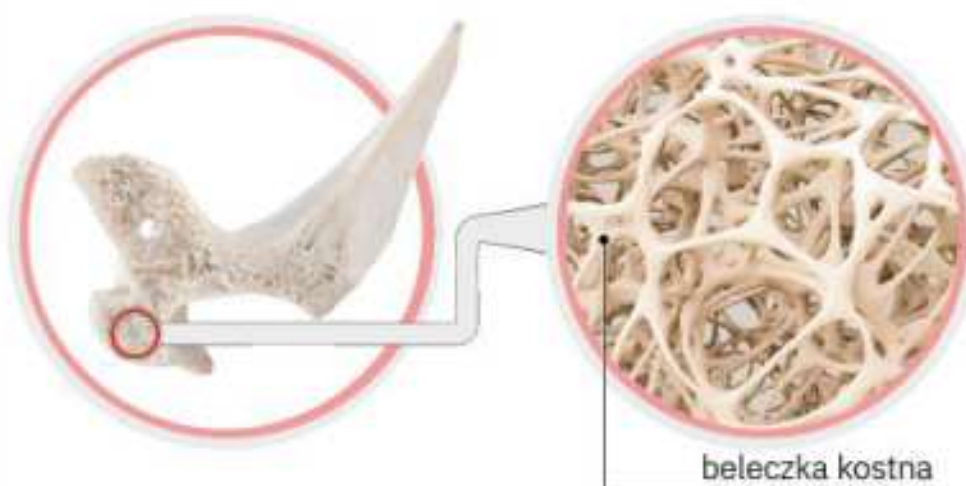
Ze względu na sposób ułożenia blaszek kostnych wyróżnia się dwa rodzaje tkanki kostnej: zbitą i gąbczastą.

● Tkanka kostna zbita

W tej tkance kostnej zbitej blaszki kostne układają się koncentrycznie wokół centralnie położonego kanału, przez który przechodzą naczynia krwionośne, limfatyczne i nerwy (ryc. I.1.10.). Tworzy to podstawową jednostkę budulcową tkanki kostnej – **osteon**. Pomiedzy osteonami znajduje się istota międzykomórkowa. Tkanka ta buduje m.in. trzony kości długich, zewnętrzne warstwy kości płaskich, a w czaszce współtworzy kości osłaniające mózg.



Ryc. I.1.10. Model tkanki kostnej zbitej.



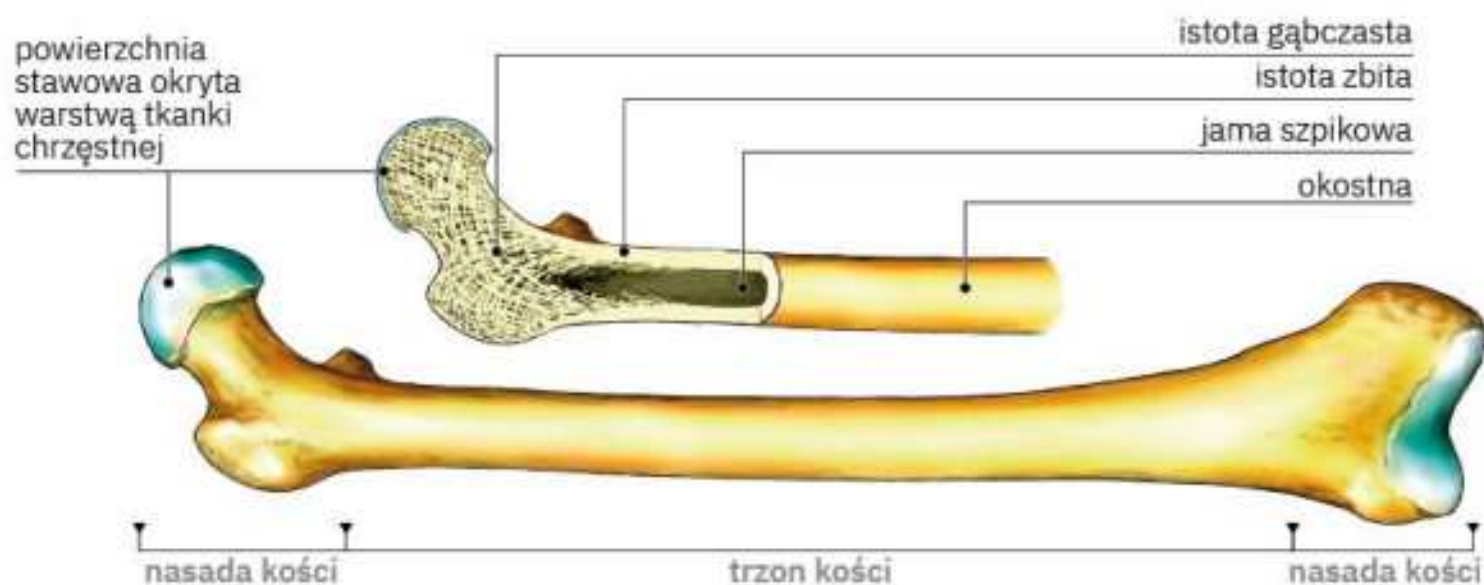
Ryc. I.1.11. Model tkanki kostnej gąbczastej.

● Tkanka kostna gąbczasta

Tkanka kostna gąbczasta w porównaniu z tkanką zbitą ma budowę mniej zwartą. Podstawę tej tkanki tworzą **beleczki kostne** utworzone z blaszek kostnych, które są ułożone w gęstą sieć przestrzenną. Przypomina to strukturę gąbki kąpielowej (stąd określenie – gąbczasta; **ryc. I.1.11.**).

Taka ażurowa struktura amortyzuje przeciążenia, dlatego tkanka kostna gąbczasta buduje nasady

kości długich oraz wewnątrz kości płaskich (**ryc. I.1.12.**). Wewnątrz kości znajduje się jama szpikowa wypełniona szpikiem kostnym. W niektórych kościach jest to szpik żółty stanowiący główny zapas tłuszczu. W jamach szpikowych kości długich i płaskich oraz w przestrzeniach między beleczkami kostnymi znajduje się szpik czerwony odpowiedzialny za powstawanie składników krwi. Na zewnątrz kość pokrywa łącznotkankowa błona – okostna – zaopatrzona w liczne naczynia krwionośne i nerwy. Do jej zadań należy zaopatrywanie kości w tlen i składniki odżywcze. Za regenerację kości są odpowiedzialne komórki kościotwórcze i kościogubne. Komórki kościogubne rozpuszczają kość w miejscu jej uszkodzenia, a kościotwórcze uzupełniają powstałe ubytki.



Ryc. I.1.12. Lokalizacja istoty zbitej i gąbczastej w kości długiej.

Krew i limfa

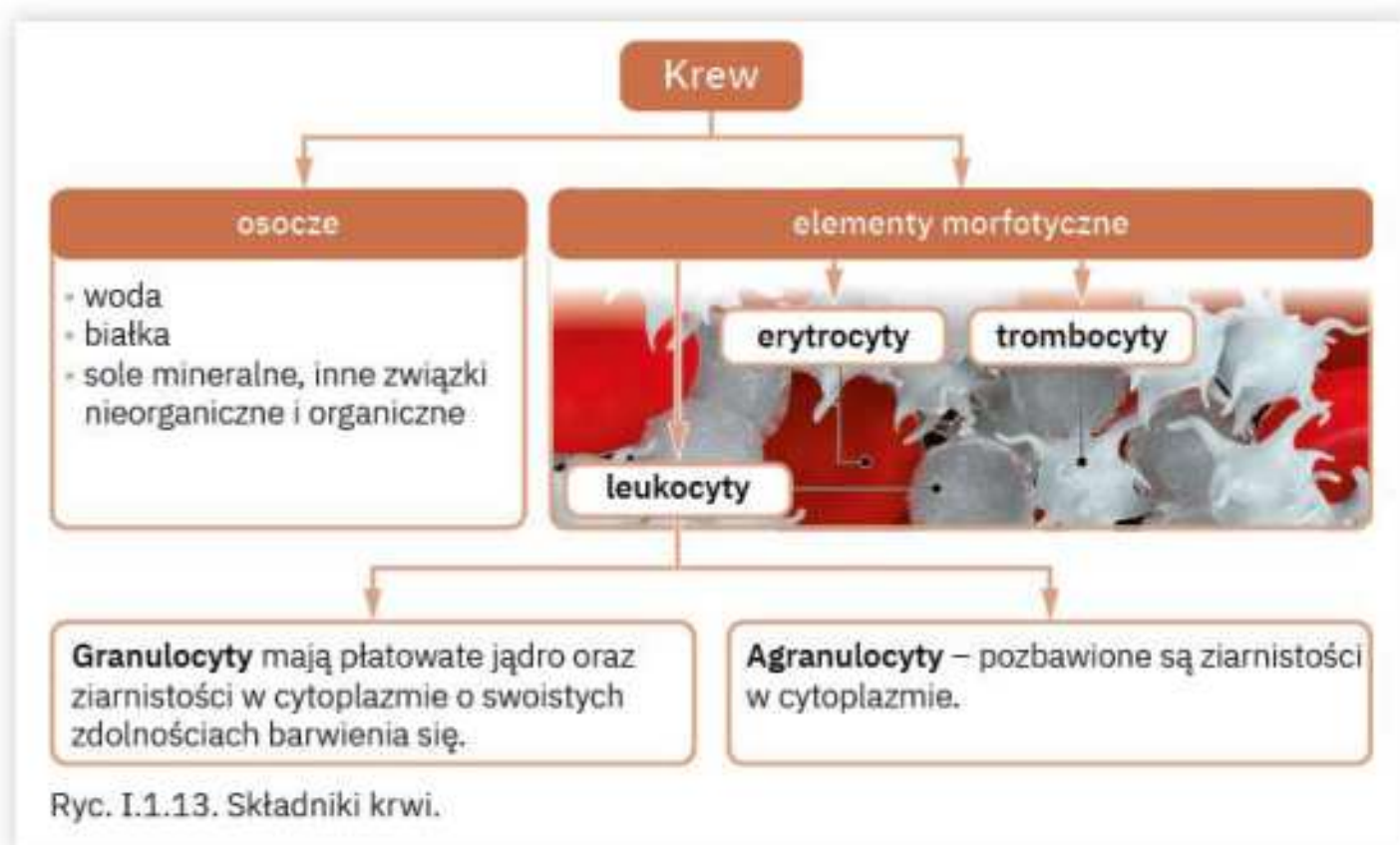
Krew w organizmie człowieka spełnia funkcję:

- oddechową – poprzez transport tlenu z płuc do wszystkich komórek ciała;
- odżywczą – zaopatruje wszystkie komórki w substancje budulcowe i energetyczne;
- wydalniczą – poprzez transport zbędnych i szkodliwych produktów przemiany materii: dwutlenku węgla i związków azotu;



- immunologiczną – uczestniczy w reakcjach odpornościowych organizmu;
- termoregulacyjną – rozprowadza ciepło po organizmie i pozwala na utrzymanie stałej temperatury ciała.

Funkcje krwi wynikają z jej budowy. Krew składa się z substancji podstawowej – nieupostaciowanego **osocza** (ok. 55% objętości krwi) oraz zawieszonych w nim komórek – **elementów morfotycznych krwi** (ok. 45% objętości krwi) (**ryc. I.1.13.**). W skład osocza – lekko żółtej cieczy – wchodzi: woda (ok. 90%), związki nieorganiczne (ok. 1%) oraz związki organiczne (ok. 9%). Związki nieorganiczne to głównie jony sodu, potasu, magnezu, wapnia i chloru oraz wodorowęglany. Odpowiadają one za utrzymanie równowagi osmotycznej i stałego pH krwi. Wśród związków organicznych osocza występują przede wszystkim białka: **albuminy** transportujące



jony wapnia, barwniki żółciowe oraz kwasy tłuszczowe i buforujące krew (utrzymujące stałe pH), **immunoglobuliny** odpowiedzialne za reakcje odpornościowe organizmu przez wytwarzanie przeciwciał, a także **fibrinogen** biorący udział w krzepnięciu krwi. Oprócz białek w skład osocza wchodzi substancje odżywcze dostarczane do komórek, takie jak: glukoza, aminokwasy, witaminy, oraz zbędne produkty przemiany materii, m.in. mocznik, kwas moczowy, a także hormony. Osocze pozbawione fibrynogenu nosi nazwę **surowicy krwi**.

● Składniki morfotyczne krwi

We krwi człowieka występują trzy rodzaje **elementów morfotycznych**: erytrocyty (krwinki czerwone), leukocyty (krwinki białe) i płytki krwi (trombocyty).

Krwinki czerwone, czyli **erytrocyty**, mają kształt dwuwklęsłych krążków, a ich czerwone zabarwienie wynika z obecności rozpuszczonego w cytoplazmie barwnika – **hemoglobiny**. Liczba erytrocytów we krwi mężczyzny wynosi około 5,4 mln/mm³, we krwi kobiety – około 4,5 mln/mm³, natomiast u noworodka – około 7 mln/mm³.



Ryc. I.1.14. U ssaków dojrzałe erytrocyty są pozbawione jądra komórkowego. Wyjątek stanowią daniela, wielbłądy oraz lamy, u których krwinki czerwone mają jądro komórkowe.

Ilość erytrocytów jest cechą gatunkową i zmienia się w zależności od wielu czynników, np. wieku, płci, rodzaju spożywanych pokarmów czy wysokości, na której przebywamy. W górach, gdzie powietrze wraz ze wzrostem wysokości nad poziomem morza staje się rzadsze i spada w nim zawartość tlenu, wzrasta w organizmie człowieka ilość erytrocytów, co oznacza, że więcej tlenu dotrze do każdej komórki ciała. Dojrzałe erytrocyty człowieka (i pozostałych ssaków; **ryc. I.1.14.**) nie mają jądra komórkowego i większości organelli komórkowych, co zmniejsza wyraźnie koszty ich metabolizmu i dzięki temu mogą transportować tlen i częściowo dwutlenek węgla.

Erytrocyty żyją stosunkowo krótko – ok. 120 dni. Powstają w czerwonym szpiku kostnym niektórych kości (kręgi, łopatki, mostek, żebra, kości czaszki), a rozkładają się w śledzionie i wątrobie.

Krwinki białe, czyli **leukocyty**, są najbardziej zróżnicowaną pod względem budowy grupą morfotyczną krwi. Ich liczba wynosi 5–10 tys./mm³ i często się zmienia, np. podczas choroby zakaźnej czy nowotworowej. Leukocyty są bezbarwne (widoczne w mikroskopie po odpowiednim barwieniu) i mają kształt kulisty lub owalny. Niektóre z nich tworzą wypustki, za pomocą których mogą ruchem pęzako-watym przedostawać się ze światła naczynia krwionośnego do tkanek. Są większe od erytrocytów i zawierają jądro komórkowe oraz organelle komórkowe. Leukocyty powstają głównie w czerwonym szpiku kostnym, ale także w układzie limfatycznym (grasica, śledziona), a rozkładają się w śledzionie. Czas ich życia wynosi od kilku dni do kilku lat (w przypadku komórek pamięci immunologicznej). Leukocyty biorą udział w reakcjach obronnych organizmu.

Wyróżnia się dwa rodzaje leukocytów: granulocyty i agranulocyty. **Granulocyty** mają ziarnistości w cytoplazmie (o specyficznych zdolnościach do barwienia) oraz duże, płatkowate jądro. Ziarnistości wchodzi w reakcje z barwnikami i z tego względu granulocyty dzieli się na granulocyty obojętnochłonne, kwasochłonne oraz zasadochłonne. Największy udział w ogólnej liczbie leukocytów mają **obojętnochłonne** – stanowią 60–70%. **Agranulocyty** nie zawierają ziarnistości w cytoplazmie, w przeciwieństwie do granulocytów. Mają duże, wypełniające prawie całą cytoplazmę jądro komórkowe kształtu kulistego lub nerkowatego. Agranulocyty dzieli się na limfocyty i monocyty. **Limfocyty** stanowią 25–35% ogólnej liczby leukocytów. Należą do nich **limfocyty T** żyjące do kilku lat oraz **limfocyty B**, które żyją dość krótko – do 10 dni (z wyjątkiem komórek pamięci immunologicznej).

Monocyty są największymi komórkami krwi. Stanowią 4–6% ogólnej liczby leukocytów. Mają duże jądra o kształcie nerkowatym. Odznaczają się zdolnością do



ruchu pełzakowatego. Monocyty produkują **interferon** – białko hamujące namnażanie się wirusów. Żyją dość krótko: 3–5 dni.

Trombocyty (płytki krwi)

Trombocyty są bezbarwnymi, najmniejszymi elementami morfotycznymi krwi. Powstają jako oderwane różnokształtne fragmenty dużych komórek szpiku kostnego. Podobnie jak erytrocyty nie mają jądra komórkowego. Ich liczba wynosi od 200 do 400 tys./mm³. Żyją dość krótko (8–10 dni) i jeśli nie zostaną wykorzystane, są usuwane w wątrobie i śledzionie. Trombocyty uczestniczą w procesie krzepnięcia krwi.

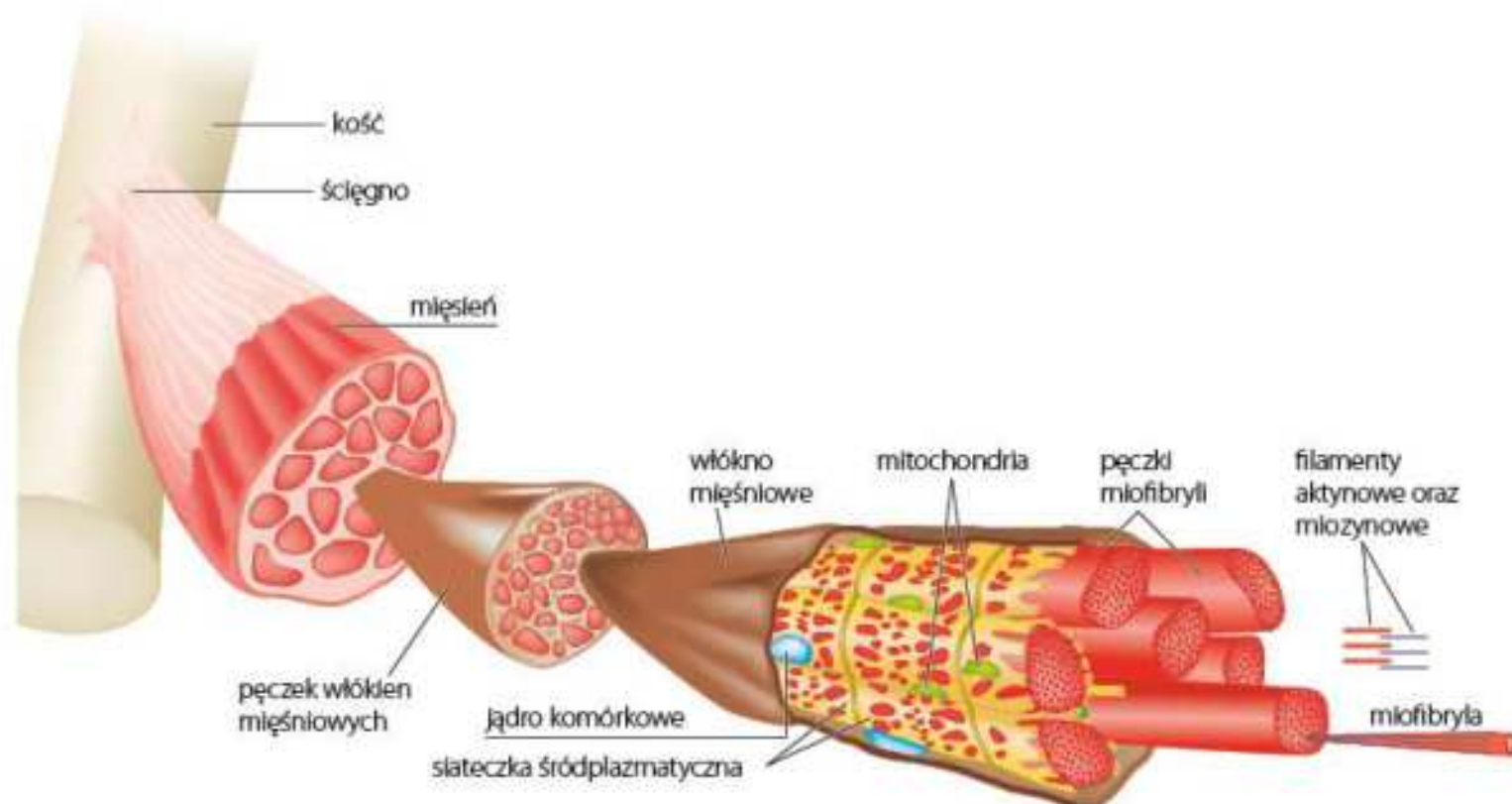
Limfa (chłonka)

Limfa powstaje jako przesącz składników krwi przez naczynia krwionośne do przestrzeni międzykomórkowych innych tkanek. Skład limfy jest bardzo zbliżony do osocza krwi, zawiera jednak mniej substancji wielkocząsteczkowych, takich jak białka. W limfie znajdują się duże ilości limfocytów oraz tłuszczów pokarmowych, nadających jej żółtawe zabarwienie. Naczynia, przez które przepływa limfa, nazywamy naczyniami limfatycznymi. Limfa bierze udział w reakcjach odpornościowych organizmu.

Tkanka mięśniowa

tkanka mięśniowa

Podstawową cechą tkanki mięśniowej jest jej zdolność do aktywnego kurczenia się, która pozwala na wykonywanie ruchów. Wynika to z odpowiedniej budowy tkanki mięśniowej złożonej z komórek mięśniowych o wydłużonym kształcie. Takie komórki nazywa się włóknem mięśniowym. W cytoplazmie włókna oprócz typowych organeli komórki eukariotycznej znajdują się kurczliwe białka tworzące filamenty – cienkie, zbudowane z białka **aktyny** oraz grube, które tworzy białko **miozyna** (ryc. I.1.15.).

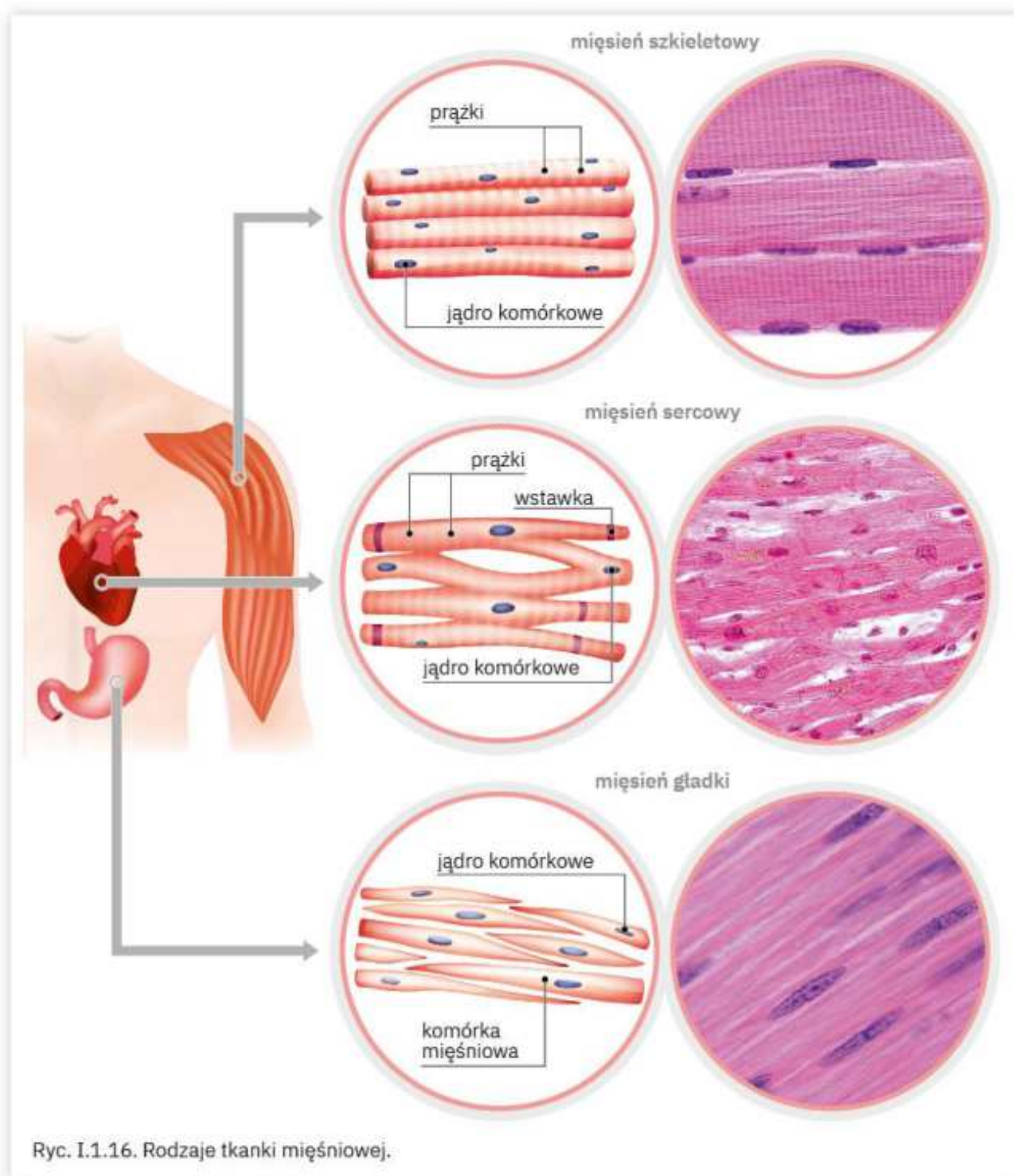


Ryc. I.1.15. Schemat organizacji włókna mięśnia poprzecznie prążkowanego.



Filamenty miozynowe i aktynowe tworzą większe jednostki – **miofibryle** (włókienka kurczliwe), które zebrane w pęczki składają się na włókna mięśniowe. Włókno mięśniowe może zawierać do kilkunastu pęczków miofibryli. **Włókna mięśniowe** łączą się w pęczki, tworząc **mięsień**.

W zależności od budowy i funkcjonowania włókien mięśniowych wyróżnia się tkankę mięśniową poprzecznie prążkowaną szkieletową, tkankę poprzecznie prążkowaną serca i tkankę mięśniową gładką (**ryc. I.1.16.**).



Ryc. I.1.16. Rodzaje tkanki mięśniowej.



Tkanka mięśniowa poprzecznie prążkowana szkieletowa

Włókna mięśniowe tkanki poprzecznie prążkowanej szkieletowej mają kształt cylindryczny i osiągają długość nawet do kilkudziesięciu centymetrów. Powstają w wyniku łączenia się wielu pojedynczych komórek mięśniowych i dlatego mają wiele jąder komórkowych rozmieszczonych peryferycznie – na obrzeżach.

W miofibrylach tych mięśni układ filamentów cienkich i grubych jest bardzo regularny, na jednym poziomie. Pod mikroskopem daje to obraz charakterystycznego poprzecznego prążkowania.

Praca tych mięśni wymaga zużycia sporej ilości energii, dlatego mają one dużą liczbę mitochondriów, a tym samym znaczne zapotrzebowanie na tlen – w związku z tym są dobrze ukrwione i unaczynione. Wykonują szybkie skurcze zależne od woli człowieka. Budują mięśnie szkieletowe.

Tkanka mięśniowa poprzecznie prążkowana serca

Tkanka mięśniowa poprzecznie prążkowana serca jest zbudowana z widlasto rozgałęziających się komórek, wykazujących poprzeczne prążkowanie. Komórki łączą się ze sobą za pomocą wstawek, tworząc przestrzenną sieć. Pozwala to na zmniejszanie się objętości jam serca podczas skurczu i jego pracę we wszystkich trzech wymiarach. Centralnie w komórkach znajduje się jądro komórkowe (czasem dwa) oraz duża liczba mitochondriów.

Tkanka poprzecznie prążkowana serca jest dobrze ukrwiona i unerwiona, a jej praca nie zależy od woli człowieka. Jednak możemy na nią wpływać pośrednio, np. przez stres czy intensywny wysiłek fizyczny.

Tkanka mięśniowa gładka

Tkanka mięśniowa gładka jest zbudowana z komórek wrzecionowatych, mających jedno jądro. Jądro jest położone centralnie, a cytoplazmę wypełniają liczne miofibryle. Nieregularne ułożenie filamentów cienkich i grubych nie daje pod mikroskopem efektu poprzecznego prążkowania. Tkanka ta jest słabo unaczyniona, a jej powolne skurcze nie zależą od naszej woli.

Tkanka mięśniowa gładka buduje ściany narządów wewnętrznych, m.in. żołądka, jelit, naczyń krwionośnych.



tkanka nerwowa

Tkanka nerwowa i glejowa

W skład **tkanki nerwowej** wchodzi komórki nerwowe – neurony, które odbierają bodźce ze środowiska zewnętrznego i wewnętrznego.

Typowy **neuron** jest zbudowany z ciała komórki oraz dwóch wypustek cytoplazmatycznych – **dendrytów** i **neurytów** (aksonów) (**ryc. I.1.17.**).

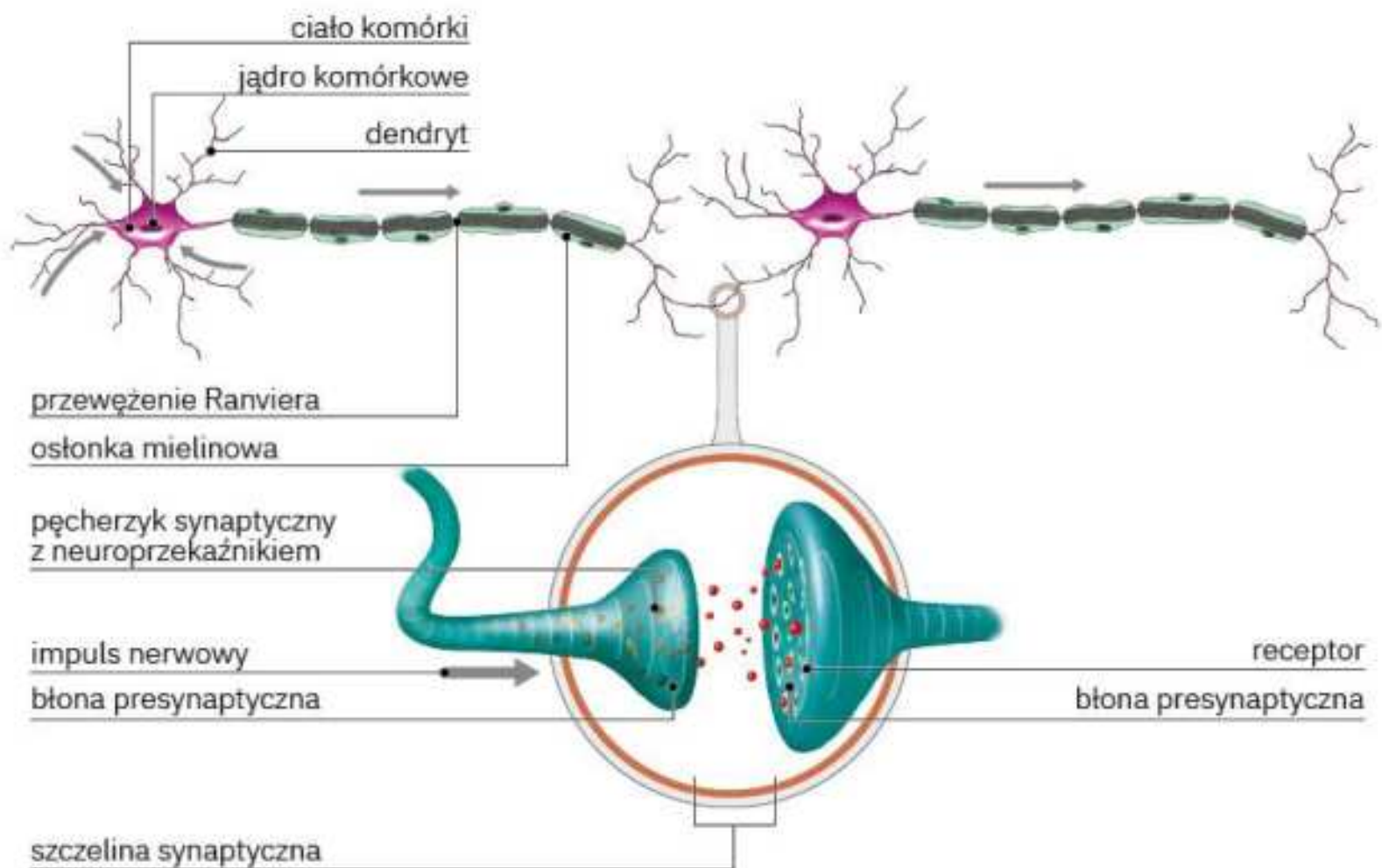
W cytoplazmie ciała komórki nerwowej znajdują się jądro komórkowe z otaczającą cytoplazmą oraz wszystkie organelle komórki eukariotycznej. Pierwszy rodzaj wypustki to **dendryty** – krótkie, rozgałęziające się wypustki odbierające i przekazujące impuls nerwowy do ciała komórki. **Neuryt** (akson) to pojedyncza długa wypustka nerwowa (może osiągnąć długość około 1 m), która przekazuje impuls nerwowy od ciała komórki nerwowej do innego neuronu, włókna mięśniowego lub gruczołu.

Długie wypustki nerwowe, których zakończenia znajdują się w znacznej odległości od ciała komórki nerwowej, tworzą **włókna nerwowe**. Neuryty są często bardzo długie – osiągają nawet do kilkudziesięciu centymetrów długości. Z tego powodu muszą być odpowiednio chronione i izolowane przez osłonki nerwowe – mielinowe (rdzenne) i komórkowe (dawniej Schwanna, czyt. szwana). Neuryty przewodzące impulsy, np. z rdzenia kręgowego do mięśni szkieletowych, są otoczone osłonką mielinową i komórkową. Osłonki powstają ze specjalnych komórek owijających się wokół aksonu. Wewnętrzna osłonka jest zbudowana z mieliny – substancji bogatej w tłuszcze i cholesterol. Osłonka mielinowa jest otoczona osłonką komórkową.

impuls nerwowy

Miejsce połączenia między neuronami lub neuronami a innymi komórkami organizmu nazywamy **synapsą** (**ryc. I.1.17.**). Synapsa pozwala na przekazywanie **impulsu nerwowego**. Gdy impuls nerwowy dotrze do zakończenia neurytu (**błony presynaptycznej**), następuje uwalnianie z pęcherzyka synaptycznego **neuroprzekaźnika** – substancji chemicznej (np. acetylocholiny czy noradrenaliny). Substancja ta dyfunduje przez szczelinę synaptyczną do receptora w **błonie postsynaptycznej**. Połączenie z receptorem skutkuje powstaniem impulsu nerwowego w kolejnej komórce nerwowej. Jeśli przekazywanie impulsu nerwowego następuje między dwoma neuronami, to taki rodzaj synapsy nazywamy **synapsą nerwowo-nerwową**. Jeśli aksony przekazują impulsy do komórek mięśniowych, wówczas występuje **synapsa nerwowo-mięśniowa**, a jeśli do komórek gruczołowych – **synapsa nerwowo-gruczołowa**.

Przerwy w osłonce mielinowej są nazywane **przewężeniami Ranviera** (czyt. ranwiera). Dzięki nim zwiększa się szybkość przewodzenia impulsów nerwowych – między kolejnymi odcinkami osłonki przemieszczają się one skokowo i mogą osiągnąć prędkość do 120 m/s. Obecność dwóch osłonek, z których wewnętrzna działa jak dobry izolator elektryczny, umożliwia przemieszczanie się impulsów na duże odległości. We włóknach bez osłonki mielinowej, bez właściwości izolacyjnych szybkość przewodzenia impulsów jest znacznie mniejsza (ok. 4 m/s).



Ryc. I.1.17. Model budowy neuronu dwuosłonkowego oraz mechanizm przekazywania impulsu nerwowego. Strzałka wskazuje kierunek przewodzenia impulsu nerwowego.

Zdolności do regeneracji tkanki nerwowej są bardzo niewielkie. Komórki nerwowe nie dzielą się, z wyjątkiem odtworzenia utraconych fragmentów neurytu. Dlatego tkance nerwowej towarzyszy **tkanka glejowa**, która dostarcza substancji odżywczych, odgranicza od innych tkanek i narządów tkankę nerwową oraz wypełnia miejsca po jej uszkodzeniach (ryc. I.1.18.).



Ryc. I.1.18. Komórki tkanki glejowej. Liczba komórek glejowych w układzie nerwowym człowieka jest dziesięciokrotnie większa niż liczba neuronów.



Obserwacja

Obserwacja mikroskopowa preparatów trwałych tkanek zwierzęcych

Przygotuj dostępne w pracowni biologicznej trwałe preparaty następujących tkanek: nabłonkowej, łącznej, mięśniowej i nerwowej. Narysuj w zeszycie oglądane preparaty mikroskopowe. Wskaż cechy charakterystyczne budowy poszczególnych tkanek i opisz ich powiązanie z wykonywaną funkcją.

Tkanki zwierzęce



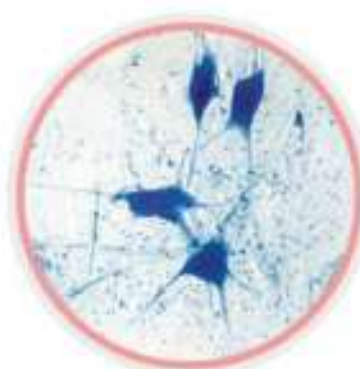
łączna



nabłonkowa



mięśniowa



nerwowa

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Opracuj i narysuj w zeszycie graf przedstawiający podział tkanki nabłonkowej ze względu na budowę i pełnione funkcje.
2. Porównaj znaczenie tkanki łącznej tłuszczowej w życiu człowieka i zwierząt.
3. Porównaj funkcje tkanki kostnej zbitą i gąbczastą, uwzględniając różnice w ich budowie.
4. Do tkanek chrzęstnych zaliczamy chrząstkę szklistą, sprężystą i włóknistą. Podaj, która z nich nie ulega mineralizacji. Uzasadnij swoją odpowiedź.
5. Podaj cechy pozwalające zaliczyć krew do tkanek łącznych.
6. Narysuj w zeszycie tabelę, w której porównasz budowę i funkcje tkanek mięśniowych.
7. Wykonaj jedno z doświadczeń opisanych na stronie 388 podręcznika.

PODSUMOWANIE LEKCJI

s. 8

W powstaniu tkanek biorą udział trzy **listki zarodkowe**: ektoderma, endoderma i mezoderma.

s. 8

W organizmie człowieka występują cztery podstawowe **tkanki**: nabłonkowa, łączna, mięśniowa i nerwowa.

s. 10

Ze względu na kształt i rozmieszczenie wyróżnia się **nabłonek jednowarstwowy** (płaski, sześcienny, walcowaty, wielorzędowy) oraz **wielowarstwowy** (płaski).



Najbardziej zróżnicowaną pod względem budowy i funkcji jest **tkanka łączna**. Wyróżnia się tkankę łączną właściwą, tłuszczową, tkankę oporową (chrzęstną – szklistą, sprężystą, włóknistą i kostną – zbitą i gąbczastą) oraz płynną (krew i limfa). Najważniejsze funkcje tkanki łącznej to: funkcja podporowa, transportowa i obronna organizmu.

s. 11

Tkanka mięśniowa dzieli się na mięśniową poprzecznie prążkowaną szkieletową, poprzecznie prążkowaną serca i gładką. Włókna mięśniowe (komórki mięśniowe) są zbudowane z kurczliwych białkowych miofibryli, które zapewniają tkance zdolność do skurczu.

s. 19

Tkankę nerwową budują zdolne do przekazywania impulsu nerwowego komórki nerwowe – neurony – oraz komórki glejowe pełniące funkcje ochronne i odżywcze.

s. 22

Przekazywanie **impulsów nerwowych** zachodzi dzięki połączeniom – synapsom (nerwowo-nerwowym, nerwowo-mięśniowym, nerwowo-gruczołowym).

s. 22

2. Narządy i ich układy w organizmie człowieka

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz powiązania funkcjonalne pomiędzy narządami w obrębie układu;
- dowiesz się, jak funkcjonują powiązania pomiędzy układami narządów w obrębie organizmu;
- poznasz mechanizm homeostazy.

W organizmie człowieka z tkanek są zbudowane **narządy**, czyli wyższego rzędu struktury wyspecjalizowane w pełnieniu funkcji, np. serce, płuca, mózg, żołądek. W narządach najczęściej występują różne rodzaje tkanek. Przykładem jest serce, którego główną masę stanowi tkanka mięśniowa poprzecznie prążkowana, wewnątrz komór i przedsionków wyścięta nabłonek, a na zewnątrz jest pokryte osierdziem zbudowanym z tkanki łącznej. Narządy mające podobną budowę i spełniające podobne funkcje tworzą układy narządów, np. układ pokarmowy, oddechowy, krwionośny. Ściśle współpracujące ze sobą **układy narządów** tworzą **organizm**.

W organizmie człowieka wyróżnia się następujące układy narządów: powłokowy, ruchu (szkieletowy, mięśniowy), pokarmowy, krwionośny, odpornościowy, oddechowy, wydalniczy, nerwowy, dokrewny i rozrodczy. Budowa tych układów ściśle wiąże się z ich funkcjami.



Układ powłokowy tworzą skóra i jej wytwory: włosy, paznokcie, gruczoły. Chroni on organizm przed urazami zewnętrznymi, stanowi barierę przed czynnikami chorobotwórczymi, a także bierze udział w termoregulacji oraz usuwaniu zbędnych produktów przemiany materii i odbieraniu bodźców ze środowiska (**ryc. I.2.1.**).

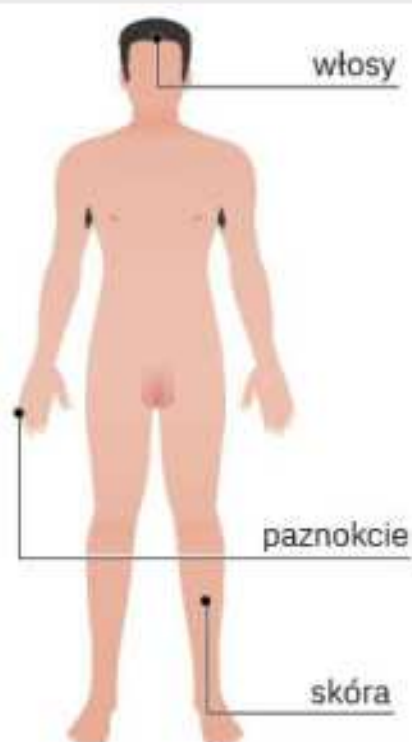
Układ ruchu składa się z **układu szkieletowego** i **mięśniowego**. Układ szkieletowy tworzą kości szkieletu czaszki i kręgosłupa, kończyn górnych i dolnych, ich obręczy oraz chrząstki i więzadła. Stanowi on osłonę i podporę dla narządów wewnętrznych, jest miejscem przyczepu mięśni, stanowi magazyn jonów wapnia i spełnia funkcję krwiotwórczą. Układ mięśniowy tworzą mięśnie szkieletowe. Układ ten umożliwia ruch zarówno całego ciała, jak i jego poszczególnych części, ponadto utrzymuje postawę ciała oraz uczestniczy w przekształcaniu energii chemicznej w mechaniczną i produkcji ciepła (**ryc. I.2.2.**).

Układ pokarmowy składa się z przewodu pokarmowego i gruczołów trawiennych. Odpowiada za pobieranie pokarmów i ich trawienie za pomocą enzymów trawiennych oraz wchłanianie cząstek pokarmowych i usuwanie niestrawionych resztek (**ryc. I.2.3.**).

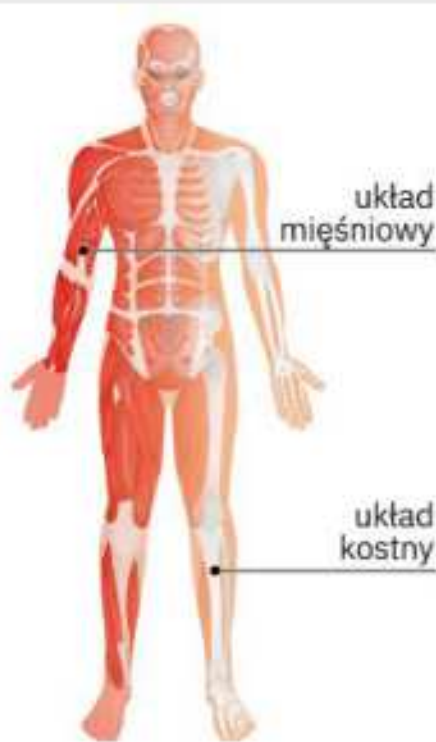
Układ krwionośny jest zbudowany z serca i naczyń krwionośnych. Odpowiada za transport do komórek substancji i gazów oddechowych oraz odprowadzanie ich z komórek, a także za utrzymanie stałego pH płynów ustrojowych. Ponadto uczestniczy w termoregulacji (**ryc. I.2.4.**).

Układ odpornościowy tworzą naczynia limfatyczne, węzły chłonne i komórki, tj. granulocyty i agranulocyty. Chroni on organizm wspólnie z **układem limfatycznym** przed zakażeniami drobnoustrojami chorobotwórczymi (**ryc. I.2.5.**).

Układ oddechowy składa się z dróg oddechowych i płuc. Układ ten uczestniczy w wymianie gazowej pomiędzy krwią a środowiskiem zewnętrznym. Jest odpowiedzialny za dostarczenie do organizmu tlenu niezbędnego do oddychania wewnątrzkomórkowego. (**ryc. I.2.6.**).



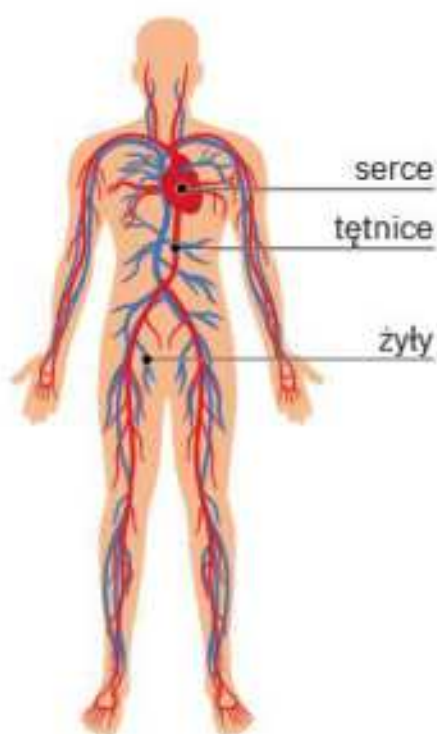
Ryc. I.2.1. Układ powłokowy ciała.



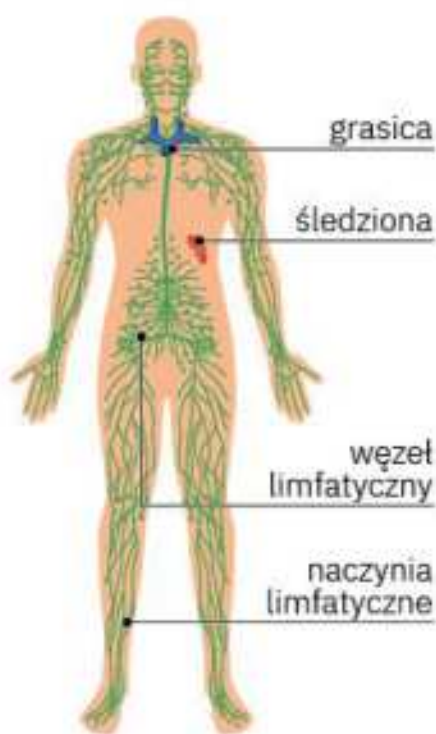
Ryc. I.2.2. Układ ruchu.



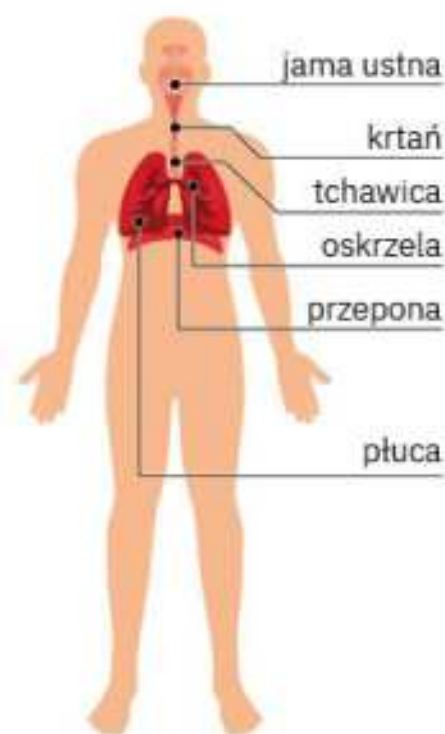
Ryc. I.2.3. Układ pokarmowy.



Ryc. I.2.4. Układ krwionośny.



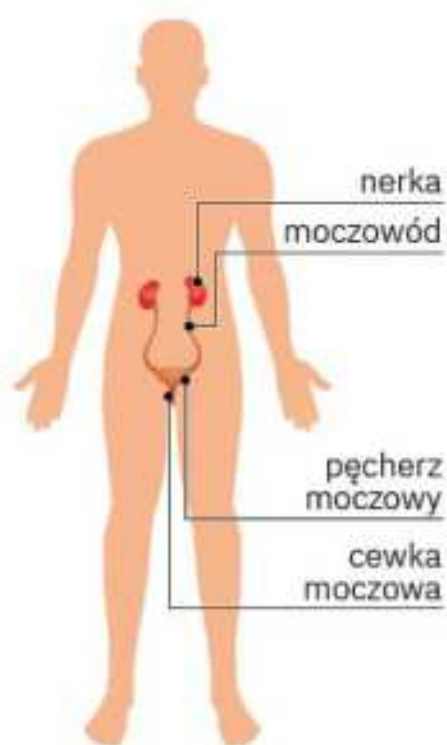
Ryc. I.2.5. Układ odpornościowy.



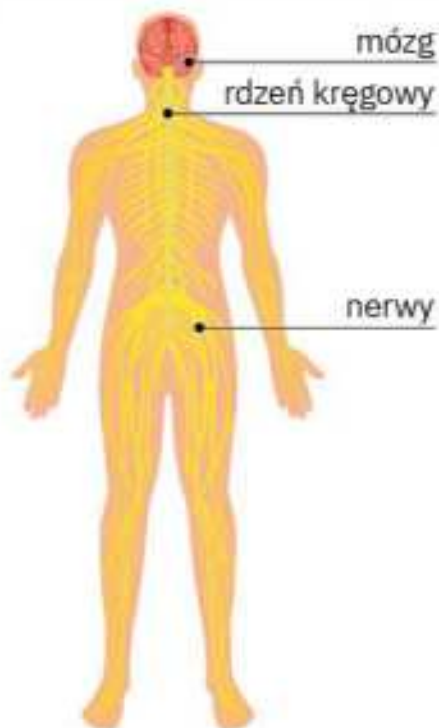
Ryc. I.2.6. Układ oddechowy.

Układ wydalniczy tworzą nerki i drogi moczowe. Służą one do usuwania zbędnych oraz szkodliwych produktów przemiany materii z krwi oraz odpowiada za utrzymanie równowagi wodno-mineralnej w organizmie (**ryc. I.2.7.**).

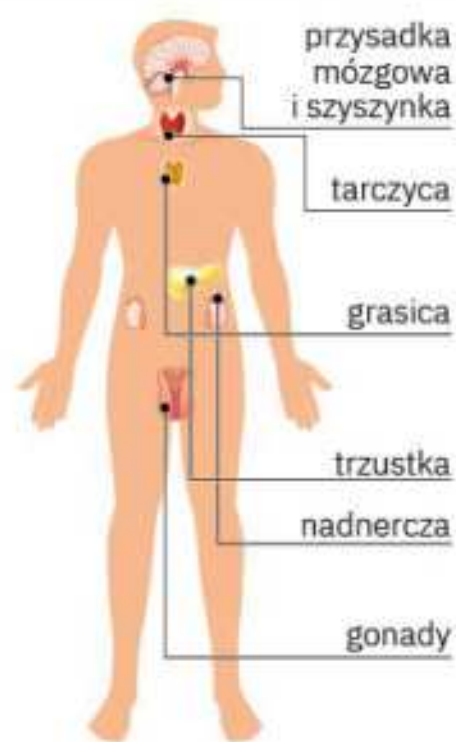
Układ nerwowy jest zbudowany z mózgu, rdzenia kręgowego, narządów zmysłów i nerwów. Odbiera bodźce ze środowiska zewnętrznego i wewnętrznego, przekształca je w impulsy nerwowe i uczestniczy w dalszym ich przekazywaniu. Układ nerwowy jest odpowiedzialny za koordynację pracy całego organizmu (**ryc. I.2.8.**).



Ryc. I.2.7. Układ wydalniczy.



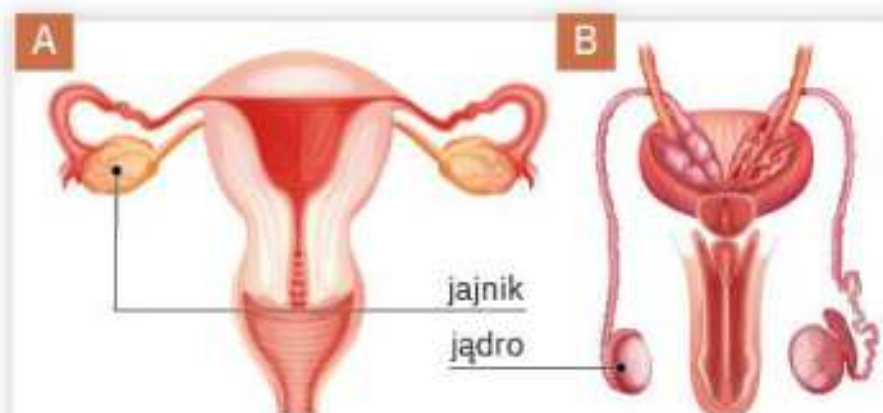
Ryc. I.2.8. Układ nerwowy.



Ryc. I.2.9. Układ hormonalny.



Układ hormonalny (wyzielania wewnętrznego) tworzą bezprzewodowe gruczoły wydzielające hormony bezpośrednio do krwi. Funkcją tego układu jest kontrola procesów metabolicznych, a wspólnie z układem nerwowym także wszystkich czynności życiowych organizmu (**ryc. I.2.9.**).



Ryc. I.2.10. Układ rozrodczy żeński (A) i męski (B).

Układ rozrodczy jest zbudowany z gruczołów płciowych (jąder i jajników) oraz związanych z nimi struktur. W układzie rozrodczym odbywa się produkcja komórek rozrodczych, które w procesie zapłodnienia tworzą nowy organizm. Odpowiada on za rozmnażanie (**ryc. I.2.10.**).

Mechanizm homeostazy

homeostaza

Współpraca wszystkich układów pozwala na utrzymanie stabilnych warunków wewnętrznych, czyli **homeostazy**. Za utrzymanie równowagi wewnętrznej organizmu odpowiada wiele czynników, m.in. utrzymanie odpowiedniej temperatury ciała, stężenia składników odżywczych, tlenu i innych gazów, ciśnienia i składu chemicznego krwi (**ryc. I.2.11.**).

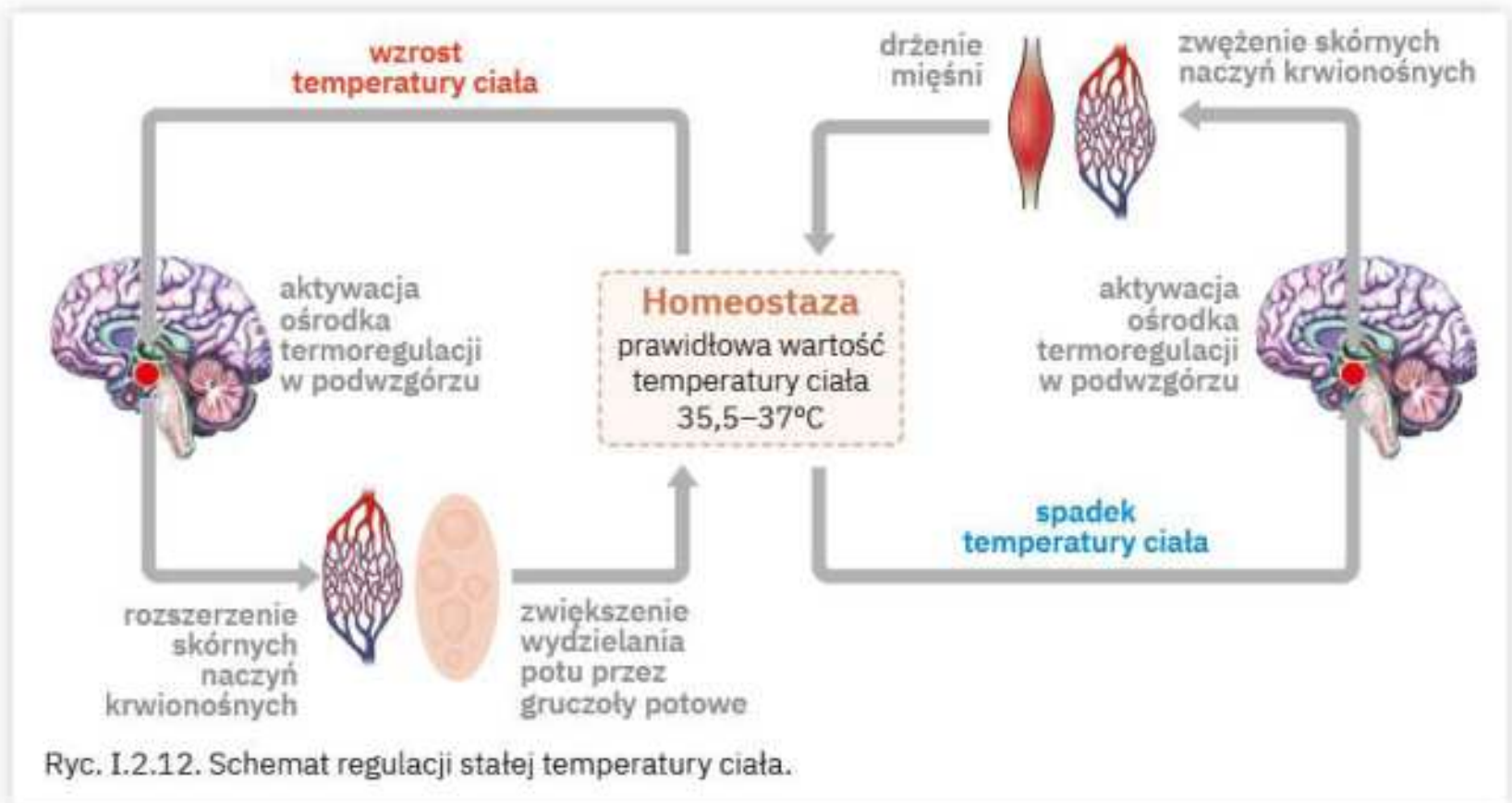


Ryc. I.2.11. Przykłady czynników niezbędnych do utrzymania homeostazy organizmu.

Kontrola tych parametrów odbywa się za pomocą układu hormonalnego i nerwowego.



Do zachowania równowagi organizm człowieka potrzebuje stałej temperatury ciała, która waha się między 35,5 a 37°C. Zmiana temperatury ciała może doprowadzić do wychłodzenia lub przegrzania się organizmu. Aby takie sytuacje nie wystąpiły, informacja o temperaturze ciała jest wysyłana do ośrodka w podwzgórzu i analizowana, a na tej podstawie zostają włączone odpowiednie mechanizmy regulacji (ryc. I.2.12.).



Homeostaza jest niezbędnym warunkiem prawidłowego funkcjonowania, a tym samym zdrowia organizmu. Zaburzenia mechanizmów homeostazy mogą prowadzić do chorób, a nawet do śmierci organizmu.

Istotnym czynnikiem równowagi organizmu jest utrzymanie prawidłowego ciśnienia osmotycznego. Zmiany ciśnienia osmotycznego krwi są odbierane przez osmoreceptory podwzgórza. Wzrost ciśnienia osmotycznego prowadzi do wzmożonego uczucia pragnienia oraz wydzielania przez podwzgórze hormonu antydiuretycznego (wazopresyny, ADH), który pobudza zwrotne wchłanianie wody w kanalikach nerkowych, co zapobiega nadmiernej utracie wody z moczem. Spadek ciśnienia skutkuje wydalaniem dużych ilości rozcieńczonego moczu.

Prawidłowe ciśnienie krwi pozwala na dopływ do komórek tlenu, glukozy, a także ciepła. Spadek ciśnienia krwi może doprowadzić do niedotlenienia i niedożywienia komórek.

Istotne znaczenie dla zachowania homeostazy mają **rytmy dobowe**, czyli regularność aktywności i pory snu. Są one często określane mianem zegara biologicznego. Najważniejszymi czynnikami kształtującymi rytm dobowy są światło i temperatura. Zegar biologiczny jest regulowany przez hormon snu – **melatoninę** produkowaną przez gruczoł dokrewny – **szyszynkę**, co zostanie omówione dokładnie w rozdziale I.15.

rytm dobowy



ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Na podstawie dostępnych źródeł wymień układy narządów człowieka, które mają istotne znaczenie w zachowaniu homeostazy. Uzasadnij swój wybór.
2. Wykonaj obserwację opisaną na stronie 389 podręcznika.

PODSUMOWANIE LEKCJI

s. 28

Prawidłowe funkcjonowanie organizmu jest możliwe dzięki równowadze wewnętrznej – **homeostazie**.

s. 28

Homeostaza polega na zachowaniu na odpowiednim poziomie takich parametrów, jak: temperatura ciała, ciśnienie oraz skład chemiczny krwi – pomimo zmiennych warunków środowiska.

s. 28

Homeostazę regulują przede wszystkim układ hormonalny i nerwowy.

s. 29

Istotnym czynnikiem wpływającym na zachowanie homeostazy jest **rytm dobowy**.

3. Rola składników odżywczych w funkcjonowaniu organizmu

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz rodzaje i funkcje składników odżywczych;
- dowiesz się, jakie pokarmy są źródłem białek, tłuszczów i węglowodanów;
- poznasz zagrożenia wynikające z niedoborów składników odżywczych w diecie.

składniki
odżywcze

normy
żywieniowe

O wartości odżywczej spożywanego przez nas pożywienia decyduje zawartość niezbędnych dla organizmu **składników odżywczych** – ich wzajemne proporcje oraz biodostępność. Składniki odżywcze są niezbędne dla człowieka, ponieważ organizm nie jest w stanie sam ich wytworzyć ani niczym zastąpić. Każdy ze składników odżywczych pełni inną funkcję, również zapotrzebowanie na nie jest zróżnicowane i zależy od wieku, płci, stanu fizjologicznego (np. ciąża, choroba), wykonywanej pracy czy stopnia aktywności fizycznej. Dlatego dla każdego ze składników opracowano **normy żywieniowe**, które określają ilości energii i składników odżywczych koniecznych dla zaspokojenia potrzeb żywieniowych u zdrowych ludzi. Dostarczanie tych składników zgodnie z normami ma zapobiegać chorobom związanym zarówno z ich niedoborem, jak i nadmiarem. Energia,



którą organizm wykorzystuje do reakcji metabolicznych, pochodzi z energii chemicznej zawartej w pożywieniu i jest uwalniana w czasie trawienia makrocząstek zawartych w pokarmie. Do najważniejszych składników pokarmowych zaliczamy: białka, węglowodany i tłuszcze. Nieodzowną rolę w odżywianiu odgrywają także witaminy, sole mineralne oraz woda.

Białka

białka

Białka są podstawowymi strukturalnymi i funkcjonalnymi składnikami każdej komórki organizmu człowieka. Składają się z aminokwasów połączonych wiązaniami peptydowymi. Białka jako biokatalizatory biorą udział w większości reakcji metabolicznych komórki, a także m.in. uczestniczą w odpowiedzi immunologicznej, transportują substancje (np. tlen, żelazo) czy biorą udział w regulacji ekspresji genów. Białko zawarte w pokarmie dostarcza **aminokwasów egzogennych**, czyli takich, których organizm sam nie potrafi syntetyzować. Białka są substratami (substancjami wyjściowymi) hormonów, a azot pochodzący z białek służy do syntezy aminokwasów endogennych.

Odpowiednia ilość i jakość białek jest konieczna do prawidłowego wzrostu i rozwoju człowieka, w tym do budowy nowych tkanek u dzieci oraz regeneracji tkanek u dorosłych. Ilość białek potrzebna do wzrostu przewyższa ilość niezbędną do odnowy tkanek, dlatego dzieci powinny spożywać więcej białek niż osoby dorosłe w przeliczeniu na kg masy ciała. Zalecane spożycie białek dla dorosłych wynosi 0,9 g na kg masy ciała na dobę.

Oprócz całkowitej ilości białka nie mniejsze znaczenie ma ich jakość. Białka, w których występują wszystkie niezbędne aminokwasy w odpowiednich proporcjach, nazywamy białkami **pełnowartościowymi**. **Białka niepełnowartościowe** to takie, w których niezbędne aminokwasy występują w małych ilościach i w niewłaściwych proporcjach. Dobrymi źródłami białek pełnowartościowych są pokarmy pochodzenia zwierzęcego, tj. jajka, mleko i jego przetwory, mięso (w tym ryby). Białka niepełnowartościowe to w większości białka pochodzenia roślinnego, które zawierają mniej aminokwasów egzogennych (m.in. lizyny, tryptofanu, metioniny). Wśród białek roślinnych dobrą wartością odżywczą odznaczają się białka roślin strączkowych (np. soi, bobu, fasoli). Planowanie prawidłowej diety powinno uwzględniać różnorodne źródła białka, zarówno te pochodzenia zwierzęcego, jak i roślinnego.

białka
pełnowartościowe



Ryc. I.3.1. Źródłem białek pełnowartościowych są produkty pochodzenia zwierzęcego, jak: mleko, mięso, jaja, a także rośliny strączkowe.

**niedobory białka**

Niedobory białka mogą prowadzić do pogorszenia lub utraty zdrowia. W krajach rozwiniętych niedobory białka w diecie występują dość rzadko, najczęściej są efektem stresu lub choroby – krwawienia/krwotoku, biegunki czy infekcji. Na niedobory białka są narażone także osoby stosujące dietę wegetariańską i wegańską, w której dominują pokarmy roślinne będące źródłem białek niepełnowartościowych. Niedobory białka u dorosłych prowadzą m.in. do osłabienia, niedokrwistości, obrzęków i utrudnionego gojenia się ran. U dzieci niewystarczająca ilość białka może prowadzić do zahamowania rozwoju i zaburzeń umysłowych. Skrajną postacią niedoborów żywieniowych są ciężkie choroby, takie jak na przykład kwashiorkor, występujący zwykle u dzieci zamieszkujących Afrykę, Amerykę Środkową i Południową oraz Azję.

Przyjmuje się, że nadmierne spożywanie białek może sprzyjać kwasicy i powstawaniu kamieni nerkowych.

tłuszcze pokarmowe**Tłuszcze pokarmowe**

Pojęcie *tłuszcze pokarmowe* obejmuje wszystkie spożywane lipidy pochodzenia roślinnego i zwierzęcego. Ważnym źródłem tłuszczu oprócz olejów roślinnych i tłuszczów zwierzęcych są: mleko, przetwory mleczne, mięso, ryby, jaja, orzechy i nasiona. Tłuszcze to zróżnicowana grupa związków, w skład której wchodzi zarówno



Ryc. I.3.2. Źródłem nienasyconych kwasów tłuszczowych (w tym NNKT) są tłuszcze roślinne.

tłuszcze proste (triacyloglicerole), jak i złożone (m.in. fosfolipidy), a także wolne kwasy tłuszczowe czy steroidy. Tłuszcze pokarmowe są przede wszystkim źródłem energii niezbędnej do funkcjonowania organizmu, w tym prawidłowej pracy mózgu (tłuszcze stanowią ponad 50% jego masy). Ponadto tłuszcz pokarmowy stanowi źródło składników do budowy komórek, a także jest nośnikiem i ułatwia wchłanianie witamin rozpuszczalnych w tłuszczach (A, D, E i K) (**ryc. I.3.2.**).

O fizjologicznej roli tłuszczu pokarmowego decyduje zawartość w nich różnych rodzajów kwasów tłuszczowych: nasyconych i nienasyconych. Z żywieniowego punktu widzenia najistotniejsze są kwasy nienasycone. Stanowią ważny element strukturalny lipidów budujących błony komórkowe, w tym błony neuronów mózgu i fotoreceptorów siatkówki oka. Wśród nienasyconych kwasów tłuszczowych wyróżnia się grupę **wielonienasyconych kwasów tłuszczowych** (mają więcej niż jedno podwójne wiązanie), których organizm nie potrafi syntetyzować. Substratami do ich syntezy są **kwas linolowy** i **alfa-linolenowy**, które są dostarczane wraz z pokarmami i z tego względu zostały nazwane **niezbędnymi nienasyconymi kwasami tłuszczowymi** (NNKT). Kwasy te biorą udział w przemianach cholesterolu, a kwas

NNKT



linolenowy obniża jego frakcję LDL, której wysoki poziom grozi rozwojem miażdżycy. Kwasy NNKT z grupy omega-3 (n-3), tj. eikozapentaenowy (EPA), dokozapentaenowy (DPA), dokozaheksaenowy (DHA), wykazują działanie neuroprotekcyjne, czyli chronią komórki nerwowe przed uszkodzeniem. Kwas DHA wchodzi w skład fosfolipidów błon komórek nerwowych i siatkówki oka. Kwas EPA jest wyjściowym substratem substancji biologicznie czynnych, które m.in. regulują ciśnienie krwi, pracę nerek czy biorą udział w procesie krzepnięcia krwi. Niedobór NNKT może prowadzić do zmian skórnych, zahamowania wzrostu oraz zaburzeń w funkcjonowaniu narządów i tkanek. Szczególnie istotne znaczenie ma dostarczanie w odpowiednich ilościach kwasów **omega-3** w okresie prenatalnym (w życiu płodowym) i niemowlęcym. Kwasy te wpływają bowiem na dojrzewanie układu nerwowego oraz narządu wzroku. U osób dorosłych wykazują działanie ochronne w stosunku do układu sercowo-naczyniowego i nerwowego, mają działanie przeciwzapalne, antyalergiczne oraz antyoksydacyjne. Niedobór tłuszczu zwiększa ryzyko niedoboru witamin rozpuszczalnych w tłuszczach. Najlepszym źródłem kwasu alfa-linolenowego są oleje (rzepakowy, lniany), zielone warzywa i orzechy. Dużą zawartością kwasu DHA odznaczają się ryby (m.in. śledź, tuńczyk, pstrąg) oraz jadalne skorupiaki i mięczaki.

Węglowodany pokarmowe

węglowodany
pokarmowe

Źródłem węglowodanów w diecie są przetwory zbożowe, owoce, warzywa, nasiona strączkowe, mleko i jego przetwory, soki oraz cukier i miód. Węglowodany dostępne w pokarmach można podzielić na przyswajalne (dostępne) i nieprzyswajalne dla organizmu człowieka. Węglowodany przyswajalne są trawione i wchłanianie w organizmie. Wśród tych związków znajdują się wszystkie grupy węglowodanów, do których należą:

- monosacharydy: glukoza, fruktoza, galaktoza,
- disacharydy: sacharoza, maltoza, laktoza,
- polisacharydy: skrobia, glikogen.

Węglowodany nieprzyswajalne nie ulegają enzymatycznemu trawieniu w jelicie cienkim, a w jelicie grubym podlegają częściowej fermentacji przez bytujące tam bakterie. Do takich węglowodanów zalicza się celulozę, pektyny, inulinę oraz skrobię oporną (nieulegającą trawieniu przez enzymy układu trawiennego).

Węglowodany stanowią podstawowe źródło energii dla większości komórek organizmu – przede wszystkim dla tkanek, które nie mogą korzystać z innego źródła energii, tj. tkanki nerwowej oraz erytrocytów. Aby zapewnić ich prawidłowe funkcjonowanie, zawartość glukozy we krwi musi być utrzymywana na stałym poziomie. Z tego względu muszą być dostarczane wraz z pokarmami codziennie w odpowiednich ilościach. Węglowodany pełnią też funkcję zapasową – glukoza jest magazynowana w postaci glikogenu w wątrobie i w mięśniach. Cukry proste są składnikami makrocząsteczek komórkowych, np. ryboza i deoksyryboza wchodzi w skład kwasów nukleinowych (RNA i DNA).



Węglowodany są składnikami **błonnika pokarmowego**. W jego skład wchodzi celuloza, pektyny, ligniny, woski, gumy i śluzy roślinne, a także skrobia oporna. Błonnik pokarmowy nadaje treści pokarmowej odpowiednią konsystencję, ułatwia jej przesuwanie się i trawienie. Reguluje perystaltykę jelit, a także wpływa na sprawniejsze trawienie trójglicerydów, obniżenie poziomu cholesterolu, usuwanie toksyn i metali ciężkich. Błonnik reguluje również mechanizmy związane z odczuwaniem głodu i sytości. Część składników błonnika pokarmowego ulega fermentacji prowadzonej przez mikroorganizmy zamieszkujące jelito grube. Produkty tego procesu (m.in. kwas masłowy) są wchłaniane i wykorzystywane w komórkach organizmu. Źródłem błonnika pokarmowego są przede wszystkim warzywa, owoce i produkty zbożowe (**tab. I.3.1.**). Według Światowej Organizacji Zdrowia (World Health Organization, czytaj: *world health organization*, WHO) dzienne spożycie błonnika powinno wynosić 25 g.

Tab. I.3.1. Zawartość błonnika pokarmowego w wybranych produktach spożywczych (w gramach/100 g produktu)

	Błonnik pokarmowy		Błonnik pokarmowy
otręby pszenne	42,0	migdały	12,9
chleb żytni pełnoziarnisty	9,1	morele suszone	10,3
ryż brązowy	8,7	śliwki suszone	9,4
płatki owsiane	6,9	orzechy laskowe	8,9
płatki kukurydziane	6,6	rodzynki suszone	6,5
chleb słonecznikowy	6,4	słonecznik, nasiona	6,0
kasza gryczana	5,9	marchew	3,6
makaron	2,6	burak	2,2
ryż biały	2,4	jabłko	2,0
bagietka	2,0	truskawki	1,8
herbatniki	1,3	winogrona	1,5
sok wielowarzywny	1,2	sok pomarańczowy klarowny	0,1

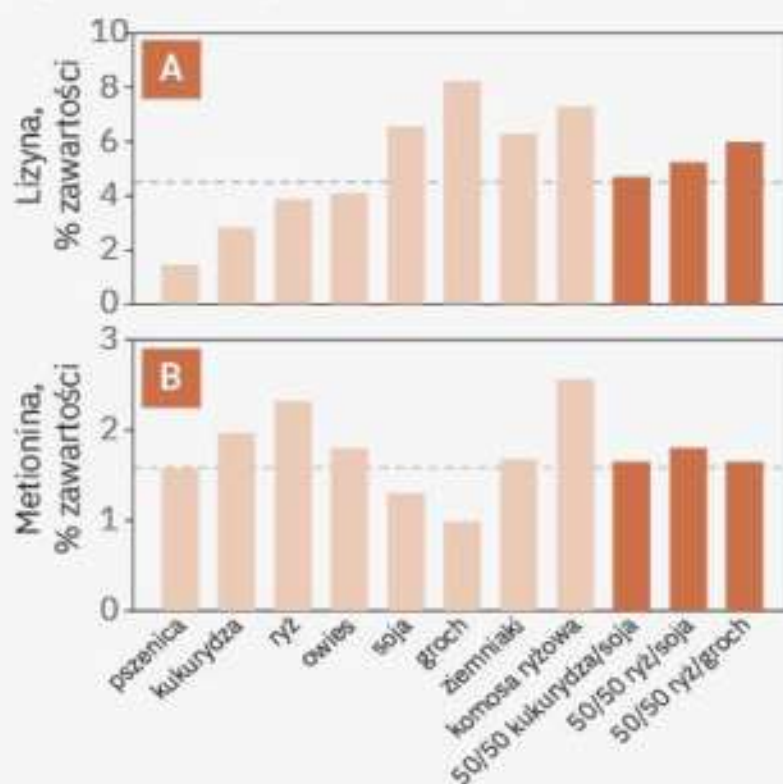
Zarówno długotrwały niedobór węglowodanów, jak i ich nadmiar są dla organizmu bardzo niekorzystne. Przy niedoborze węglowodanów dochodzi do hipoglikemii, a jako źródło energii zużywane są białka. Mała ilość węglowodanów w diecie prowadzi do zaparć, kwasicy ketonowej, a w skrajnych przypadkach nawet do śmierci. Z kolei nadmierne spożycie cukrów sprzyja rozwojowi otyłości, próchnicy zębów. Otyłość z kolei zwiększa ryzyko rozwoju cukrzycy i nowotworów. Obecnie bardzo dużym problemem we wszystkich grupach wiekowych jest nadmierna podaż cukrów prostych oraz sacharozy pochodzących ze słodczy, napojów słodzonych oraz żywności wysoko przetworzonej. To, w połączeniu z niską aktywnością fizyczną, wiąże się z ryzykiem rozwoju wielu chorób, m.in. sercowo-naczyniowych.

nadmierne
spożycie cukrów



ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

- Skonstruuj i uzupełnij w zeszycie tabelę dotyczącą rodzajów składników odżywczych, ich fizjologicznej roli oraz źródeł pokarmowych.
- Wskaż poprawne zdania dotyczące funkcji błonnika pokarmowego.
 - Błonnik pokarmowy skraca czas przejścia pokarmu przez jelita oraz zwiększa objętość stolca.
 - Błonnik pokarmowy stymuluje procesy fermentacyjne w jelicie grubym.
 - Błonnik pokarmowy obniża poziom cholesterolu i glukozy we krwi.
 - Nadmierne spożycie błonnika pokarmowego może zmniejszać skuteczność działania leków.
- Na wykresie przedstawiono zawartość dwóch aminokwasów egzogennych (jako procent zawartości całkowitego białka) w wybranych produktach spożywczych. Przerywaną linią zaznaczono dzienne zapotrzebowanie na te aminokwasy dla dorosłego człowieka.
 - Porównaj zawartość obu aminokwasów w produktach i odnieś ją do dziennego zapotrzebowania na te związki.
 - Wyjaśnij, dlaczego wegetarianie i weganie powinni zwracać szczególną uwagę na właściwe komponowanie pokarmów w swojej diecie.
- Wyjaśnij, dlaczego dostępne na rynku preparaty mlekozastępcze dla niemowląt i dzieci zawierają kwas DHA.
- W sklepach są dostępne produkty i suplementy zawierające błonnik lub wzbogacone w niego. Na ich opakowaniach widnieje informacja: *źródło błonnika pokarmowego*, co oznacza, że zawartość błonnika w danym produkcie wynosi 3 g/100 g. Z kolei informacja: *wysoka zawartość błonnika pokarmowego* mówi, że zawartość błonnika w produkcie wynosi 6 g/100 g produktu.
W sklepie, w którym robisz zakupy, znajdź przykłady produktów zawierających takie informacje. Wypisz je w zeszycie.
- Wykonaj doświadczenie opisane na stronie 389 podręcznika.



PODSUMOWANIE LEKCJI

O wartości odżywczej pokarmów decyduje zawartość w nich **składników odżywczych**.

Składnikami odżywczymi są białka, węglowodany, tłuszcze, witaminy oraz sole mineralne.

s. 30

s. 30



- s. 30 **Normy żywieniowe** określają ilość składników odżywczych koniecznych do zaspokojenia potrzeb życiowych u zdrowych ludzi.
- s. 31 **Białka** warunkują prawidłowy wzrost i rozwój człowieka, są źródłem aminokwasów egzogennych i azotu.
- s. 31 Większość **białek pełnowartościowych** zawartych w pokarmach jest pochodzenia zwierzęcego.
- s. 32 **Niedobory białka** stanowią zagrożenie dla zdrowia i życia.
- s. 32 **Tłuszcze pokarmowe** są niezbędne do prawidłowego funkcjonowania mózgu i stanowią źródło niezbędnych nienasyconych kwasów tłuszczowych (NNKT): linolowego i alfa-linolenowego.
- s. 32 NNKT z grupy omega-3 są niezbędne do prawidłowego funkcjonowania mózgu i narządu wzroku.
- s. 33 **Węglowodany pokarmowe** są podstawowym źródłem energii dla komórek oraz błonnika pokarmowego regulującego m.in. pracę układu pokarmowego.
- s. 34 **Nadmierne spożycie cukrów** prostych i sacharozy zwiększa ryzyko chorób.

4. Rola witamin i minerałów w diecie

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz rodzaje i funkcje witamin;
- zrozumiesz, jaka jest biologiczna rola soli mineralnych;
- poznasz funkcje wody w organizmie;
- dowiesz się, czym są suplementy diety i kiedy można je stosować.

Witaminy w diecie

Witaminy to organiczne związki o zróżnicowanej budowie chemicznej oraz funkcjach w organizmie. Są one niezbędne do właściwego wzrostu i rozwoju człowieka. Nie potrafimy syntetyzować witamin i musimy dostarczać je z pożywieniem (wyjątek stanowi m.in. witamina D, która powstaje w skórze pod wpływem słońca). Pomimo że człowiek potrzebuje znikomej ilości witamin, ich długotrwały niedobór – tzw. awitaminoza – prowadzi do zaburzeń w funkcjonowaniu organizmu (**tab. I.4.1.**). Z kolei zbyt duże spożycie witamin może prowadzić do **hiperwitaminozy** (choroby wywołanej nadmiarem witamin w organizmie). Najbardziej podstawowy podział obejmuje **witaminy rozpuszczalne w tłuszczach** (A, D, E i K) oraz witaminy **rozpuszczalne w wodzie** (witaminy z grupy B oraz witamina C). W **tabelach I.4.1. i I.4.2.** przedstawiono najważniejsze informacje dotyczące witamin obu grup.

niedobór i nadmiar
witamin

podział witamin



Tab. I.4.1. Charakterystyka witamin rozpuszczalnych w tłuszczach

Witamina*	Rola w organizmie	Źródło	Skutki niedoboru i nadmiaru
A (retinol)	niezbędna w procesie widzenia; warunkuje prawidłowy wzrost i rozwój kości; warunkuje prawidłowy stan skóry	tran, wątroba, masło, mleko, owoce i warzywa	Niedobór: sucha skóra, rogowaciejący naskórek, kurza ślepotą, zahamowanie wzrostu, infekcje Nadmiar: przebarwienia skóry, wypadanie włosów, powiększenie wątroby
D (kalcyferol)	warunkuje wchłanianie wapnia i fosforu z jelit, wzbogaca zęby i kości w sole wapnia	tran, wątroba, masło, mleko, jaja, drożdże; powstaje w skórze pod wpływem promieniowania UV	Niedobór: wypadanie zębów, osłabienie mięśni, rozmięczenie kości, krzywica u dzieci Nadmiar: nadmierne odkładanie wapnia w ścianach naczyń krwionośnych, depresja
E (tokoferol)	chroni przed chorobami sercowo-naczyniowymi, nowotworami, schorzeniami neurodegeneracyjnymi; <u>antyoksydant</u> , który przeciwdziała utlenianiu lipidów błonowych i witamin	oleje roślinne, orzechy, nasiona, kielki pszenicy, warzywa i owoce	Niedobór: plamy starcze i zły stan skóry Nadmiar: brak
K (filochinon)	bierze udział w procesie krzepnięcia krwi oraz w przemianach kostnych	ciemnozielone warzywa, wątroba; syntetyzowana przez bakterie jelitowe	Niedobór: zaburzenia pracy jelit, zaburzenia krzepnięcia krwi, utrudnione gojenie się ran Nadmiar: niedokrwistość i podwyższony poziom <u>bilirubiny</u> we krwi

* zapotrzebowanie organizmu na witaminy różni się dla poszczególnych grup wiekowych i jest uzależnione od płci, stopnia aktywności fizycznej oraz stanu fizjologicznego

Tab. I.4.2. Charakterystyka witamin rozpuszczalnych w wodzie

Witamina*	Rola w organizmie	Źródło	Skutki niedoboru
B₁ (tiamina)	warunkuje prawidłową pracę układu nerwowego i pokarmowego; wpływa na metabolizm węglowodanów; bierze udział w utlenianiu komórkowym (jako składnik enzymów)	pełne ziarna, drożdże, wątroba, pełnoziarniste pieczywo	pobudliwość nerwowa, choroba beri-beri (drżenie i osłabienie mięśni, niewydolność układu krążenia); brak apetytu, apatia



Witamina	Rola w organizmie	Źródło	Skutki niedoboru
B₂ (ryboflawina)	składnik enzymów, bierze udział w metabolizmie węglowodanów i tłuszczów; niezbędna do wzrostu organizmu i produkcji krwinek czerwonych	mleko, przetwory mleczne, mięso, ryby, wątroba, pełne ziarna, warzywa	pęknięcia kącików ust, zaczerwienienie oczu, wrażliwość na światło, brak koncentracji
B₆ (pirydoksyna)	uczestniczy w przemianie aminokwasów; stymuluje zaopatrywanie komórek nerwowych w glukozę; warunkuje prawidłową syntezę przeciwciał i erytrocytów	drożdże, wątroba, warzywa, owoce, rośliny strączkowe	zmęczenie, stany depresyjne i lękowe, matowa skóra, rozdrażnienie
Kwas foliowy	niezbędny w syntezie kwasów nukleinowych, warunkuje prawidłowy rozwój układu nerwowego u płodu; stymuluje pracę układu odpornościowego	warzywa liściaste, wątroba, drożdże; syntetyzowany w jelitach przez bakterie	anemia, wady wrodzone płodu (wady cewy nerwowej), poronienia
B₁₂ (kobalamina)	uczestniczy w przemianach białek, tłuszczów, cukrów; bierze udział w syntezie białych i czerwonych krwinek	wątroba, żółtko jaja, kielki, ryby; syntetyzowana przez bakterie jelitowe	anemia złośliwa, zaburzenia na tle nerwowym
PP (niacyna)	obniża poziom cholesterolu; rozszerza naczynia krwionośne, jest składnikiem enzymów	mięso, wątroba, ryby, warzywa liściaste, ziemniaki	pelagra (zmiany zapalne skóry, zmęczenie, osłabienie mięśni) (ryc. I.3.1.)
C (kwas askorbinowy)	stymuluje układ odpornościowy, niezbędna do syntezy kolagenu, poprawia wchłanianie żelaza, wzmacnia zęby i dziąsła	świeże i kiszone owoce oraz warzywa (m.in. dzika róża, papryka, kiwi, cytrusy)	krwawienie z dziąseł, kruchość naczyń krwionośnych, obniżenie odporności, <u>szkorbut</u>



Związki mineralne oraz woda

Woda i sole mineralne są niezbędne do prawidłowego funkcjonowania organizmu. Woda ze względu na swoje właściwości fizykochemiczne umożliwia aktywność życiową komórek. U osoby dorosłej stanowi ok. 60% masy ciała. Najwięcej wody zawiera płyn mózgowo-rdzeniowy, szpik, osocze krwi i mózg. Dostarczanie wody w odpowiedniej ilości jest niezbędne do:

- utrzymania stałej temperatury ciała,
- prawidłowego przebiegu procesów metabolicznych,
- prawidłowego procesu trawienia i wchłaniania składników odżywczych,
- skutecznego wydalania produktów przemiany materii oraz toksyn,
- regulacji gospodarki kwasowo-zasadowej organizmu.

Źródłem wody dla człowieka są napoje oraz pokarmy. Wszystkie produkty spożywcze zawierają wodę, ale największą jej zawartością cechują się warzywa i owoce. Osobom dorosłym zaleca się przyjmowanie minimum 1,5 l wody dziennie (bez uwzględniania wody przyjmowanej z pokarmami). Należy jednak pamiętać, że woda jest wydalana z moczem, kałem, wydychanym powietrzem oraz przez skórę, dlatego musi być uzupełniana. Dodatkowe jej ilości należy pić w czasie upałów, wzmożonego wysiłku fizycznego czy choroby, gdyż wtedy tracimy więcej wody.

Składniki mineralne stanowią ok. 4–5% masy ciała człowieka (większość jest wbudowana w składniki strukturalne komórki), ich działanie w organizmie jest wielokierunkowe:

- stanowią materiał budulcowy kości, zębów, skóry i włosów,
- są składnikiem makrocząsteczek komórki, np. enzymów,
- utrzymują i regulują równowagę kwasowo-zasadową.

Składniki mineralne podzielono na **makroelementy** (m.in. węgiel, wodór, tlen, azot, siarka, fosfor, wapń, magnez, potas, sód) oraz **mikroelementy** (m.in. żelazo, cynk, jod). Spośród makroelementów węgiel, wodór, tlen i azot stanowią **pierwiastki biogenne**, które są podstawowymi składnikami wszystkich związków budujących organizm. Pozostałe składniki mineralne regulują szereg kluczowych czynności fizjologicznych, dlatego muszą być dostarczane wraz z pokarmami w odpowiedniej ilości i formie. W **tabelach I.4.3. i I.4.4.** przedstawiono funkcje wybranych makro- i mikroelementów.



Ryc. I.4.1. Podłożem pelagry jest niedobór niacyny.

woda

mikro-
i makroelementy



Tab. I.4.3. Charakterystyka wybranych mikroelementów

Pierwiastek	Rola w organizmie	Źródło	Skutki niedoboru
MIKROELEMENTY			
Żelazo	składnik hemoglobiny, mio-globiny, enzymów	wątroba, żółtka jaj, ciemne pieczywo, rośliny strączkowe, orzechy, warzywa	anemia, zaburzenia wchłaniania witamin z grupy B, arytmia serca
Cynk	stymuluje pracę układu odpornościowego, jest niezbędny przy podziale komórek, stymuluje gojenie się ran, bierze udział w metabolizmie tłuszczów	wątroba, owoce morza, ziarna zbóż, orzechy, warzywa i owoce	łamliwość włosów i paznokci, utrudnione gojenie się ran
Jod	składnik hormonów tarczycy, warunkuje prawidłową przemianę materii	sól jodowana, ryby morskie	powiększenie tarczycy i zaburzenia jej funkcjonowania; upośledzenie umysłowe

Tab. I.4.4. Charakterystyka wybranych makroelementów

Pierwiastek	Rola w organizmie	Źródło	Skutki niedoboru
MAKROELEMENTY			
Azot	składnik aminokwasów, białek, kwasów nukleinowych, witamin, fosfolipidów	pokarmy pochodzenia roślinnego i zwierzęcego	zahamowanie wzrostu i rozwoju
Wapń	składnik zębów, kości, płynów ustrojowych; bierze udział w skurczu mięśni i procesach krzepnięcia krwi	mleko i przetwory mleczne, warzywa, jaja	łamliwość kości, krzywica, wypadanie zębów, zaburzenia krzepnięcia krwi, zaburzenia pracy układów nerwowego i mięśniowego
Magnez	bierze udział w procesach utleniania biologicznego, trawienia tłuszczów; składnik enzymów; ułatwia przyswajanie witaminy C i wapnia	orzechy, kakao, rośliny strączkowe, warzywa i owoce (m.in. banany)	rozdrażnienie, przykurcz mięśni, zaburzenia pracy serca, migreny
Potas	bierze udział w przewodzeniu nerwowym i skurczu mięśni; wpływa na ciśnienie osmotyczne płynów ustrojowych	brokuły, rośliny strączkowe, kakao, ziemniaki, szpinak, pomidory	zwolnienie reakcji na bodźce, suchość skóry, przykurcze mięśni
Sód	bierze udział w przewodnictwie nerwowym, reguluje ciśnienie płynów pozakomórkowych i gospodarkę wodną	sól kuchenna, owoce morza, ryby	zaburzenia w przewodnictwie nerwowym, wzrost ciśnienia krwi



Pierwiastek	Rola w organizmie	Źródło	Skutki niedoboru
MAKROELEMENTY			
Fosfor	składnik zębów i kości; buduje kwasy nukleinowe, ATP	mleko, przetwory mleczne, ziarna zbóż, ryby	zaburzenia wielu procesów metabolicznych

Suplementy diety

suplementy diety

We współczesnym świecie stosowanie **suplementów diety** jest bardzo rozpowszechnione. Według ustawy o bezpieczeństwie żywności i żywienia suplementy diety to „środki spożywcze, których celem jest uzupełnienie normalnej diety, będące skoncentrowanym źródłem witamin, składników mineralnych lub innych substancji, wykazujących efekt odżywczy lub inny fizjologiczny [...]”. Należy podkreślić, że suplementy diety nie są lekami. Preparaty te mogą stanowić jeden ze sposobów uzupełnienia niedoborów witamin czy składników mineralnych. Składnikami suplementów mogą być także aminokwasy, kwasy tłuszczowe, błonnik pokarmowy czy wybrane substancje roślinne. Należy pamiętać, że suplementy diety mogą być stosowane w czasie zwiększonego zapotrzebowania na nie (np. w czasie ciąży zalecana jest suplementacja m.in. kwasem foliowym czy witaminą D) lub ograniczonego ich przyswajania (np. u ludzi starszych). Niewłaściwe stosowanie suplementów diety (np. kilku preparatów jednocześnie lub łącznie z lekami) może stanowić zagrożenie dla życia i zdrowia. Decyzja o rozpoczęciu suplementacji powinna być zasadna i poprzedzona konsultacją z lekarzem lub dietetykiem. Dotychczasowe badania naukowe pokazały, że u ludzi zdrowych, stosujących zrównoważoną dietę i aktywnych fizycznie stosowanie suplementów diety nie jest uzasadnione.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

- Spośród wymienionych poniżej witamin wybierz te, które rozpuszczają się w tłuszczach, i omów ich fizjologiczną rolę.
kwas askorbinowy, kobalamina, tokoferol, ryboflawina, retinol, biotyna, kwas foliowy
- Przerysuj do zeszytu tabelę dotyczącą skutków niedoborów wybranych witamin u człowieka i ją uzupełnij.

Witamina	Skutki niedoboru
	wady cewy nerwowej u płodu
	pelagra
	ślepotą zmierzchowa
	szkorbut



3. Przeczytaj poniższy tekst, a następnie wykonaj ustnie polecenia.

Pierwiastek ten jest elektrolitem, przez co kontroluje pracę mięśni. Umożliwia generowanie impulsów elektrycznych w mięśniach, w tym w sercu. Jest antagonistą sodu i jego przeciwstawne działanie polega m.in. na zmniejszaniu objętości płynów zewnątrzkomórkowych, przez co pomaga kontrolować ilość wody w organizmie. Odpowiada za utrzymanie prawidłowego ciśnienia krwi poprzez jego obniżanie.

a) Podaj nazwę opisanego pierwiastka.

b) Wymień źródła pokarmowe tego pierwiastka.

4. Wyjaśnij, podając cztery argumenty, dlaczego w trakcie biegunki konieczne jest uzupełnianie płynów.
5. Wykonaj doświadczenie opisane na stronach 389–390 podręcznika.

PODSUMOWANIE LEKCJI

s. 36

Witaminy dzieli się na rozpuszczalne w tłuszczach (A, D, E i K) oraz rozpuszczalne w wodzie (m.in. B₁, B₂, C).

s. 36

Witaminy są niezbędne do prawidłowego funkcjonowania organizmu, o czym świadczą skutki ich **nie-
doboru** (m.in. anemia, wady wrodzone płodu, pelagra).

s. 36

Nadmiar witamin prowadzi do zaburzeń w funkcjonowaniu organizmu.

s. 39

Woda zapewnia aktywność życiową komórek i musi być dostarczana w odpowiedniej ilości, a jej ubytki należy uzupełniać.

s. 39

Mikro- i makroelementy są składnikami enzymów oraz regulują wiele reakcji metabolicznych.

s. 41

Stosowanie **suplementów diety** (m.in. preparatów witaminowych) musi być zasadne i skonsultowane z lekarzem.

5. Zasady zdrowego żywienia

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz rolę żywienia w utrzymaniu zdrowia u ludzi;
- przeanalizujesz zasady zrównoważonego żywienia;
- dowiesz się, ile energii potrzebuje organizm.

właściwe żywienie

Właściwe żywienie jest podstawą prawidłowego rozwoju i utrzymania dobrego zdrowia człowieka. W czasie wzrostu i rozwoju organizmu odpowiednia podaż składników odżywczych warunkuje dobre zdrowie, samopoczucie, wpływa na funkcje poznawcze, a także zapobiega wielu schorzeniom w późniejszych okresach życia. Dlatego w dzieciństwie i młodości należy kształtować prawidłowe nawyki żywieniowe, które wraz z aktywnością fizyczną leżą u podstaw prawidłowego rozwoju organizmu.



zrównoważona
dieta

Prawidłowe żywienie polega na dostarczeniu w ciągu doby właściwych proporcji niezbędnych związków: białek, tłuszczów, węglowodanów, witamin, soli mineralnych oraz wody. Dieta skomponowana w ten sposób nazywa się **dieta zrównoważoną**. Ideę zrównoważonego żywienia przedstawia piramida zdrowego żywienia (ryc. 1.5.1.), która w graficzny sposób pokazuje proporcje niezbędnych w codziennej diecie grup produktów spożywczych. Im wyżej dany produkt znajduje się na piramidzie, tym częściej i ilość jego spożywania powinna być mniejsza.

Ryc. 1.5.1. Piramida zdrowego żywienia przedstawia ilości i proporcje produktów, które powinien spożywać człowiek. Dieta musi być uzupełniona o aktywność fizyczną.



Stosuj zasady **zrównoważonego żywienia** wynikające z informacji przedstawionych na piramidzie zdrowego żywienia:

zasady zdrowego
żywienia

- spożywaj posiłki regularnie (5 posiłków dziennie, co 3–4 godziny);
- twoja dieta powinna zawierać dużo warzyw i owoców oraz produkty zbożowe, pełnoziarniste, gdyż są one źródłem witamin, mikroelementów oraz błonnika pokarmowego, przez co zmniejszają ryzyko wystąpienia wielu chorób, w tym otyłości czy nowotworów;
- w twojej diecie powinno się znaleźć mleko i jego przetwory, gdyż są one źródłem wapnia, białka oraz witamin;
- jedz ryby, nasiona roślin strączkowych, jajka, chude mięso, ponieważ zawierają one pełnowartościowe białko, witaminy oraz NNKT;
- ogranicz spożycie produktów przetworzonych i tłuszczów zwierzęcych, bo zawierają one znaczne ilości nasyconych kwasów tłuszczowych w formie *trans*;



zapotrzebowanie
organizmu
na energię

- unikaj spożywania cukru, słodczy, słodkich napojów, soli i słonych przekąsek oraz jedzenia typu *fast food*, gdyż wpływają one niekorzystnie na organizm, a ich spożycie zwiększa ryzyko rozwoju chorób sercowo-naczyniowych;
- pij dużo wody do posiłku i między posiłkami;
- zadbaj o aktywność fizyczną (codzienne ok. 60 min).

Oprócz prawidłowo skomponowanych posiłków dieta musi uwzględniać **zapotrzebowanie organizmu na energię**, której dostarczają składniki pożywienia. Energia uwalnia się w czasie utleniania tych składników. Najwięcej energii można otrzymać z tłuszczów (1 g dostarcza 37,7 kJ, czyli 9 kcal), podczas gdy z węglowodanów i białek zyskuje się ponad połowę mniej energii (1 g tych związków dostarcza 4 kcal). Zapotrzebowanie na energię zależy od wieku, płci, stanu fizjologicznego oraz aktywności fizycznej (**tab. I.5.1.**).

Tab. I.5.1. Zapotrzebowanie energetyczne (kcal/dobę) osób w różnym wieku i o różnej aktywności fizycznej

Płeć	Wiek (lata)	Tryb		
		siedzący	umiarkowanie aktywny	aktywny
Dziecko	2–3	1000	1000–1400	1000–1400
Kobieta	4–8	1200	1400–1600	1400–1800
	9–13	1600	1600–2000	1800–2200
	14–18	1800	2000	2400
	19–39	2000	2000–2200	2400
	31–50	1800	2000	2200
	51+	1600	1800	2000–2200
Mężczyzna	4–8	1400	1400–1600	1600–2000
	9–13	1800	1800–2200	2000–2600
	14–18	2200	2400–2800	2800–3200
	19–39	2400	2600–2800	3000
	31–50	2200	2400–2500	2800–3000
	51+	2000	2200–2400	2400–2800

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Narysuj w zeszycie schemat piramidy zdrowego żywienia. Na odpowiednich poziomach wpisz podane niżej pojęcia.

zboża i produkty pełnoziarniste, nasiona i orzechy, mleko i przetwory mleczne, warzywa i owoce, mięso i ryby, oleje roślinne, aktywność fizyczna



2. Przez trzy dni notuj na kartce dokładny skład swoich całodziennych posiłków. Sporządzoną listę porównaj z zaleceniami piramidy zdrowego żywienia i odpowiedz ustnie na poniższe pytania.
 - a) Czy twoja dieta jest zrównoważona?
 - b) Co powinienesz/powinnaś zmienić w swojej diecie?
 - c) Czy pijesz zalecaną ilość wody?
3. Wykonaj doświadczenie opisane na stronie 390 podręcznika.

PODSUMOWANIE LEKCJI

Właściwe żywienie jest podstawą prawidłowego wzrostu i rozwoju człowieka.

s. 42

Zasady zdrowego żywienia w postaci piramidy zdrowego żywienia podają proporcje niezbędnych składników odżywczych w codziennej diecie.

s. 43

Na zdrowie człowieka wpływa **zrównoważona dieta** oraz regularna, umiarkowana aktywność fizyczna.

s. 43

Prawidłowa dieta uwzględnia **zapotrzebowanie organizmu na energię**, która uwalnia się w czasie spalania składników pożywienia.

s. 44

6. Budowa i funkcje układu pokarmowego

NA TEJ LEKCJI:

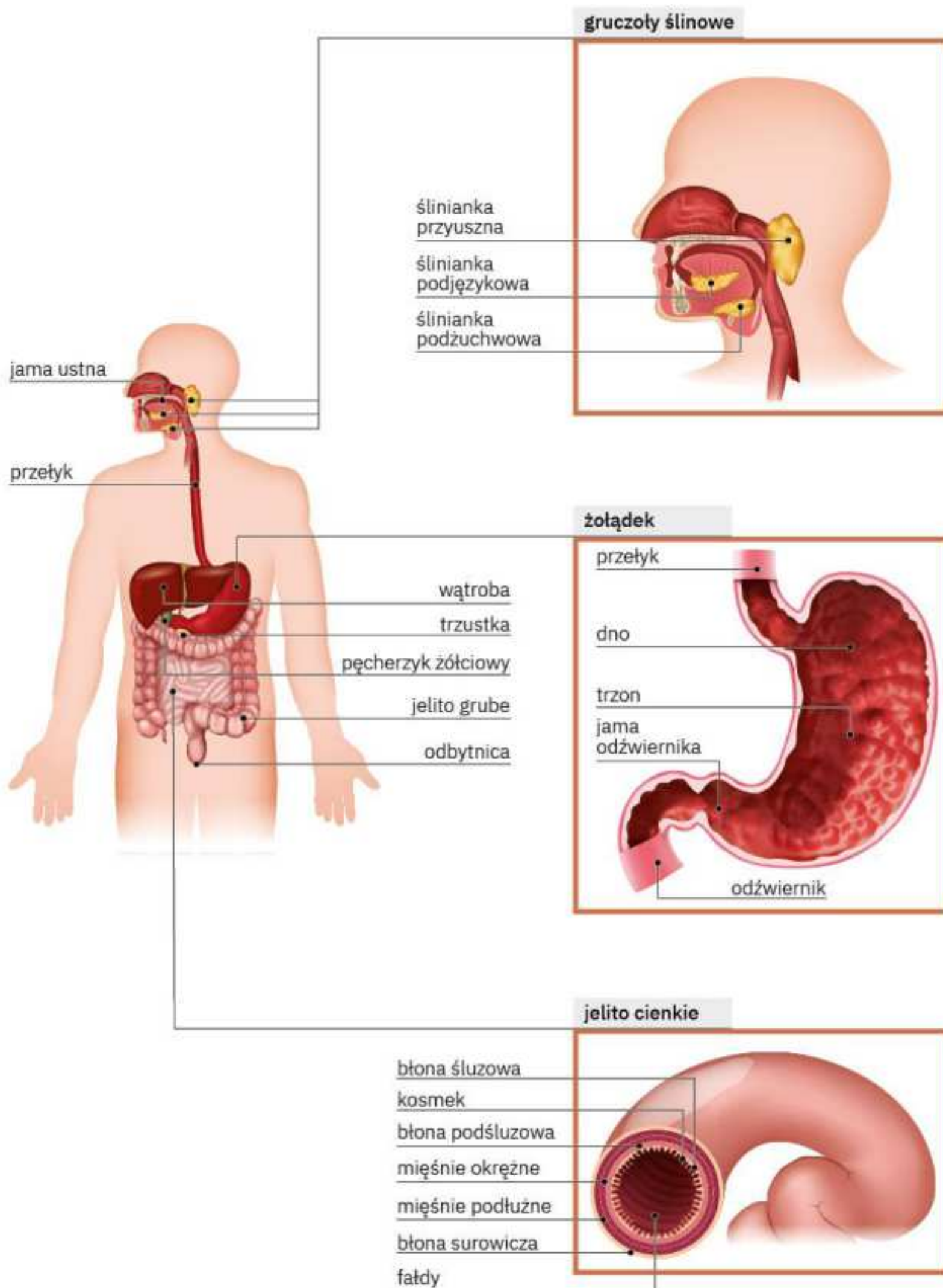
- dowiesz się, jak jest zbudowany układ pokarmowy człowieka;
- poznasz budowę i funkcje poszczególnych odcinków układu pokarmowego.

Pod pojęciem **układu pokarmowego** rozumiemy jego elementy, czyli przewód pokarmowy i towarzyszące mu narządy pomocnicze, oraz procesy rozdrabniania, trawienia i wchłaniania odbywające się na poszczególnych jego poziomach. W układzie pokarmowym produkty, które dostarczamy wraz z dietą, są enzymatycznie rozłożone do związków nadających się do wchłonięcia. Są one w dalszej kolejności substratami do budowy nowych komórek, makrocząsteczek oraz do uzyskiwania energii.

układ pokarmowy

Przewód pokarmowy to długa rura, dzięki której możliwe jest pobieranie i przemieszczanie się pokarmu. W jego skład wchodzi: jama ustna, gardło, przełyk, żołądek, jelito cienkie, jelito grube i odbytnica. Narządami dodatkowymi są: ślinianki, trzustka oraz wątroba i drogi żółciowe (**ryc. 1.6.1.**).

przewód
pokarmowy



Ryc. I.6.1. Budowa przewodu pokarmowego człowieka.

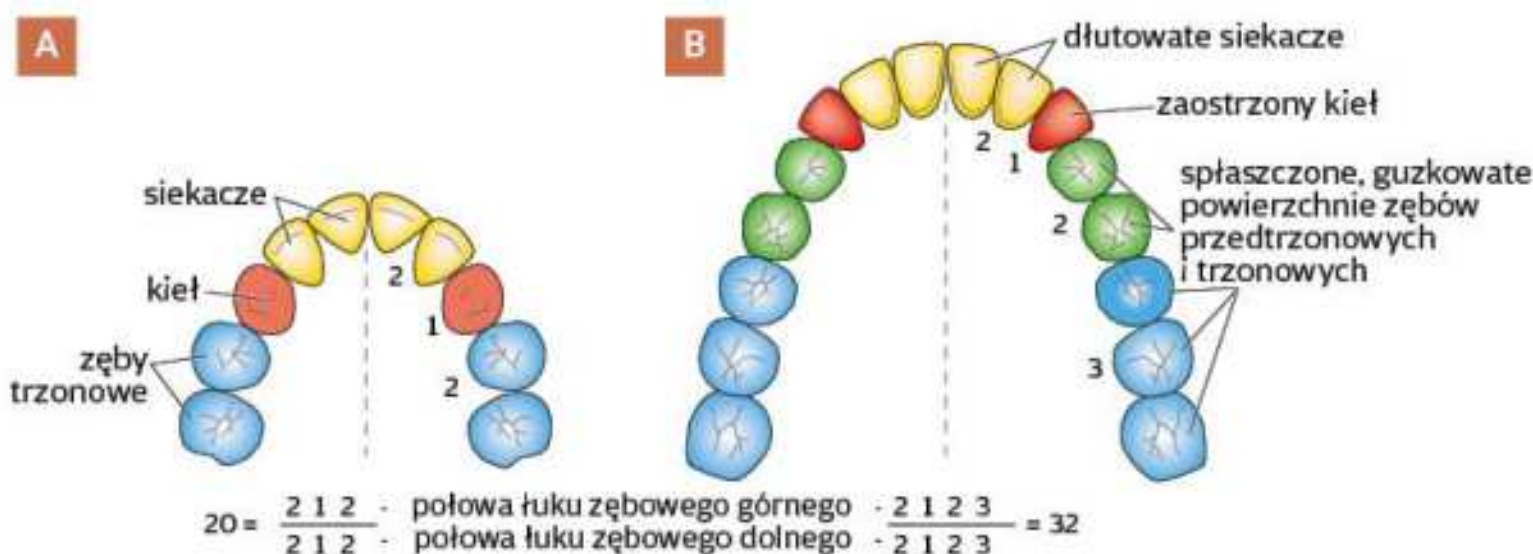


Budowa i funkcje odcinków przewodu pokarmowego

Jama ustna

jama ustna

Przewód pokarmowy rozpoczyna się w jamie ustnej (**ryc. 1.6.1.**). W jamie ustnej w szczęcie i żuchwie są osadzone w zębodołach zęby. Człowiek ma dwa komplety zębów – zęby mleczne (tymczasowe) oraz trwałe (stałe) (**ryc. 1.6.2.**). Zęby tymczasowe zaczynają się pojawiać ok. 6. miesiąca życia, a cały komplet 20 zębów mlecznych jest obecny ok. 24. miesiąca życia. Zostają one zastąpione przez zęby stałe, które zaczynają pojawiać się ok. 6. roku życia. Uzębienie stałe liczy 32 zęby (pełną postać uzyskuje ok. 21. roku życia).



Ryc. 1.6.2. Zęby mleczne (A) i zęby stałe (B).

Zęby dorosłego człowieka różnią się rozmiarami i kształtem (**ryc. 1.6.2.**), co stanowi przystosowanie do pełnionych przez nie funkcji, czyli rozdrabniania (siekiacze i kły) oraz rozcierania i żucia pokarmu (przedtrzonowe i trzonowe). Ząb zbudowany jest z korony, która wystaje ponad dziąsło, szyjki oraz korzenia. W środku znajduje się komora, w której mieszczą się naczynia krwionośne i nerwy. Niewłaściwa higiena jamy ustnej i zębów prowadzi do **próchnicy** powstałej w wyniku działania bakterii (**ryc. 1.6.3.**). Bakterie znajdujące się w chorych zębach mogą wraz z krwią przedostawać się do innych narządów i powodować ich choroby.

Na dnie jamy ustnej znajduje się **język**, czyli fałd mięśniowy pokryty błoną śluzową. Na górnej powierzchni języka znajdują się liczne brodawki, w których są osadzone **kubki smakowe**, czyli receptory, za pomocą których odczuwamy smak. Język bierze udział w żuciu, połykaniu i mówieniu.

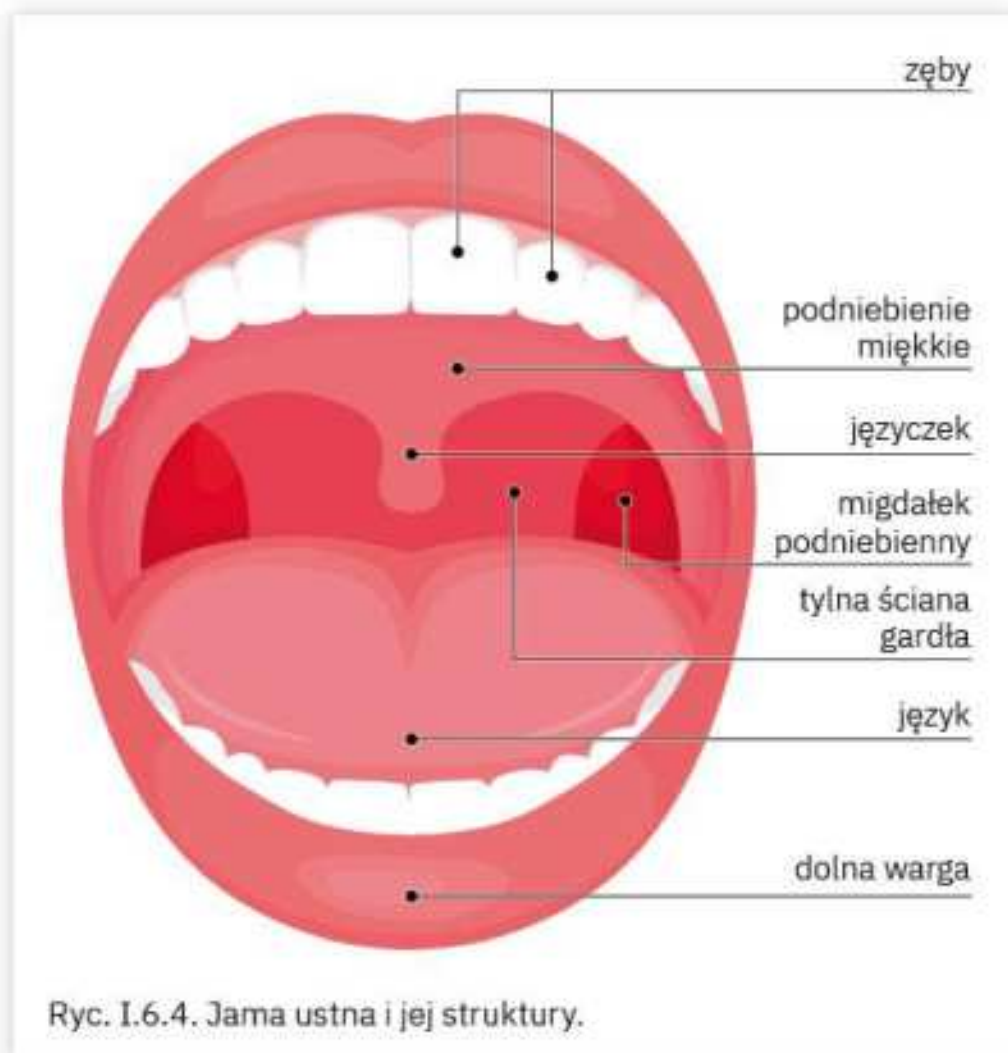


Ryc. 1.6.3. Próchnica zębów to efekt działania bakterii.

**ślinianki**

Do jamy ustnej uchodzą także przewody dużych gruczołów ślinowych, czyli **ślinianek**. Wyróżniamy trzy pary ślinianek: przyuszne, podżuchwowe oraz podjęzykowe (**ryc. I.6.1.**). Ich wydzieliną jest ślina, czyli roztwór wodny o pH w zakresie 5,8–7,4,

który zawiera m.in.: sole mineralne, enzymy (amylazę ślinową), śluz, lizozym oraz przeciwciała. Wydzielanie śliny jest kontrolowane przez autonomiczny układ nerwowy, ale także może być wywołane przez różne bodźce, np. myśl o jedzeniu. Pod wpływem stresu ilość wydzielanej śliny znacznie się zmniejsza. Tę wiedzę wykorzystywali już w starożytności Chińczycy przy przesłuchiwanie podejrzanych o przestępstwo. Jeśli podejrzany był w stanie w czasie zeznań wyprodukować tyle śliny, żeby połknąć suchy ryż – wypuszczano go na wolność, jeśli nie – uznawano go za winnego.



W ciągu doby powstaje ok. 1,5 l śliny. Do głównych funkcji śliny należą:

- trawienie – dzięki zawartej w ślinie amylazie polisacharydy, m.in. skrobia, są rozkładane do dwucukru maltozy;
- ochrona przed drobnoustrojami dzięki zawartym w ślinie przeciwciałom oraz lizozymowi;
- nadawanie kęsom pokarmu poślizgu i oczyszczanie jamy ustnej w okresach między posiłkami.

Gardło i przełyk**gardło****przełyk**

Gardło jest wspólną częścią układu pokarmowego i oddechowego. Ma długość ok. 12 cm. Jest wyposażone w mechanizmy zabezpieczające przed przedostawaniem się pokarmu do tchawicy. Pokarm przechodzi przez gardło do przełyku, a bodźcem do tego jest ciśnienie, jakie powstaje, gdy język przesuwając kęs pokarmu w stronę tylnej części gardła. **Przełyk** osiąga długość do 25 cm, a skurcze jego mięśni umożliwiają transport pokarmu do żołądka. Dolna część przełyku jest oddzielona od żołądka za pomocą **zwieracza przełyku**. Niewłaściwa praca zwieracza przełyku powoduje, że kwas żołądkowy podrażnia ściany przełyku i prowadzi do refluksu żołądkowo-przełykowego, zwanego także **zgagą**.



żołądek

gruczoły żołądkowe

Żołądek

Żołądek to rozszerzona część przewodu pokarmowego, którego pojemność u osoby dorosłej wynosi ok. 1,5 l. W budowie żołądka wyróżniamy dno (od strony przetyku), trzon oraz odźwiernik (graniczący z dwunastnicą) (**ryc. 1.6.1**). W zależności od rodzaju spożywanego pokarmu może on zalegać w żołądku od 2 do 8 h. W tym czasie podlega szeregowi modyfikacji chemicznych i fizycznych. Wyściełająca żołądek błona śluzowa zawiera **gruczoły żołądkowe**, które wydzielają do jego wnętrza **sok żołądkowy** (ok. 2 l na dobę). W skład soku żołądkowego wchodzi: woda, sole mineralne, śluz, enzymy trawienne oraz kwas solny HCl w stężeniu 0,2–0,5% wydzielany przez komórki okładzinowe. Sok żołądkowy pełni wiele ważnych funkcji:

- zawarta w nim woda upłynnia pokarm, a śluz nadaje mu poślizg umożliwiający mieszanie i przemieszczanie się;
- kwas solny zakwasza pokarm, przez co hamuje działanie amylazy ślinowej oraz zabija drobnoustroje połknięte wraz z jedzeniem;
- zawiera enzym pepsynę, która odpowiada za pierwszy etap trawienia białek (szczególnie wydajnie trawi kolagen, dlatego ma duże znaczenie w trawieniu mięsa); pepsyna jest wydzielana w postaci nieaktywnego pepsynogenu, a przekształcana w aktywny enzym pod wpływem kwasu żołądkowego;
- zawiera enzym lipazę żołądkową, która trawi pewną część trójglicerydów;
- zawiera białko konieczne do wchłaniania witaminy B₁₂ w dalszych odcinkach przewodu pokarmowego.

Kwaśne środowisko żołądka jest niezbędnym czynnikiem warunkującym wchłanianie żelaza na dalszych odcinkach.

Komórki żołądka pełnią także funkcje wewnątrzwydzielnicze – wydzielają do krwi hormon zwany **gastryną**. Hormon ten pobudza uwalnianie kwasu żołądkowego. Komórki śluzowe żołądka wydzielają śluz oraz wodorowęglany, których zadaniem jest samoochrona żołądka przed kwasem solnym oraz enzymami. To niezwykle ważny mechanizm chroniący przed uszkodzeniami błony śluzowej żołądka. Zwiększone wydzielanie śluzu następuje w wyniku podrażnienia żołądka spowodowanego przyjmowaniem niektórych leków lub spożywaniem alkoholu.

jelito cienkie

trawienie enzymatyczne

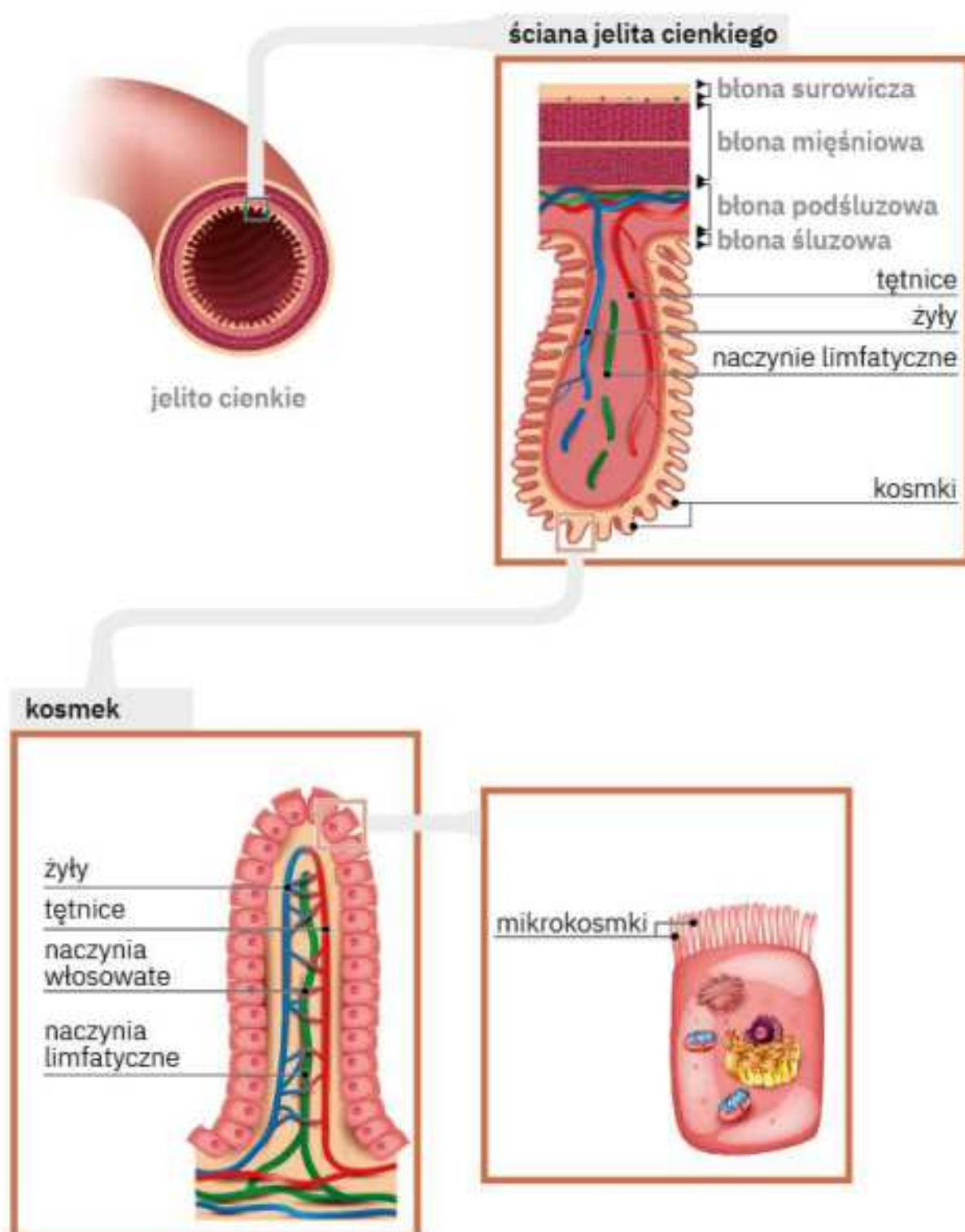
Jelito cienkie

Jelito cienkie stanowi przedłużenie żołądka, ma ok. 3 m długości i przechodzi w jelito grube. W jelicie cienkim zachodzą ostatnie etapy **trawienia** enzymatycznego pokarmów oraz rozpoczyna się **wchłanianie** większości składników odżywczych. Jelito cienkie jest zbudowane z trzech części: dwunastnicy, jelita czczego oraz jelita krętego, które łączy się z jelitem grubym. **Dwunastnica** ma ok. 25 cm długości. Do dwunastnicy uchodzą wydzieliny pęcherzyka żółciowego oraz trzustki. Ściana jelit składa się z czterech warstw, od strony światła jelita znajdują się kolejno: 1) błona śluzowa, 2) błona podśluzowa, 3) błona mięśniowa, 4) błona surowicza (**ryc. 1.6.5**).



kosmki
i mikrokosmki

Wydatne wchłanianie substancji odżywczych w jelicie cienkim jest możliwe dzięki budowie błony śluzowej jelita cienkiego. Na jej powierzchni znajdują się specjalne palcowate wypustki, zwane **kosmkami**, na których występują dodatkowe drobniutkie **mikrokosmki** (ryc. I.6.5.). Taka budowa sprawia, że powierzchnia jelita zwiększa się ponad 600-krotnie. Między komórkami kosmków znajdują się gruczoły jelitowe, które wydzielają sok jelitowy zawierający wodę, enzymy i sole mineralne (pH ok. 8.0). W kosmkach jelitowych znajdują się naczynia krwionośne i limfatyczne, do których są wchłaniane składniki odżywcze.



Ryc. I.6.5. Błona śluzowa jelita cienkiego jest pokryta kosmkami. Na powierzchni kosmków znajdują się mikrokosmki.



Najważniejszymi funkcjami jelita cienkiego są:

- przesuwanie treści pokarmowej do przodu, będące efektem ruchów perystaltycznych,
- wydzielanie soku jelitowego,
- zakończenie enzymatycznego trawienia węglowodanów, białek i tłuszczów,
- wchłanianie składników odżywczych,
- wydzielanie hormonów.

Jelito grube i odbytnica

Jelito grube ma ok. 1,5 m długości i jest ułożone łukiem wokół pętli jelita cienkiego. Jelito grube dzieli się na kątnicę (tu odchodzi wyrostek robaczkowy), okrężnicę i esicę, która jest zakończona odbytnicą. Najważniejszymi funkcjami jelita grubego i odbytnicy są:

- wchłanianie wody, soli mineralnych, witamin i niektórych leków,
- formowanie i oddawanie kału (defekacja),
- tworzenie środowiska życia mikroorganizmów jelitowych, czyli **mikrobiomu**.

jelito grube

mikrobiom

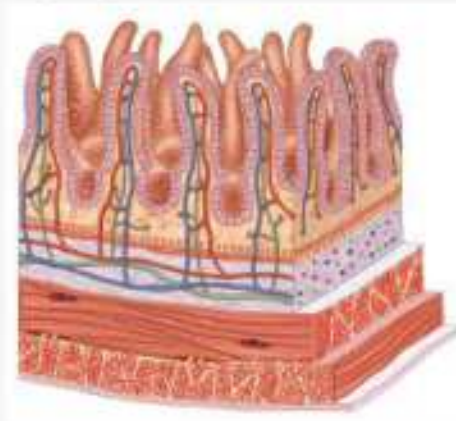
W jelicie grubym stwierdzono ponad 800 gatunków bakterii i archeonów, a całkowita ich masa może osiągać nawet 2 kg. Oszacowano, że bakterii żyjących w naszym organizmie, głównie w jelitach, jest więcej niż komórek budujących nasze ciało. Wśród mikrobiomu dominują bakterie: *Escherichia coli* (czyt. eszerichja koli; pałeczka okrężnicy), *Enterobacter aerogenes* (czyt. enterobakter erogenes), *Streptococcus faecalis* (czyt. streptokokus fekalis) i *Clostridium perfringens* (czyt. klostridium perfringens). Bakterie jelitowe są niezbędne do prawidłowego trawienia, wchłaniania oraz ochrony immunologicznej. Ponadto bakterie te syntetyzują witaminę K oraz witaminy z grupy B. W czasie przeprowadzanej przez bakterie jelitowe **fermentacji błonnika** pokarmowego wydzielają się substancje (np. kwas masłowy), które odżywiają komórki nabłonka jelita grubego oraz chronią przed rozwojem bakterii chorobotwórczych. Bakterie mikrobiomu są komensalami, co oznacza, że nie czynią one gospodarzowi żadnej szkody. Inaczej jest, gdy dostaną się do innych miejsc organizmu, np. bakteria *E. coli* może po przedostaniu się do pęcherza moczowego powodować jego stany zapalne. Badania i dane dotyczące mikrobiomu człowieka są gromadzone przez międzynarodową organizację Human Microbiome Project (Projekt Ludzkiego Mikrobiomu; <https://hmpdacc.org/hmp/>).

Zaburzenia pracy jelita grubego związane z wchłanianiem wody prowadzą do powstania **biegunki**. Biegunkę mogą wywołać niektóre substancje pochodzenia roślinnego, toksyny bakteryjne lub stany emocjonalne (np. stres). Biegunka jest bardzo niebezpieczna, ponieważ może prowadzić do odwodnienia organizmu (szczególnie u niemowląt i małych dzieci). W przypadku tego zaburzenia należy pamiętać o uzupełnianiu płynów. Z kolei **zaparcia** występują wówczas, gdy kał przesuwa się w jelicie zbyt wolno i zostaje przetrzymany w okrężnicy. Zbyt długie wchłanianie wody powoduje, że stolec staje się twardy i suchy. Jednym z powodów zaparc jest dieta uboga w błonnik pokarmowy.



ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Do podanych definicji dobierz odpowiednie pojęcia wybrane z poniższej listy. Odpowiedzi zapisz w zeszycie.
żołądek, odbytnica, jama ustna, jelito cienkie, jelito grube, gardło, zwieracz przełyku, odźwiernik, trzustka
Miejsce zachodzenia większości procesów trawienia. ...
Pierwszy odcinek jelita cienkiego. ...
Mięsień, którego nieprawidłowości prowadzą do zgagi. ...
Wspólny odcinek układów: pokarmowego i oddechowego. ...
2. Podaj, jaki element układu pokarmowego przedstawiono na rysunku i wyjaśnij fizjologiczną rolę tego elementu.
3. Wyjaśnij, czym jest mikrobiom jelitowy i jaką pełni on funkcję.
4. Wykonaj obserwację opisaną na stronie 390 podręcznika.



PODSUMOWANIE LEKCJI

s. 45

Na **układ pokarmowy** składają się przewód pokarmowy, narządy dodatkowe (ślinianki, trzustka, wątroba) oraz procesy zachodzące na poszczególnych jego poziomach (rozdrabnianie, trawienie, wchłanianie).

s. 45

Przewód pokarmowy jest zbudowany z jamy ustnej, gardła, przełyku, żołądka, jelita cienkiego, jelita grubego i odbytnicy.

s. 47

W **jamie ustnej** mieszczą się zęby (młeczne lub stałe) oraz język.

s. 48

Trzy pary **ślinianek** uchodzą do jamy ustnej i produkują ślinę zawierającą m.in. enzymy amylazy, które rozkładają skrobię do maltozy.

s. 48

Gardło jest wspólną częścią układu pokarmowego i oddechowego.

s. 48

Przełyk transportuje pokarm do żołądka, od którego jest oddzielony zwieraczem przełyku.

s. 49

Żołądek jest zbudowany z dna, trzonu i odźwiernika.

s. 49

Gruzoły żołądkowe znajdujące się w błonie śluzowej żołądka produkują sok żołądkowy zawierający m.in. kwas solny (zakwasza środowisko, aktywuje pepsynę i zabija drobnoustroje) oraz enzymy trawiące białka (pepsynę).

s. 49

Jelito cienkie dzieli się na dwunastnicę, jelito czcze i jelito kręte.

s. 49

W jelicie cienkim zachodzi **enzymatyczne trawienie pokarmów** oraz wchłanianie składników odżywczych.

s. 50

Wydajne wchłanianie jest możliwe dzięki obecności **kosmków i mikrokosmków** na błonie śluzowej jelita cienkiego.

s. 51

Jelito grube dzieli się na kątnicę, okrężnicę i esicę, a na jego końcu znajduje się odbytnica.

s. 51

W **jelicie grubym** zachodzi wchłanianie wody i soli mineralnych oraz powstawanie i oddawanie kału.

s. 51

Jelito grube jest środowiskiem życia **mikrobiomu**, czyli bakterii jelitowych niezbędnych do prawidłowego trawienia, wchłaniania i ochrony immunologicznej organizmu.



7. Dodatkowe narządy układu pokarmowego. Trawienie i wchłanianie substancji odżywczych

NA TEJ LEKCJI:

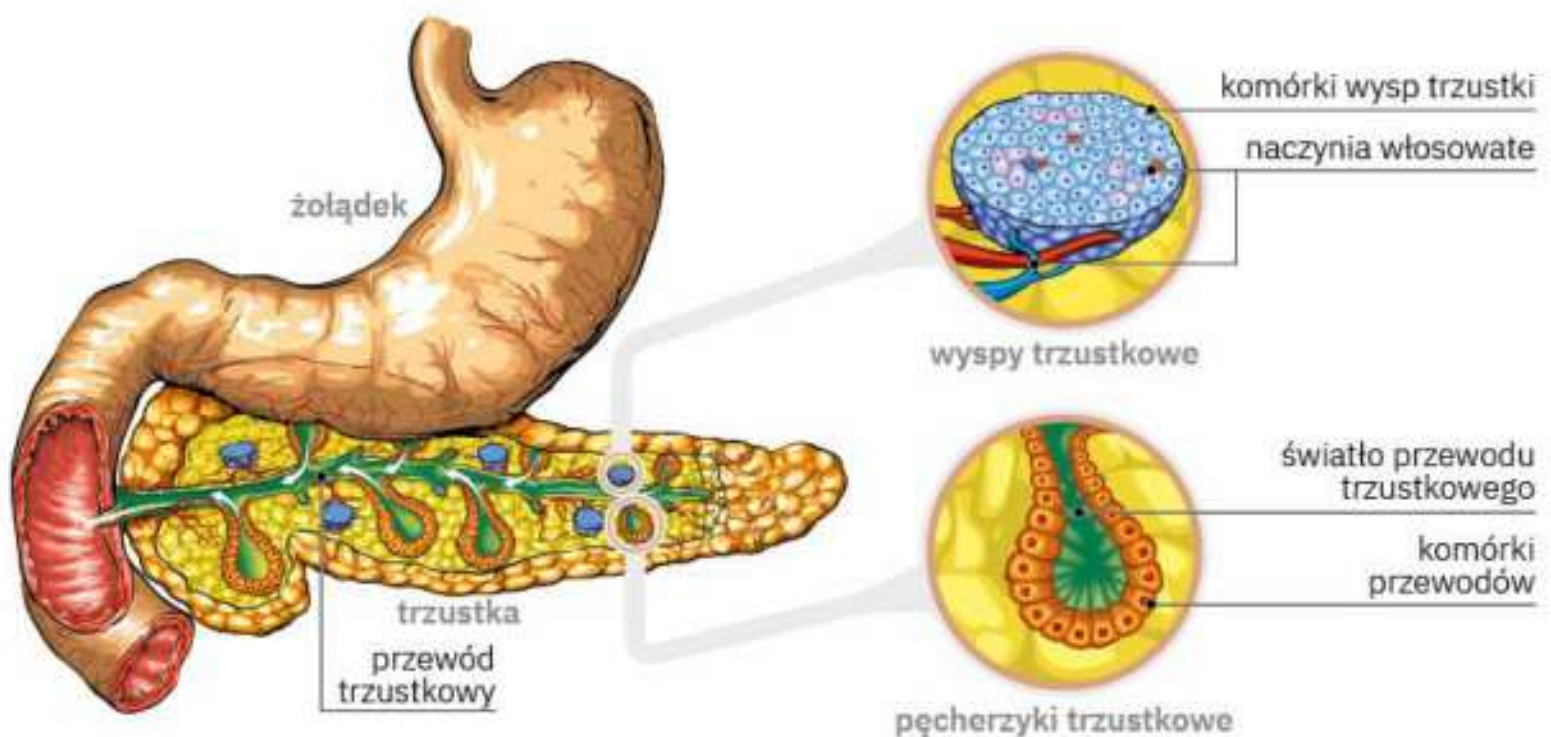
- poznasz budowę i funkcje trzustki oraz wątroby;
- dowiesz się, gdzie zachodzi i na czym polega trawienie pokarmów;
- prześledzisz przebieg wchłaniania składników odżywczych.

Narządy dodatkowe układu pokarmowego

Budowa i funkcje trzustki

Trzustka to niewielki gruczoł (ok. 60 g i 12–15 cm długości) ułożony poprzecznie za żołądkiem (**ryc. I.7.1.**). Składa się z szerszej części zwanej głową, trzonu oraz węższego ogona. Trzustka odgrywa dwojaką rolę: jest źródłem soku trzustkowego, który przewodem trzustkowym trafia do dwunastnicy, oraz wytwarza i wydziela hormony (insulinę i glukagon) uczestniczące w regulacji stężenia glukozy we krwi. Część trzustki wydzielająca enzymy jest zbudowana z płątów zwanych **pęcherzykami**, natomiast hormony są wydzielane przez komórki **wysp trzustkowych** (**ryc. I.7.1.**). Trzustka wydziela także do dwunastnicy wodorowęglany, które neutralizują kwaśną treść trafiającą tam z żołądka.

trzustka



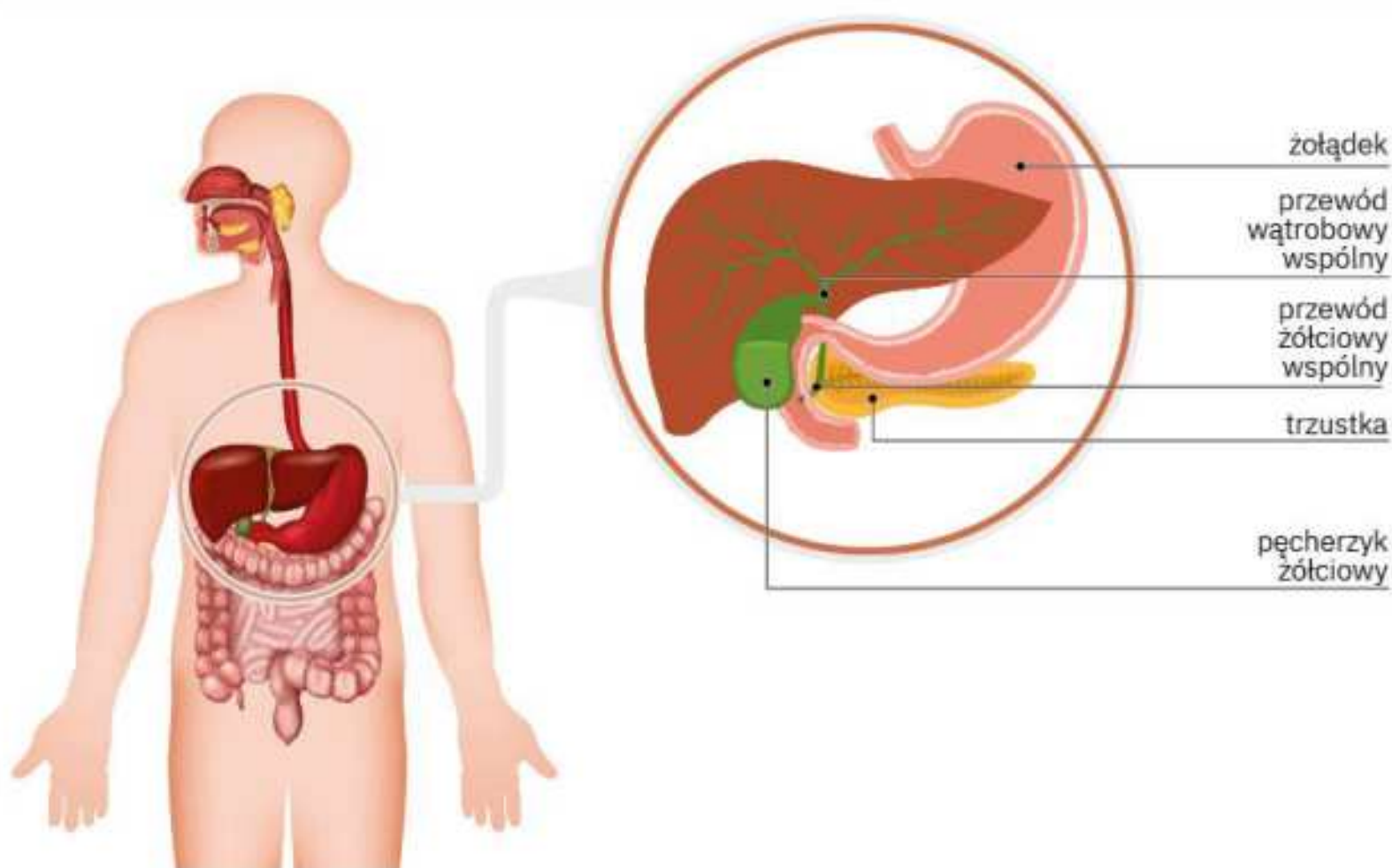
Ryc. I.7.1. Położenie trzustki względem żołądka oraz jej budowa anatomiczna.

**sok trzustkowy**

Istotną rolę w trawieniu odgrywa **sok trzustkowy**. Jest to mieszanina wieloenzymatyczna zawierająca amylazy (enzymy trawiące węglowodany), lipazy (enzymy trawiące tłuszcze), proteazy (enzymy trawiące białka), a także enzymy rozkładające kwasy nukleinowe. Większość enzymów trzustkowych jest wydzielana w postaci nieaktywnych **proenzymów**, które ulegają aktywacji dopiero w jelicie.

wątroba**Wątroba**

Wątroba to największy gruczoł w organizmie, którego waga może dochodzić nawet do 2 kg. Znajduje się w górnej części jamy brzusznej i jest zbudowana z czterech **płatów**. Płaty składają się ze **zrazików** zbudowanych z komórek zwanych **hepatocytami**. Komórki wątrobowe wydzielają **żółć**, która zbiera się w kanalikach żółciowych i jest wyprowadzana do dwunastnicy przez przewód żółciowy. W odstępach między trawieniem żółć gromadzi się w **pęcherzyku żółciowym**. Ma on postać gruszkowatej torebki przyczepionej do tylnej powierzchni wątroby (**ryc. I.7.2.**). W pęcherzyku żółciowym żółć jest zagęszczana (nawet 15-krotnie), a następnie uwalniania. W ciągu doby wątroba wytwarza ok. 1 l żółci. Żółć składa się z soli żółciowych, wody, soli mineralnych, śluzu, barwników żółciowych (np. bilirubina) i cholesterolu. Zadaniem żółci jest **emulgacja** tłuszczów, czyli ich odpowiednie rozdrobnienie prowadzące do zwiększenia ich rozpuszczalności, przez co zostaje ułatwiony ich kontakt z **lipazami**, czyli enzymami trawiącymi tłuszcze.

hepatocyty i żółć

Ryc. I.7.2. Lokalizacja i budowa wątroby oraz dróg żółciowych.



funkcje wątroby

Wątroba jest narządem wielofunkcyjnym. Do jej najważniejszych aktywności należą:

- wydzielanie żółci i emulgacja tłuszczów;
- utrzymanie właściwego stężenia glukozy we krwi – nadwyżka glukozy jest przekształcana w glikogen, w razie jej niedoboru glikogen jest rozkładany do glukozy;
- synteza mocznika;
- rozkład erytrocytów;
- odtruwanie organizmu poprzez unieszkodliwianie niebezpiecznych substancji, np. alkoholu, leków, toksyn;
- wytwarzanie ciepła;
- magazynowanie substancji, np. glikogenu, witamin A, D, E, K, B₁₂, żelaza, miedzi.

Procesy zachodzące w układzie pokarmowym

Podstawową funkcją układu pokarmowego jest transport substancji odżywczych oraz wody ze środowiska zewnętrznego do wnętrza organizmu. W tym celu zachodzą w nim dwa podstawowe procesy: **trawienie** oraz **wchłanianie**.

Trawienie

trawienie

Trawienie to chemiczny i mechaniczny proces rozkładu pokarmu na mniejsze elementy, które mogą przedostać się przez nabłonek do wnętrza organizmu. Jama ustna i żołądek odpowiadają za znaczącą część trawienia mechanicznego (rozdrabnianie, mieszanie). Trawienie chemiczne w tych odcinkach jest ograniczone do rozkładu niewielkich ilości skrobi i częściowego rozkładu białek w żołądku. Upłynniona treść pokarmowa po dostaniu się do jelita cienkiego miesza się z sokiem trzustkowym, żółcią oraz sokiem jelitowym. W jelicie cienkim kończy się trawienie wszystkich substancji odżywczych, które prowadzi do ich rozkładu na mniejsze cząsteczki, a następnie wchłonięcia (**ryc. I.7.3.**):

- Węglowodany (m.in. skrobia i sacharoza) zostają rozłożone do cukrów prostych (monosacharydów). W jelicie trawienie skrobi jest wznowiane przez **amylazę trzustkową**, która rozkłada ten polisacharyd do maltozy. Za trawienie maltozy oraz innych disacharydów (sacharozy, laktozy) odpowiadają **disacharydazy** (np. maltaza, sacharaza, laktaza).
- Wielkocząsteczkowe białka zostają rozłożone do peptydów i aminokwasów. Enzymy zaangażowane w ich trawienie dzielimy na **endopeptydazy (proteazy)** oraz **egzopeptydazy**. Proteazy, do których należą pepsyna, tripsyna, chymotrypsyna, hydrolizują wiązania peptydowe, dzieląc białko na mniejsze fragmenty. Egzopeptydazy, np. karboksypeptydaza trzustkowa, uwalniają z końców peptydów pojedyncze aminokwasy.
- Tłuszcze zostają rozłożone do glicerolu i kwasów tłuszczowych; ich trawienie jest wspomagane przez żółć, która rozbija duże krople tłuszczu na mniejsze



cząstki i ułatwia dostęp do nich **lipaz**. Pod wpływem tych enzymów z cząsteczek trójglicerydu są usuwane kwasy tłuszczowe. Fosfolipidy treści pokarmowej zostają strawione przez **fosfolipazę**. Cholesterol nie jest trawiony, lecz wchłaniany w niezmienionej postaci.

- Kwasy nukleinowe są trawione do nukleotydów, a następnie do zasad i monosacharydów przez enzymy trzustkowe i jelitowe.

Większość enzymów trawiennych znajduje się w komórkach kosmków jelita cienkiego. W wyniku bezpośredniego kontaktu makrocząsteczek z mikrokosmkami zachodzi trawienie białek, lipidów i węglowodanów.

Jama ustna i przełyk	
Wydzielanie:	ślina (gruczoły ślinowe)
Trawienie:	węglowodany
Wchłanianie:	–

Żołądek	
Wydzielanie:	HCl (komórki okładzinowe), pepsynogen i lipaza żołądkowa (komórki główne), śluz i wodorowęglany, gastryna, histamina
Trawienie:	białka, tłuszcze (w minimalnym stopniu)
Wchłanianie:	substancje rozpuszczalne w tłuszczach (np. alkohol i aspiryna)

Jelito cienkie	
Wydzielanie:	enzymy (enterocyty), śluz (komórki kubkowe), hormony, enzymy i wodorowęglany (trzustka), żółć (wydzielana przez wątrobę, a magazynowana w pęcherzyku żółciowym)
Trawienie:	białka, węglowodany, tłuszcze, kwasy nukleinowe
Wchłanianie:	aminokwasy, monosacharydy, kwasy tłuszczowe, cholesterol, zasady azotowe, woda, jony, minerały, witaminy

Jelito grube	
Wydzielanie:	śluz (komórki kubkowe)
Trawienie:	–
Wchłanianie:	jony, minerały, witaminy, woda, małe cząsteczki organiczne produkowane przez bakterie jelitowe

Ryc. I.7.3. Udział poszczególnych odcinków przewodu pokarmowego w trawieniu i wchłanianiu.

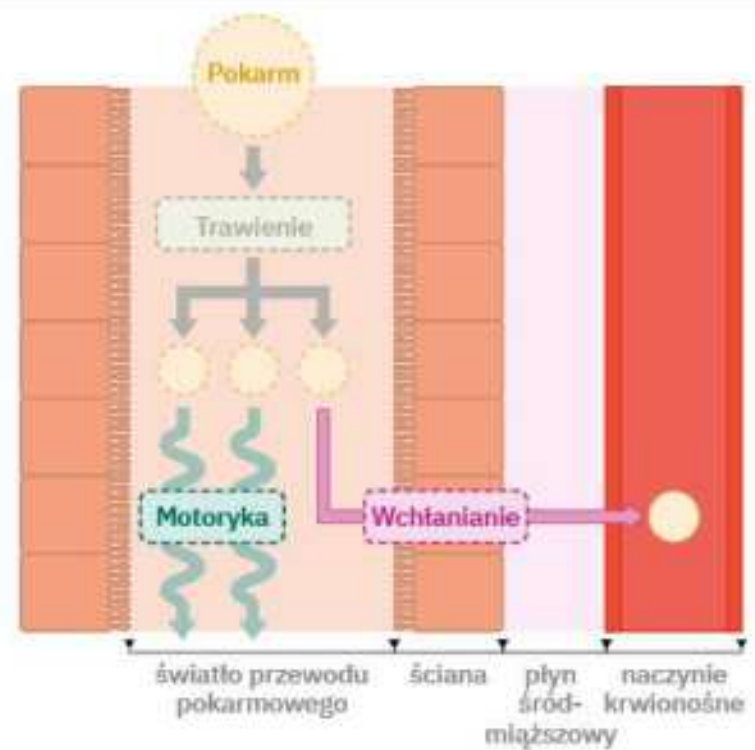
wchłanianie

Wchłanianie

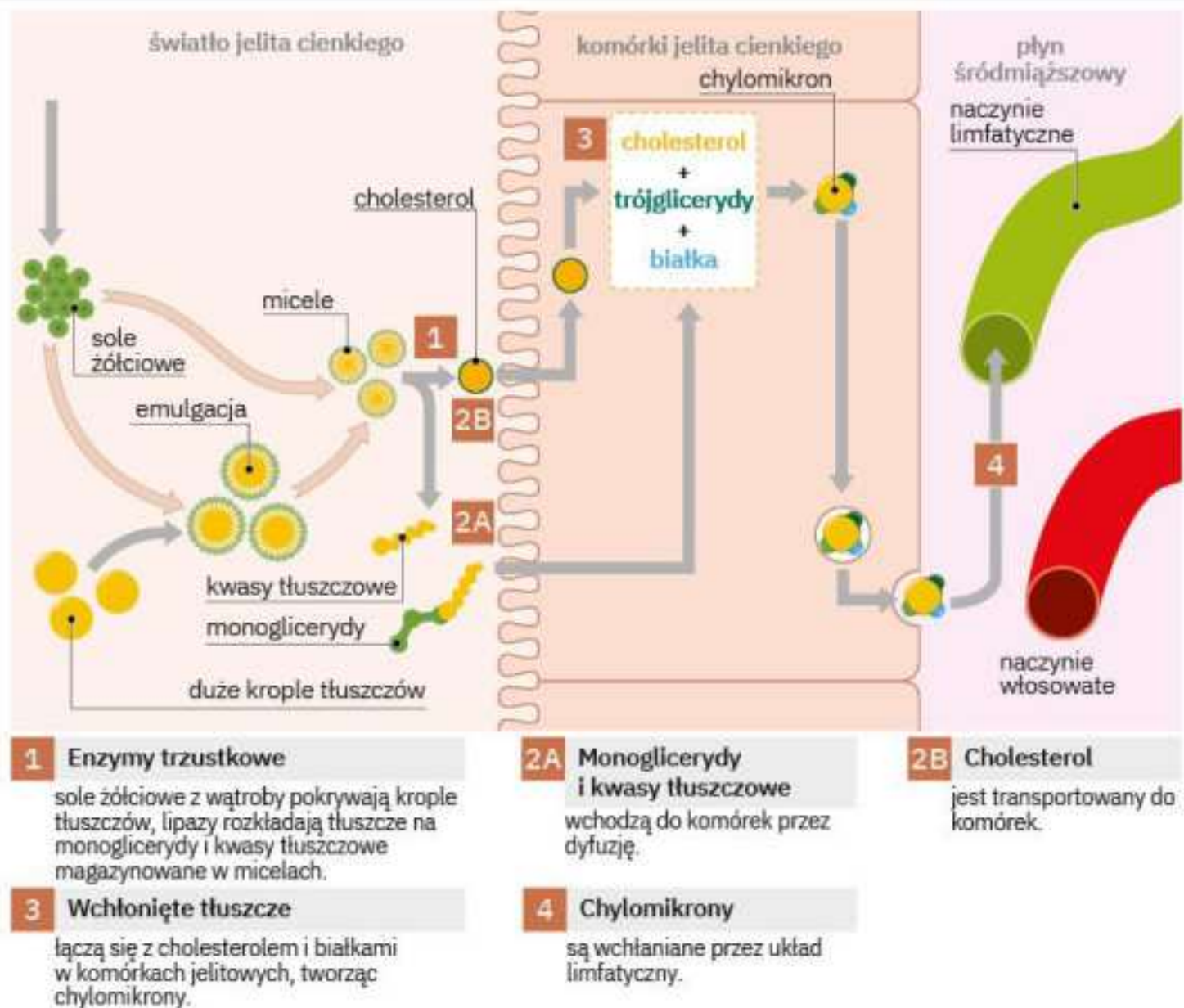
Wchłanianie to przejście substancji ze światła przewodu pokarmowego do krwi. Strawiony pokarm ma postać białego, zawiesistego płynu, w skład którego wchodzi łatwo przyswajalne substancje. Monosacharydy, aminokwasy czy nukleotydy są wchłaniane do krwi i rozprowadzane przez układ krążenia (**ryc. I.7.4.**).



Wchłanianie substancji odżywczych z jelita cienkiego za pośrednictwem komórek budujących mikrosymki odbywa się na drodze dyfuzji, osmozy, wspomaganej dyfuzji i czynnego transportu (np. glukoza, galaktoza, wolne aminokwasy są wchłaniane dzięki białkowym transporterom). Wchłanianie kwasów tłuszczowych i trójglicerydów poprzedza ich połączenie się z cholesterolem oraz białkami w duże pęcherzyki zwane **chylomikronami**. Chylomikrony są wchłaniane do naczyń limfatycznych i przez układ limfatyczny trafiają do krwi (ryc. I.7.5.). Udział innych odcinków przewodu pokarmowego w procesach wchłaniania jest niewielki – np. w jamie ustnej są wchłaniane substancje łatwo penetrujące przez błony (np. nikotyna), w żołądku – np. alkohol, a w jelicie grubym przede wszystkim woda (ryc. I.7.3.).



Ryc. I.7.4. Substancje trawione w jelicie cienkim są wchłaniane do krwi.



Ryc. I.7.5. Tłuszcze są wchłaniane w postaci chylomikronów do naczyń limfatycznych.



ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wyjaśnij, dlaczego wątroba jest nazywana najbardziej „zapracowanym” narządem organizmu człowieka.
2. Przerysuj do zeszytu tabelę dotyczącą narządów, które wydzielają wymienione produkty, i ją uzupełnij.

Narząd	Wydzielany produkt
	pepsyna, HCl, śluz
	żółć
	enzymy, HCO_3^-

3. Wyobraź sobie, że właśnie zjadłeś/zjadłaś kanapkę z pszennego pieczywa z masłem i żółtym serem. Skonstruuj w zeszycie tabelę i podaj w niej rodzaj makrocząsteczek, które będą trawione, rodzaj zaangażowanych w ich trawienie enzymów oraz miejsce ich trawienia oraz wchłaniania.
4. Wyjaśnij różnicę między trawieniem białek a trawieniem tłuszczów.
5. Pani Kasia po wizycie u znajomych, gdzie jadła grillowaną kielbasę i chleb ze smalcem, dostała silnego bólu brzucha. Lekarz zdiagnozował u pani Kasi kamienie żółciowe w przewodzie żółciowym, który stanowi łącznik między wątrobą a jelitem cienkim. Wyjaśnij, dlaczego ból brzucha pojawił się po wspomnianym posiłku.
6. Wykonaj jedno z doświadczeń opisanych na stronie 391 podręcznika.

PODSUMOWANIE LEKCJI

s. 53

Trzustka składa się z głowy, trzonu i ogona. Umiejscowiona jest za żołądkiem.

s. 54

Trzustka wytwarza i wydziela hormony (insulinę i glukagon) oraz produkuje **sok trzustkowy**, który uchodzi do dwunastnicy.

s. 54

Sok trzustkowy zawiera enzymy trawiące węglowodany, tłuszcze, białka i kwasy nukleinowe.

s. 54

Wątroba jest zbudowana z czterech płatów utworzonych ze zrazików.

s. 54

Komórki wątroby (**hepatocyty**) wydzielają żółć, która uchodzi do dwunastnicy.

s. 54

Żółć składa się m.in. z soli żółciowych, których zadaniem jest emulgacja tłuszczów, czyli rozdrobnienie ułatwiające enzymatyczne ich trawienie.

s. 55

Wątroba to narząd pełniący wiele funkcji, m.in. jest miejscem zachodzenia przemian glikogenu, syntezy mocznika, rozpadu erytrocytów czy unieszkodliwiania toksyn i leków.

s. 55

Procesy trawienia i wchłaniania umożliwiają transport i wykorzystanie substancji odżywczych ze środowiska zewnętrznego do wnętrza organizmu.

s. 55

Trawienie to chemiczny i mechaniczny proces rozkładu pokarmu na mniejsze cząsteczki, które zostają pobrane przez nabłonek do komórek organizmu.

s. 55

Trawienie wszystkich substancji odżywczych kończy się w jelicie cienkim: węglowodany zostają rozłożone do cukrów prostych przez amylazę trzustkową i disacharydazy; białka są rozkładane do peptydów i aminokwasów przez endo- i egzopeptydazy; kwasy nukleinowe są rozkładane do nukleotydów.



Wchłanianie to przejście substancji odżywczych ze światła przewodu pokarmowego do krwi. Odbywa się ono na drodze osmozy, wspomaganej dyfuzji i czynnego transportu.

s. 56

Większość substancji odżywczych i wody jest **wchłaniana w jelicie cienkim**, natomiast w jelicie grubym jest wchłaniana część wody i witaminy K.

s. 56

8. Zaburzenia funkcjonowania układu pokarmowego oraz ich profilaktyka

NA TEJ LEKCJI:

- zapoznasz się z przykładami chorób odcinków przewodu pokarmowego;
- dowiesz się, co przyczynia się do powstania otyłości i w jaki sposób można z nią walczyć;
- uzyskasz informacje na temat zaburzeń odżywiania;
- poznasz rodzaje badań profilaktycznych układu pokarmowego.

Choroby związane z układem pokarmowym mają różne podłoże, m.in. bakteryjne, wirusowe, genetyczne. W **tabeli 1.8.1.** przedstawiono najczęstsze schorzenia kolejnych odcinków układu pokarmowego. Osobnymi problemami są choroby, których główną przyczyną jest nieprawidłowa dieta (np. otyłość) oraz te związane z zaburzeniami odżywiania i mające podłoże psychiczne (np. anoreksja, bulimia).

choroby układu
pokarmowego

Tab. 1.8.1. Najczęstsze choroby układu pokarmowego

Odcinek układu pokarmowego	Choroba	Przyczyna
jama ustna	pleśniawki jamy ustnej	Zakażenie grzybicze nabłonka jamy ustnej pojawia się przy osłabionej odporności, niedożywieniu i antybiotykoterapii.
	opryszczka	Wywołuje ją wirus opryszczki <i>Herpes simplex</i> . Stosuje się leczenie objawowe.
	próchnica zębów	Powodują ją bakterie. Objawia się zniszczeniem struktury zęba. Nieleczona może prowadzić do poważnych powikłań.
gardło	zapalenie migdałków	Choroba bakteryjna przenoszona drogą kropelkową.
żołądek	choroba wrzodowa	Uszkodzenie błony śluzowej żołądka i dwunastnicy powstające najczęściej po zakażeniu bakterią <i>Helicobacter pylori</i> (ryc. 1.8.1.).
	rak żołądka	To nowotwór złośliwy wywodzący się z nabłonka błony śluzowej żołądka. Występuje częściej u mężczyzn niż u kobiet.



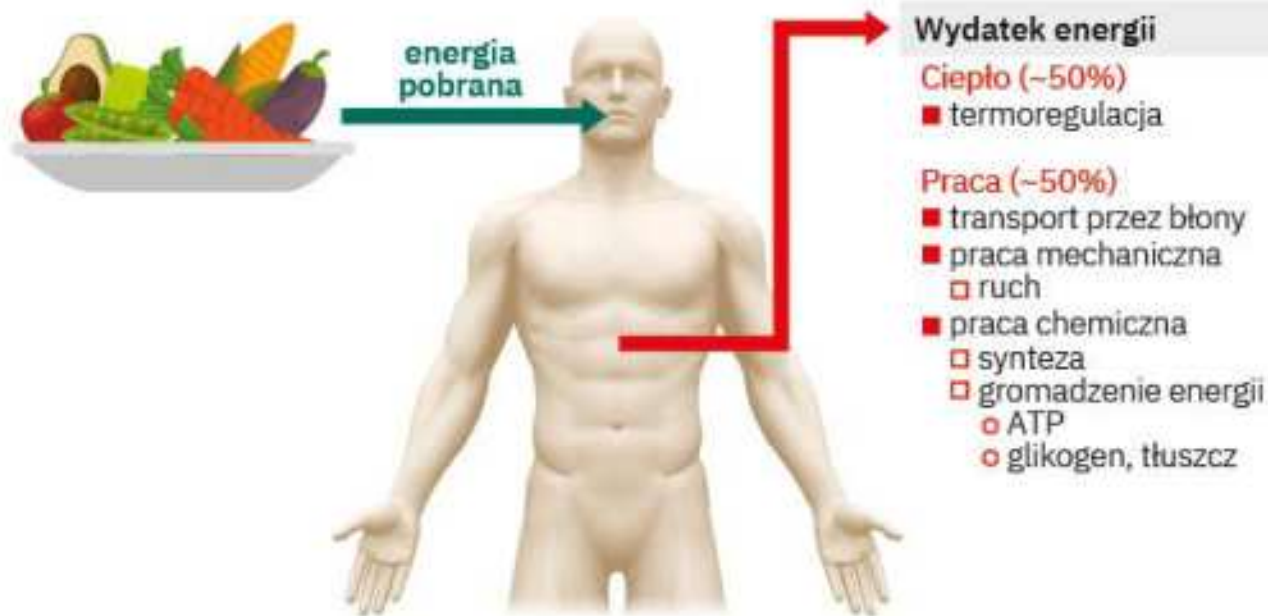
Odcinek układu pokarmowego	Choroba	Przyczyna
jelita	zapalenie wyrostka robaczkowego	Zapalenie najczęściej jest wywoływane zatrzymaniem się treści pokarmowej w wyrostku, powodującej jego niedrożność.
	zatrucia bakteryjne (salmonella, listerioza, zatrucia jadem kiełbasianym)	Zatrucia bakteryjne przyczyniają się do powstania ostrych objawów żołądkowo-jelitowych (biegunki, wymiotów, nudności, gorączki). Występują po spożyciu nieświeżych produktów (nieumytych owoców, lodów) zawierających toksyny bakteryjne.
	choroba Leśniowskiego–Crohna	To przewlekły proces zapalny ściany przewodu pokarmowego. Najczęściej jest zlokalizowany w końcowej części jelita cienkiego i początkowej jelita grubego. Nie ma skutecznej metody leczenia tej choroby.
	celiakia	Jej przyczyną jest nadwrażliwość układu pokarmowego na <u>gluten</u> (białka zbożowe) zawarty w pokarmach. Leczenie polega na stosowaniu diety bezglutenowej.
trzustka	zapalenie trzustki	To przewlekła choroba trzustki prowadząca do zaburzenia jej funkcji. Powikłaniem może być cukrzyca.
	rak trzustki	Ten nowotwór złośliwy ma pochodzenie nabłonkowe. Ryzyko zachorowania na niego wzrasta u palaczy, osób otyłych i chorych na cukrzycę typu II.
wątroba	ostre zapalenie wątroby – wirusowe zapalenie wątroby	Dochodzi do niego w drodze zakażenia wirusowego (WZW). Prowadzi do uszkodzenia wątroby. Wyróżniamy WZW typu A (zakażenie następuje drogą pokarmową), WZW typu B oraz WZW typu C (zakażenie następuje przez kontakt z zakażoną krwią).
	marskość wątroby	To postępująca degeneracja miąższu wątroby spowodowana działaniem toksyn (np. alkoholu), infekcjami wirusowymi lub <u>chorobami autoimmunizacyjnymi</u> .
	kamica żółciowa	Polega na gromadzeniu się złożeń w przewodach żółciowych, co prowadzi do ich zatkania. Wywołuje żółtaczkę mechaniczną i może prowadzić do ostrego zapalenia trzustki.



Ryc. I.8.1. Choroba wrzodowa dwunastnicy.

Otyłość

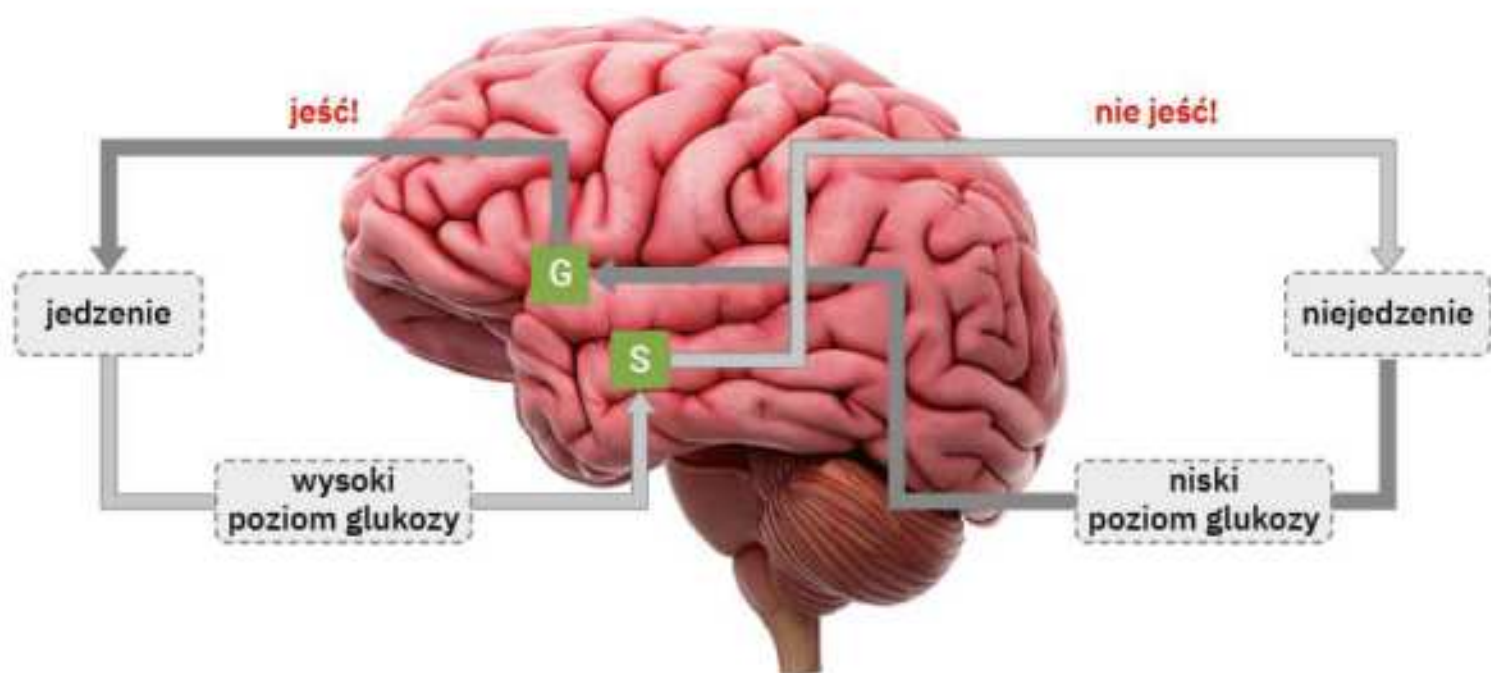
W organizmie zdrowego człowieka zapotrzebowanie energetyczne niezbędne do utrzymania podstawowej przemiany materii, wytwarzania ciepła i wykonywania pracy pochodzi z energii pobranej w postaci pokarmów (diety) (ryc. I.8.2.).



Ryc. I.8.2. Energia pobrana w postaci pokarmów jest wydatkowana na ciepło oraz pracę.

Procesy te są regulowane przez ośrodkowy układ nerwowy i wynikają ze wzajemnego oddziaływania dwóch ośrodków: **sytości i głodu** (łaknienia) zlokalizowanych w mózgu, w strukturze zwanej podwzgórzem. Aktywacja jednego z nich hamuje aktywność drugiego (**ryc. I.8.3.**). Działanie tych ośrodków zależy od zmian stężenia glukozy we krwi – kiedy poziom glukozy we krwi spada, ośrodek sytości jest hamowany, a zaczyna dominować ośrodek głodu (**ryc. I.8.3.**). Według najnowszych badań na funkcjonowanie ośrodków głodu i sytości wpływają sygnały pochodzące z tkanki tłuszczowej – jeśli zapas tkanki tłuszczowej jest większy, jemy mniej i odwrotnie. Apetyt i przyjmowanie pokarmów zależą także od takich czynników, jak: wygląd, zapach i smak pokarmów.

ośrodek głodu i sytości



Ryc. I.8.3. Ośrodki głodu i sytości w mózgu działają przeciwnie.

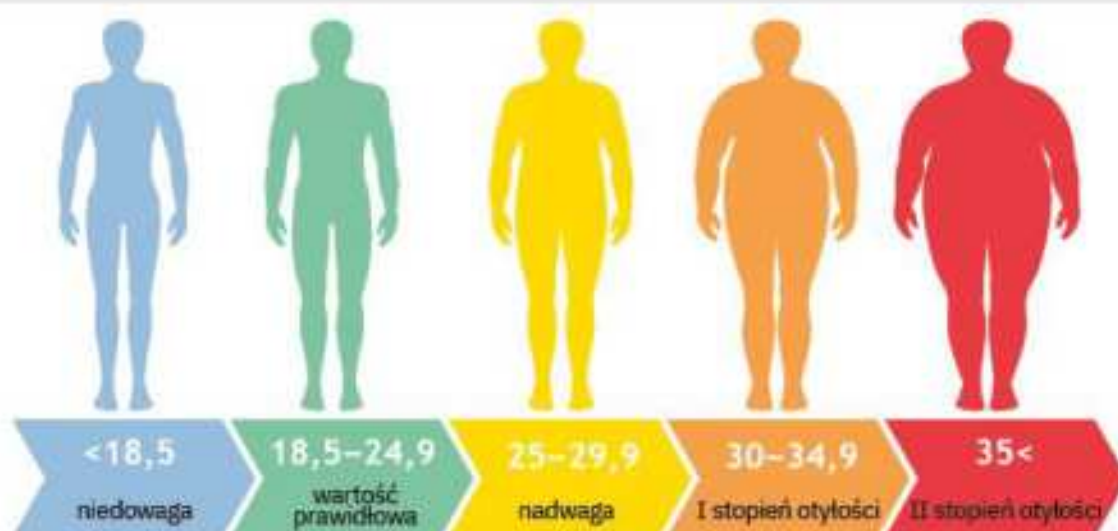


otyłość

Otyłość to zwiększenie masy ciała w wyniku nadmiernego nagromadzenia tkanki tłuszczowej. O otyłości mówimy, jeżeli ilość tkanki tłuszczowej u mężczyzn przekracza 25%, a u kobiet 30% masy ciała (na masę ciała składa się masa mięśni, kości, wody oraz tkanki tłuszczowej). Do wyznaczania prawidłowej masy ciała i oceny stopnia otyłości jest wykorzystywany wskaźnik BMI (z ang. *body mass index*, czytaj: body mas indeks) (**ryc. I.8.4.**). Wskaźnik BMI wynoszący 18,5–24,9 uznaje się za prawidłowy, poniżej 18,5 oznacza niedowagę, a powyżej 24,9 – nadwagę. Gdy przekracza 30, mówimy o otyłości. Wysokie wartości BMI zwiększają ryzyko wystąpienia cukrzycy, chorób serca i nadciśnienia tętniczego. Precyzyjne określenie zawartości tłuszczu w organizmie opiera się na specjalistycznych badaniach, np. tomografii komputerowej czy magnetycznym rezonansie jądrowym.

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

Na przykład ktoś, kto waży 70 kg i mierzy 1,75 m, będzie miał BMI równe 23,3, ponieważ $70/1,75^2 = 23,3$.



Ryc. I.8.4. Wartości wskaźnika BMI.

Podłoże otyłości może mieć charakter endogenny (wewnętrzny) lub egzogeny (zewnętrzny). Do czynników endogennych należą uszkodzenia ośrodków podwzgórza, uwarunkowania genetyczne, ale także zaburzenia hormonalne. Czynniki egzogenne są związane z niewłaściwą dietą, brakiem aktywności fizycznej, a ponadto z uwarunkowaniami społecznymi i kulturowymi, tj. ceną produktu, reklamą, tradycjami czy religią (**ryc. I.8.5.**). Przyrost masy ciała występuje wówczas, gdy przez dłuższy czas ilość energii pozyskiwanej jest większa niż ilość energii wydatkowanej, tzn. że bilans energetyczny jest dodatni:

$$\text{całkowita energia organizmu} = \text{energia zmagazynowana} + \text{energia pobrana} + \text{energia oddana}$$

Dodatkowo na dodatni bilans energetyczny wpływają brak aktywności fizycznej oraz wzrost spożycia produktów wysokokalorycznych. Otyłość zwiększa ryzyko wielu chorób przewlekłych, zagrażających życiu, takich jak: cukrzyca typu II, choroby sercowo-naczyniowe (np. udar mózgu, choroba wieńcowa, nadciśnienie



tętnicze, podwyższony poziom cholesterolu w surowicy), a także niektórych nowotworów. Pośrednio wpływa też na powstawanie zwyrodnień kręgosłupa, zaburzeń oddychania, chorób skóry, niepłodności oraz powikłań ciążowych.



Ryc. I.8.5. Podłożem otyłości jest niewłaściwa dieta i brak aktywności fizycznej (A). Otyłość ma też podłoże kulturowe (B), np. w Mauretanii przymusowo tuczy się młode kobiety.

Jak walczyć z otyłością?

- Spożywaj pokarmy ubogoenergetyczne; twoja dieta powinna obejmować warzywa i owoce.
- Spożywaj małe posiłki w regularnych odstępach czasu.
- Ogranicz lub wyeliminuj spożywanie słodczy i słodkich napojów.
- Dbaj o aktywność fizyczną, co znacznie zwiększy wydatkowanie energii (space-ry, basen, siłownia).
- Nigdy nie stosuj samodzielnie radykalnych diet ani głodówek – decyzja o zastosowaniu każdej diety powinna być skonsultowana ze specjalistą (lekarzem lub dietetykiem).

Zaburzenia odżywiania

Zaburzenia odżywiania to złożony problem zdrowotny, którego źródłem jest najczęściej czynnik psychiczny. Na rozwój tych zaburzeń wpływają zarówno czynniki biologiczne (w tym genetyczne), jak i społeczno-kulturowe (relacje rodzinne, wzorce urody obecne w mediach). Uważa się, że częściej dotyczą one osób w młodym wieku oraz dziewcząt i kobiet. Do najczęstszych zaburzeń odżywiania należą anoreksja oraz bulimia.

Anoreksja (jadłowstręt psychiczny) polega na braku łaknienia połączonym z obsesyjnym lękiem przed otyłością. Choroba ta występuje 10 razy częściej u kobiet niż u mężczyzn i dotyczy zwłaszcza osób młodych – najczęściej między 11. a 30. rokiem życia. Skutkiem anoreksji, oprócz widocznej utraty masy ciała, jest skrajne niedożywienie, które prowadzi do zmian hormonalnych, metabolicznych i zaburzeń fizjologicznych, np. zahamowania miesiączkowania, pojawienia się biegunek i zaparć, zmniejszenia odporności, zaburzeń krążenia. Chorobę bardzo trudno rozpoznać, a w jej przebiegu

zaburzenia
odżywiania



Ryc. I.8.6. Anoreksja prowadzi do wychudzenia i wyniszczenia organizmu związanego z zaburzeniami wielonarządowymi.

niezmiernie ważne jest jej wczesne wykrycie i podjęcie leczenia, gdyż może ona doprowadzić do śmierci. Pierwszymi symptomami anoreksji są: restrykcyjna dieta, zwiększony wysiłek fizyczny, stosowanie środków przeczyszczających oraz zmniejszających apetyt oraz postrzeganie własnej sylwetki jako otyłej.

Bulimia (wilczy głód, żarłoczność psychiczna) charakteryzuje się powtarzającymi się niekontrolowanymi atakami wzmożonego apetytu i przejadaniem się w krótkim czasie. Zaraz po ataku chory stosuje różne zabiegi, które mają przeciwdziałać skutkom przejedzenia, jak: prowokowanie wymiotów, stosowanie środków przeczyszczających czy lewatyw. Bulimia dotyka najczęściej kobiet. Chorzy na ogół mają prawidłową masę ciała. Przyczyny bulimii są bardzo złożone, choć często jako główny czynnik podaje się czynnik biologiczny. Zaburzenia odżywiania są chorobami wymagającymi kompleksowego, specjalistycznego leczenia, także psychoterapeutycznego.

Profilaktyka i leczenie chorób układu pokarmowego

działania profilaktyczne

Choroby przewodu pokarmowego są dużą grupą chorób o różnym podłożu i przebiegu. Wystąpieniu wielu z nich jesteśmy w stanie zapobiec, stosując odpowiednie działania profilaktyczne. Najważniejszymi, wspólnymi zasadami w profilaktyce chorób układu pokarmowego są:

- częste i dokładne mycie rąk (ma to duże znaczenie w zapobieganiu zakażeniom bakteryjnym i wirusowym, np. wirusowemu zapaleniu wątroby typu A lub salmonellozie);
- spożywanie regularnych, pełnowartościowych posiłków;
- stosowanie urozmaiconej diety z ograniczonym spożyciem tłuszczów, bogatej w błonnik, z dużą ilością warzyw i owoców oraz produktów pełnoziarnistych i uzupełnianej odpowiednią ilością wody;
- ograniczenie picia kawy i alkoholu (nadmiar alkoholu w życiu codziennym przyczynia się do zachorowania na raka wątroby, trzustki, przełyku, jamy ustnej);
- zaprzestanie palenia papierosów (palenie zwiększa zachorowalność na raka płuc, ale też raka jamy ustnej, gardła, przełyku i trzustki);
- utrzymywanie optymalnej masy ciała;
- unikanie soli i produktów wysoko przetworzonych, które zwiększają ryzyko raka żołądka;
- zwiększenie aktywności fizycznej – ogranicza to zapadalność na raka jelita grubego (następuje bardziej efektywne przemieszczanie się mas kałowych, zmniejsza się prawdopodobieństwo wystąpienia zaparć);
- wykonywanie profilaktycznych badań diagnostycznych.



badania diagnostyczne

Badania diagnostyczne odgrywają kluczową rolę w profilaktyce chorób, ponieważ na podstawie ich wyników można ocenić stan funkcjonowania układu. Co ważne – badania pomagają wykryć zmiany na wczesnym etapie i wdrożyć właściwe leczenie. Powinny być wykonywane regularnie, zwłaszcza u osób, w których rodzinie występowały schorzenia tego układu. Badania diagnostyczne wykonuje się także w trakcie leczenia w celu monitorowania jego postępu.

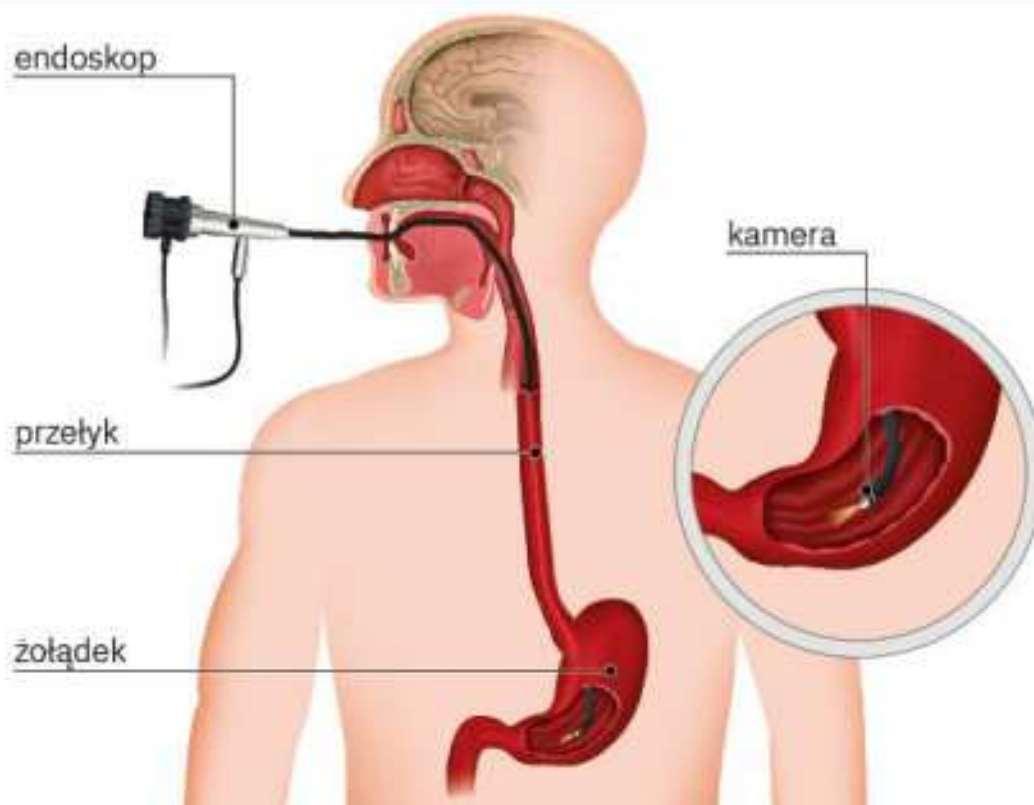
W przypadku układu pokarmowego najważniejszymi badaniami profilaktycznymi są:

- **morfologia krwi** (pozwala wykryć m.in. anemię, która może być np. skutkiem upośledzonego wchłaniania w przewodzie pokarmowym);
- oznaczenie aktywności we krwi **enzymów komórek wątroby** ALT i AST (wzrost może świadczyć o uszkodzeniu wątroby);
- oznaczenie we krwi stężenia **enzymów trzustkowych**: amylazy trzustkowej i lipazy (wzrost może świadczyć o uszkodzeniu trzustki lub guzie nowotworowym);
- ogólne **badanie moczu** (ogólny stan narządów układu pokarmowego, m.in. wątroby i trzustki);
- **badanie kału** (m.in. na obecność krwi utajonej w kierunku raka jelita grubego czy w zakażeniach bakteryjnych, np. *Helicobacter pylori* w chorobie wrzodowej).

Oprócz badań laboratoryjnych diagnozę narządów układu pokarmowego można przeprowadzić za pomocą **technik obrazowych**, m.in. ultrasonografii, gastrokopii, kolonoskopii czy tomografii komputerowej.

W **ultrasonografii** (USG) do badania i obrazowania narządów stosuje się fale ultradźwiękowe, które są pochłaniane lub odbijane, dając w efekcie obraz narządów wewnętrznych. Badanie to umożliwia ocenę stanu wątroby, pęcherzyka żółciowego czy trzustki. Niestety nie pozwala dość dobrze zobaczyć żołądka, dwunastnicy ani dalszych części jelit. Badanie to jest nieinwazyjne – wykonuje się je przez powłoki jamy brzusznej. USG pozwala na wykrycie bardzo małych zmian we wczesnym stadium ich rozwoju.

Gastroskopia oraz **kolonoskopia** to tzw. metody endoskopowe, za pomocą których można badać wnętrze ciała. Metody te polegają na wprowadzeniu do wnętrza przewodu pokarmowego giętkiej sondy zaopatrzonej w kamerę oraz źródło światła. Gastroskopia to badanie górnego odcinka przewodu pokarmowego (od przełyku do dwunastnicy), w którym endoskop jest wprowadzany przez jamę ustną i gardło do przełyku. Celem wykonywania gastrokopii jest nie tylko diagnostyka, lecz także leczenie (pobieranie materiału do badań, usuwanie polipów i ciał obcych czy tamowanie krwawień). Dzięki gastrokopii można rozpoznać żylaki przełyku, chorobę wrzodową, zapalenie błony śluzowej żołądka, a przede wszystkim raka żołądka. Profilaktyczne wykonywanie gastrokopii jest szansą na wykrycie tego nowotworu we wczesnym stadium i podjęcie odpowiedniego leczenia.

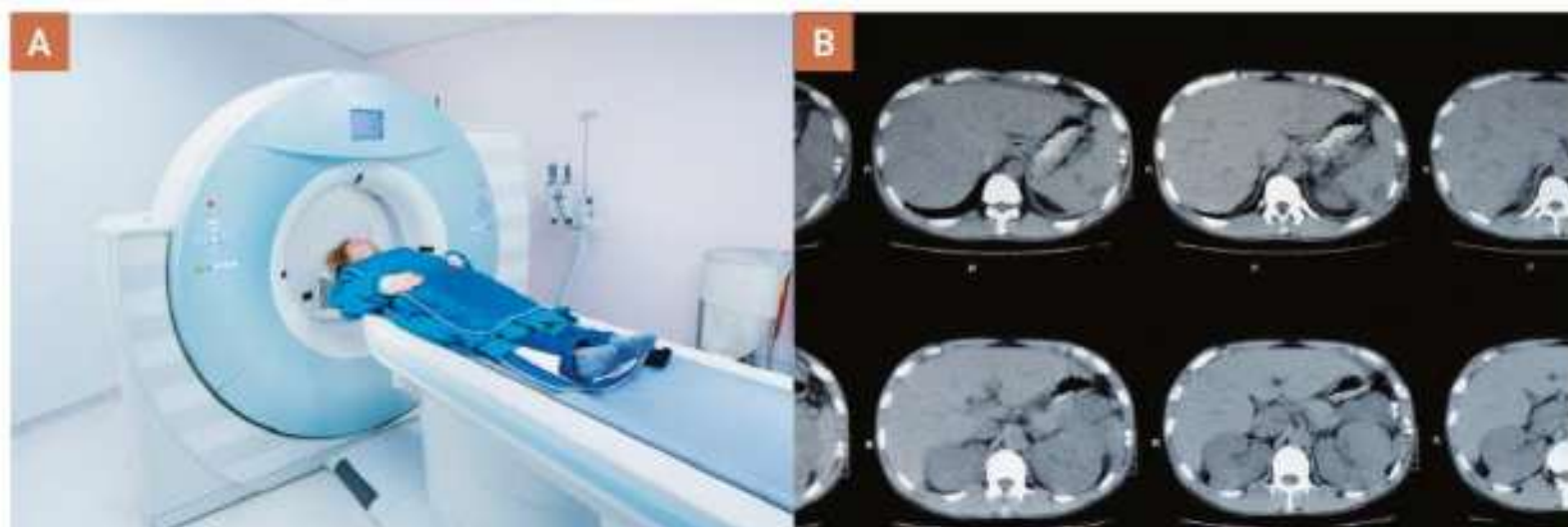


Ryc. I.8.7. Gastroskopia to metoda diagnostyczna żołądka, która polega na wprowadzeniu endoskopu przez usta.

Kolonoskopia to badanie dolnego odcinka przewodu pokarmowego. Opiera się na tej samej zasadzie, co gastroskopia, przy czym endoskop jest wprowadzany przez odbył. W trakcie tego badania można sprawdzić stan jelita grubego. Kolonoskopia jest nieodzownym badaniem w profilaktyce raka jelita grubego, choroby Leśniowskiego–Crohna czy schorzeń związanych z zaburzeniami wchłaniania.

Coraz częściej stosowanymi technikami obrazowania m.in. narządów i tkanek przewodu pokarmowego są **tomografia komputerowa (TK)** oraz metoda **rezonansu magnetycznego**. Tomografia komputerowa bazuje na zewnętrznym źródle promieniowania rentgenowskiego i pozwala na uzyskanie bardzo dokładnego obrazu przekroju badanego narządu. To niezastąpione narzędzie diagnostyczne w przypadku nowotworów wątroby czy trzustki (ryc. I.8.8.). Obrazowanie za pomocą rezonansu magnetycznego jest szczególnie przydatne do wykrywania zmian chorobowych w tkankach zasłoniętych kośćmi. Badanie to wykonuje się najczęściej w przypadku nowotworów jelit i żołądka.

technika
obrazowania



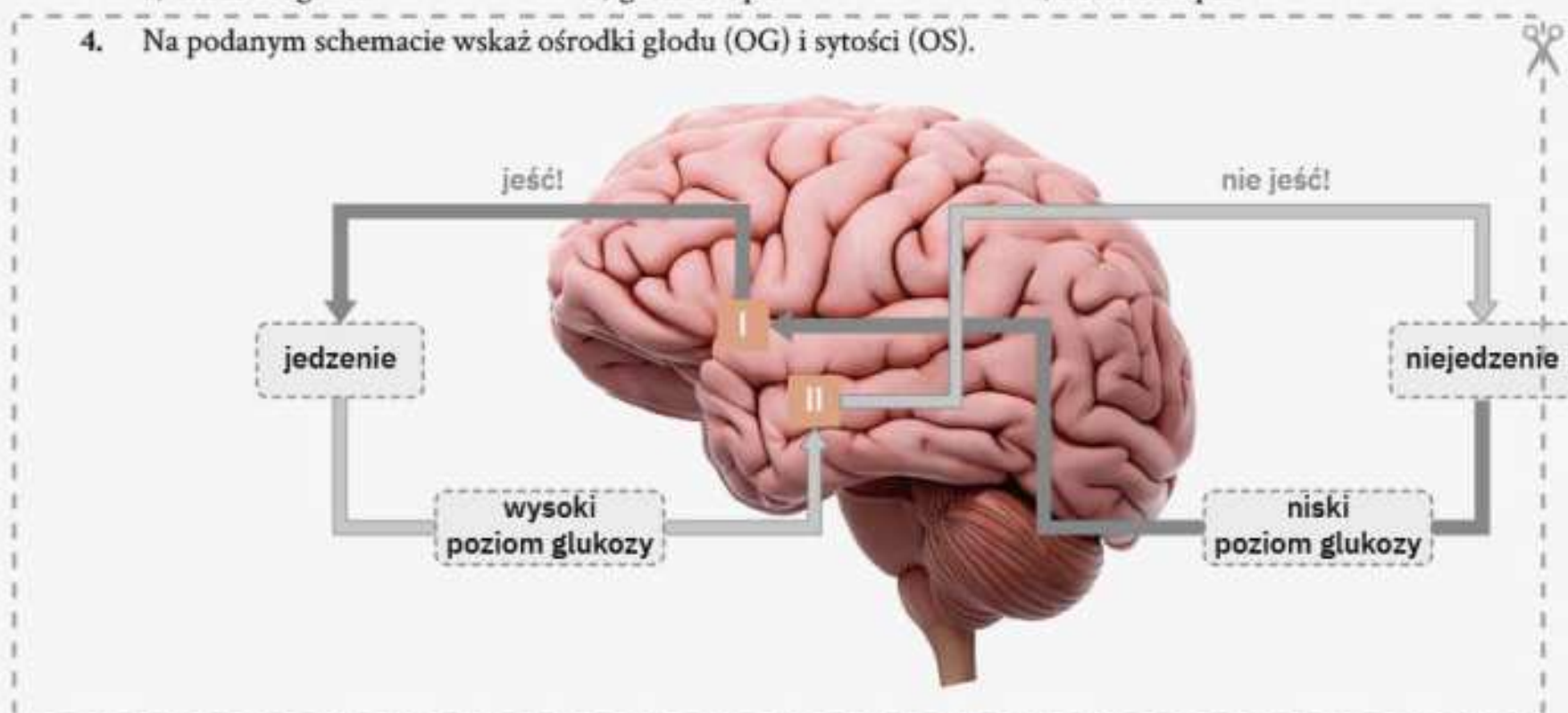
Ryc. I.8.8. Tomografia komputerowa pozwala na zobrazowanie przekroju ciała (A). Uwidacznia zmiany w obrębie układu pokarmowego, np. choroby trzustki (B).



ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

- Zapisz w zeszycie po jednym przykładzie chorób układu pokarmowego o podłożu:
 - bakteryjnym,
 - wirusowym,
 - nowotworowym,
 - autoimmunologicznym.
- Wytłumacz, na czym polegają różnice i podobieństwa między anoreksją i bulimią.
- Lekarz podejrzewa wystąpienie u pana Jana wrzodziejącego raka jelita grubego lub polipów tego narządu. Wskaż, które z wymienionych badań diagnostycznych należy wykonać. Uzasadnij ustnie swoją odpowiedź.
 - ultrasonografia
 - gastroskopia
 - kolonoskopia

- Na podanym schemacie wskaż ośrodki głodu (OG) i sytości (OS).



- Oblicz pisemnie w zeszycie współczynnik BMI osoby o wadze 72 kg i wzroście 158 cm. O czym świadczy wartość obliczonego BMI?
- Wymień pięć zaleceń, do których należy się stosować, aby uniknąć otyłości.
- Wykonaj obserwację opisaną na stronie 392 podręcznika.

PODSUMOWANIE LEKCJI

Choroby układu pokarmowego mają podłoże bakteryjne (m.in. salmonelloza, choroba wrzodowa), wirusowe (np. wirusowe zapalenie wątroby) i genetyczne (choroba Leśniowskiego–Crohna, niektóre nowotwory).

s. 59

Metabolizm pokarmów jest regulowany przez **ośrodki głodu i sytości** w mózgu, które działają przeciwnie.

s. 61

Na **ośrodki głodu i sytości** wpływają zmiany poziomu glukozy we krwi oraz sygnały z tkanki tłuszczowej.

s. 61

Otyłość to zwiększenie masy ciała przez nadmierne gromadzenie się tkanki tłuszczowej. Ma podłoże endogenne (m.in. genetyczne) lub egzogenne (nieprawidłowa dieta, brak aktywności fizycznej).

s. 62

W walce z **otyłością** pomaga m.in. zrównoważona dieta, aktywność fizyczna i konsultacja lekarska.

s. 62



s. 63 W zaburzeniach odżywiania (anoreksja, bulimia) istotną rolę odgrywa czynnik psychiczny.

s. 64 Chorobom układu pokarmowego można zapobiec, m.in. poprzez przestrzeganie podstawowych zasad higieny, stosowanie zrównoważonej diety i unikanie używek.

s. 65 Do badań diagnostycznych układu pokarmowego należą: morfologia krwi, ultrasonografia, gastroscopia i kolonoskopia.

s. 66 Tomografia komputerowa i magnetyczny rezonans jądrowy są technikami obrazowania narządów i tkanek układu pokarmowego.

9. Budowa i funkcje układu odpornościowego

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz budowę i funkcje elementów układu odpornościowego człowieka;
- przeanalizujesz mechanizmy odpowiedzi immunologicznej;
- uzyskasz informacje na temat rodzajów odporności;
- dowiesz się, w jaki sposób organizm odróżnia swoje komórki od obcych.

antygen

W ciągu swojego życia stale jesteśmy narażeni na kontakt z licznymi **drobnoustrojami**. W tej grupie są zarówno bakterie, jak i wirusy, grzyby czy pasożyty. Drobnoustroje te są potencjalnie chorobotwórcze, a jednak chorujemy stosunkowo rzadko, niekiedy tylko raz w życiu – np. na świnkę czy ospę. Wszystko, co pobudza system odpornościowy do odpowiedzi, nosi nazwę **antygenu**. Antygenami są najczęściej cząsteczki białek lub polisacharydów występujących na powierzchni drobnoustrojów, które przedostały się do wnętrza organizmu. Antygeny to także toksyny bakteryjne, wirusowe oraz grzybowe. Nauka zajmująca się badaniem mechanizmów odpornościowych to **immunologia**.

skład układu odpornościowego

Elementy budujące układ odpornościowy człowieka

W skład układu odpornościowego wchodzi **narządy limfatyczne** (grasica, śledziona, szpik kostny czerwony, migdałki, węzły chłonne) (**ryc. 1.9.1.**), **komórki odpornościowe** (limfocyty, makrofagi, granulocyty, komórki dendrytyczne) (**tab. 1.9.1.**) oraz substancje odpornościowe (przeciwciała, cytokiny). Charakterystyczną cechą układu odpornościowego jest jego rozproszenie, co wprost wynika z jego funkcji – obrony przed patogenami w każdym miejscu organizmu.

komórki odpornościowe

Do najważniejszych komórek odpornościowych organizmu należą limfocyty T, limfocyty B, makrofagi, granulocyty oraz komórki dendrytyczne. Ich charakterystykę przedstawiono w **tabeli 1.9.1.**

**Migdałki**

– biorą udział w obronie organizmu przed zakażeniami drogą pokarmową i oddechową

Grasica

– miejsce dojrzewania limfocytów T i unieszkodliwiania wadliwych limfocytów T

Śledziona

– miejsce wytwarzania limfocytów, uczestniczy w fagocytozie i unieszkodliwianiu zużytych elementów morfotycznych krwi

Węzły chłonne

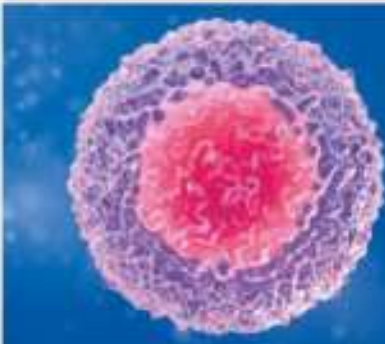
– filtracja limfy i zatrzymywanie patogenów; miejsce wytwarzania przeciwciał przez limfocyty B

Szpiłk kostny czerwony

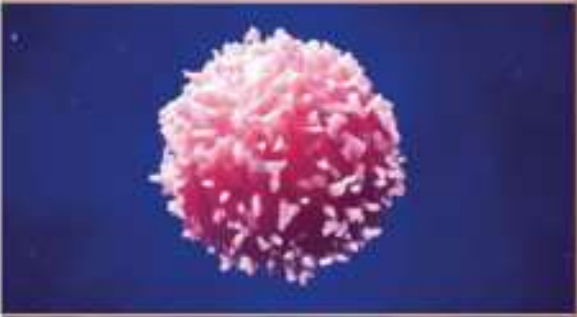
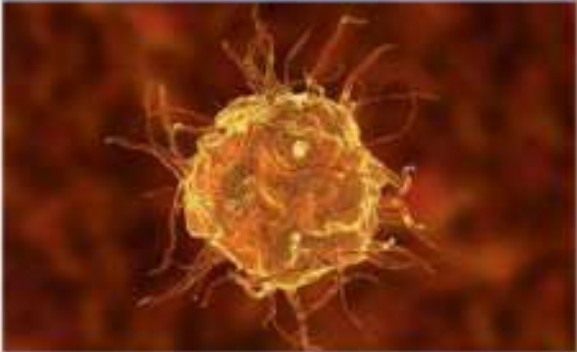
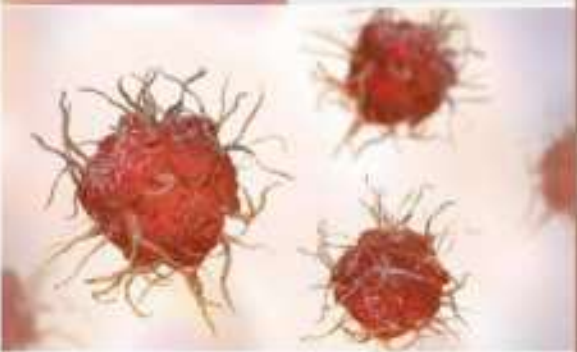
– miejsce powstawania limfocytów

Ryc. I.9.1. Narządy limfatyczne są częścią układu immunologicznego.

Tab. I.9.1. Najważniejsze komórki odpornościowe

Rodzaj komórek	Funkcja	Rysunek
Limfocyty B	Wytwarzają przeciwciała; są komórkami prezentującymi antygen.	



Rodzaj komórek	Funkcja	Rysunek
Limfocyty T	Limfocyty T cytotoksyczne (Tc) rozpoznają antygeny i niszczą patogeny w miejscu infekcji; niszczą komórki nowotworowe. Limfocyty T pomocnicze (Th) regulują (wzmacniają lub osłabiają) odpowiedzi obronne organizmu.	
Makrofagi	Ich prekursorami są monocyty; komórki fagocytyzujące, które wędrują w kierunku miejsca infekcji, wchłaniają i trawią drobnoustroje lub ich fragmenty; są komórkami prezentującymi antygen.	
Granulocyty	Biorą udział w fagocytozie i odczynie zapalnym organizmu (patrz niżej). Do granulocytów należą: • bazofile (granulocyty zasadochłonne) – biorą udział w reakcji zapalnej, magazynują histaminę, heparynę i cytokiny; • eozynofile (granulocyty kwasochłonne) – odgrywają rolę w zakażeniach pasożytniczych oraz reakcjach alergicznych; są fagocytami; • neutrofile (granulocyty obojętnochłonne) – pochłaniają i niszczą bakterie; uwalniają cytokiny.	 eozynofil bazofil neutrofil
Komórki dendrytyczne	Pobudzają limfocyty poprzez prezentację antygeny.	
Komórki NK (z ang. natural killer)	Jeden z rodzajów limfocytów; szybko rozpoznają komórki zakażone wirusem i stymulują ich apoptozę, zanim wirus zacznie się rozwijać.	

substancje
odpornościowe

Substancje odpornościowe

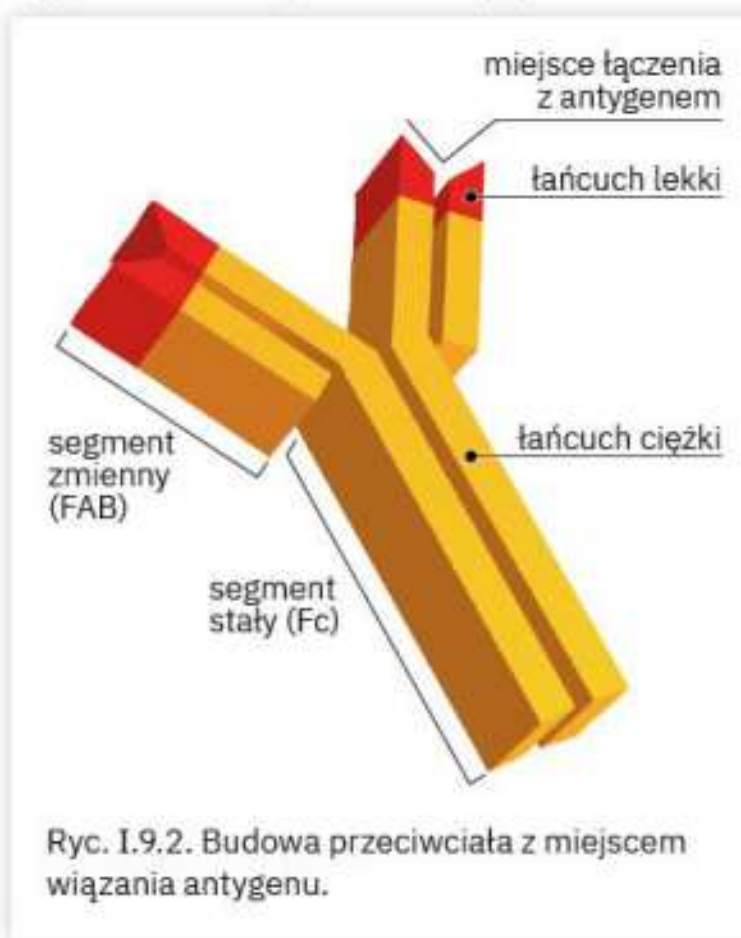
Najważniejszymi cząsteczkami biorącymi udział w odpowiedzi odpornościowej są przeciwciała, cytokiny i białka ostrej fazy. Liczba substancji zaangażowanych w ten proces jest bardzo długa (choćby wspomniany wcześniej lizozym), jednak wykracza ona poza zakres tego podręcznika.



przeciwciała

Przeciwciała

Jedną z kluczowych funkcji układu odpornościowego pełnią **przeciwciała**, czyli **immunoglobuliny (Ig)** (ryc. I.9.2.). Przeciwciała są produkowane przez limfocyty B i odgrywają zasadniczą rolę w obronie organizmu przed bakteriami, wirusami i pasożytami zewnątrzkomórkowymi, tj. wiążą antygeny i aktywują procesy, które prowadzą do zniszczenia patogenu. Większość przeciwciał znajduje się we krwi (stanowią ponad 20% białek osocza). Przeciwciała są białkami, które składają się z czterech łańcuchów polipeptydowych, a ich kształt przypomina literę Y (ryc. I.9.2.). Przeciwciało składa się z dwóch **łańcuchów lekkich** połączonych z **łańcuchami ciężkimi**. Na dwóch ramionach przeciwciała znajduje się miejsce wiązania antygeny. Rdzeń przeciwciała (fragment Fc) wyznacza klasę, do której należy przeciwciało. Wyróżniamy pięć klas przeciwciał (IgG, IgA, IgM, IgD, IgE) ze względu na budowę oraz reakcje, w których uczestniczą. Większość ludzkich przeciwciał (ok. 75%) należy do klasy **IgG**.



Ryc. I.9.2. Budowa przeciwciała z miejscem wiązania antygeny.

Do najważniejszych funkcji przeciwciał należą:

- zlepianie, opłaszczanie antygenów i inaktywacja toksyn bakteryjnych;
- wiązanie i „zaznaczanie” antygenów do fagocytozy przez neutrofile i makrofagi;
- degranulacja zawartości eozynofili i komórek NK prowadząca do cytotoksyczności;
- aktywacja białek odpornościowych, tzw. układu dopełniacza;
- aktywacja limfocytów B.

Cytokiny

cytokiny

Cytokiny służą do komunikacji międzykomórkowej. Są to białka wydzielane przez leukocyty (limfocyty, monocyty i makrofagi), a wpływające na wzrost lub aktywność innych komórek odpornościowych. Biorą udział w powstawaniu stanu zapalnego. Mogą być produkowane przez każdą komórkę jądristą „na żądanie”, czyli wtedy, kiedy konieczna jest odpowiedź immunologiczna. Cytokiny zostały podzielone na kilka rodzin, do których zalicza się m.in. interferony i interleukiny. **Interferony** alfa i beta pobudzają produkcję białek przeciwwirusowych. Z kolei interferon gamma aktywuje makrofagi i inne komórki odpornościowe. **Interleukiny** (IL) stymulują leukocyty, np. IL-1 pośredniczy w reakcji zapalnej i powoduje gorączkę.





białka ostrej fazy

**Białka ostrej fazy**

Białka ostrej fazy zostały tak nazwane ze względu na ich udział w procesie zapalnym natychmiast po infekcji lub urazie (faza ostra). Białka ostrej fazy są produkowane przez wątrobę. Zalicza się do nich białka, których rolą jest opłaszczanie patogenów, i białka działające jako inhibitory proteaz, czyli enzymów trawiących białka. Do grupy białek ostrej fazy należy także **białko C-reaktywne** (w skrócie **CRP**, z ang. *C-reactive protein*). Podwyższony poziom tego białka występuje nie tylko przy ostrych stanach zapalnych, lecz także w chorobach przewlekłych (np. reumatoidalnym zapaleniu stawów, nowotworach).

odpowiedź immunologiczna

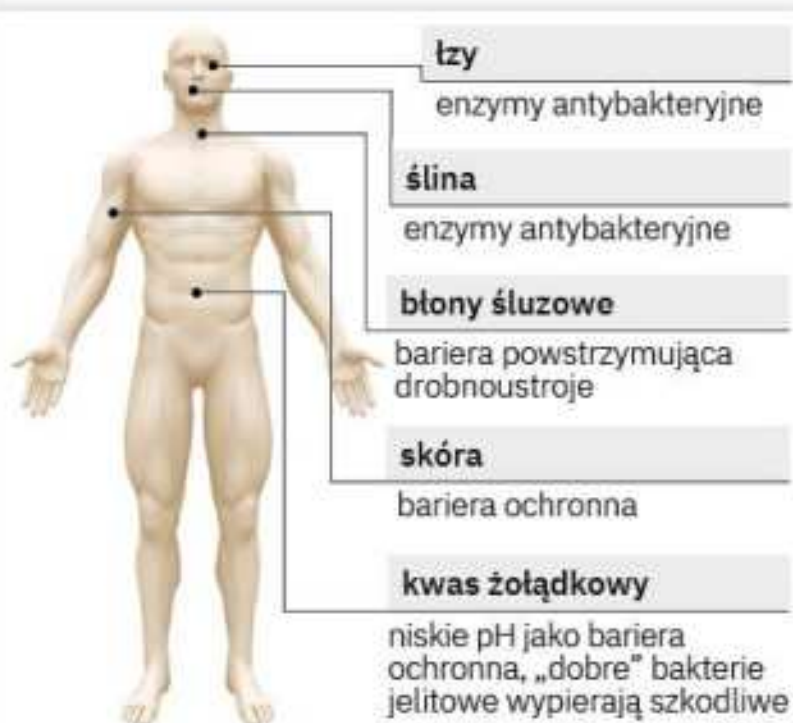
Odpowiedź immunologiczna**Odporność nieswoista i swoista**

Na **odpowiedź immunologiczną** organizmu składają się procesy rozpoznawania obcych cząsteczek oraz reakcje służące ich eliminacji. Organizm wykształcił wiele sposobów ochrony przed antygenami. Do podstawowych typów odpowiedzi immunologicznej należą mechanizmy **odporności nieswoistej i swoistej**.

Nieswoiste mechanizmy obronne

Nieswoiste mechanizmy są wrodzone i skierowane przeciwko wielu rodzajom drobnoustrojów i cząsteczek obcych (czyli są niewybiórcze) (**ryc. 1.9.3.**). Stanowią pierwszą linię obrony organizmu. Ich głównym zadaniem jest zapobieganie wnikaniu oraz rozprzestrzenianiu się drobnoustrojów i obcych cząsteczek w ustroju. Głównymi mechanizmami nieswoistymi są:

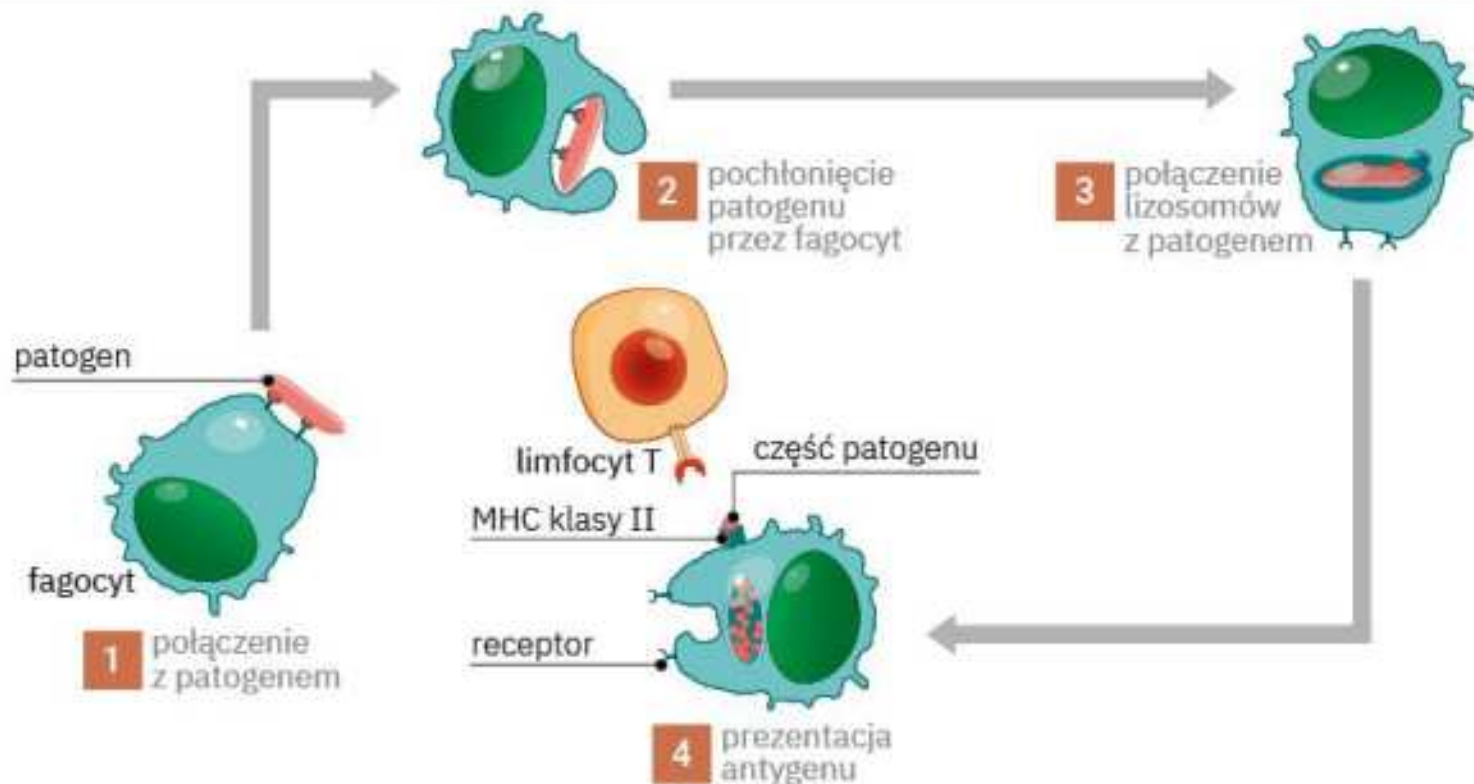
- skóra i błony śluzowe wyściełające narządy wewnętrzne układów, m.in. pokarmowego i oddechowego. Zdrowa, nieuszkodzona skóra ochrania powierzchnie mające kontakt ze środowiskiem zewnętrznym. Dodatkowo wydzielane przez gruczoły skórne łój i pot zawierają substancje bakteriobójcze oraz przeciwgrzybicze. Śluz wydzielany przez błony śluzowe dzięki lepkiej konsystencji unieruchamia drobnoustroje i obce cząsteczki;
- mechanizmy fizjologiczne, m.in. kaszel, kichanie, łzawienie, wymioty, biegunka, w wyniku których organizm pozbywa się toksyn i drobnoustrojów;



Ryc. 1.9.3. Nieswoiste mechanizmy obrony organizmu.



- **fagocytoza** to inaczej zjadanie drobnoustrojów lub ich składników przez wyspecjalizowane w tym celu komórki (np. makrofagi, granulocyty), które przemieszczają się w kierunku miejsca zakażenia i pochłaniają drobnoustroje lub obce cząsteczki (**ryc. I.9.4.**). Makrofagi po strawieniu antygeny działają jako komórki prezentujące antygen, tzn. „pokazują” innym komórkom odpornościowym (limfocytom T) antygen w celu wywołania przeciwko niemu reakcji odpornościowej. Jest to ważny element łączący mechanizmy nieswoiste ze swoistymi;



Ryc. I.9.4. Fagocytoza polega na pochłanianiu i trawieniu bakterii i innych drobnoustrojów.

- naturalne substancje bakteriobójcze: kwas solny w żołądku (zabija połyknięte drobnoustroje), lizozym (białko o właściwościach antybakteryjnych obecne m.in. we łzach i ślinie), **białka układu dopełniacza** (grupa ok. 20 białek występujących we krwi i w tkankach, których zadaniem jest niszczenie bakterii oraz aktywacja fagocytozy);
- **stan zapalny** będący fizjologiczną reakcją na uszkodzenie tkanek, która objawia się zaczerwienieniem, obrzękiem czy bólem. Reakcja zapalna rozpoczyna się od uwolnienia **cytokin** przez pobudzenie makrofagów. Przyciągają one inne komórki układu odpornościowego, zwiększają przepuszczalność naczyń i powodują wzrost temperatury. Stan zapalny pełni trzy kluczowe funkcje: 1) przyciąga komórki odpornościowe do miejsca docelowego, 2) tworzy fizyczną barierę, która izoluje miejsce infekcji, 3) pobudza proces odbudowy tkanek po infekcji.

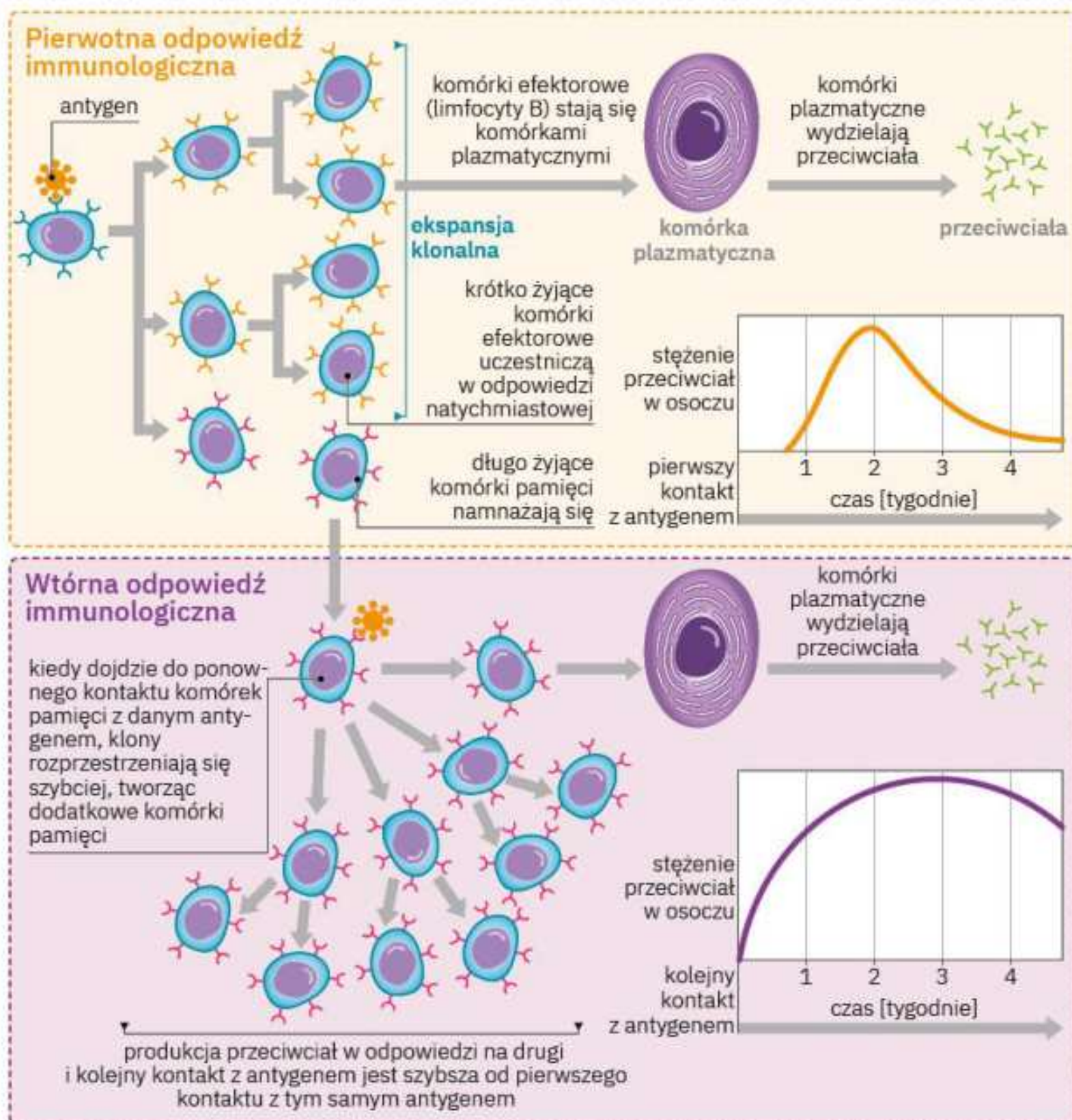
Swoiste mechanizmy obronne

Mechanizmy odporności swoistej są nabyte i skierowane przeciwko określonemu rodzajowi patogenów i cząsteczek obcych (działają wybiórczo). Odporność ta kształtuje się w trakcie całego życia człowieka. W odporności swoistej biorą udział:

nabyte
mechanizmy
obrony swoistej



- **limfocyty B** oraz wydzielane przez nie przeciwciała. Dojrzałe limfocyty B różnią się od siebie, gdyż na błonie komórkowej mają różne przeciwciała. Po dopasowaniu antygeny do przeciwciał na limfocycie B zaczyna się on intensywnie mnożyć. Powstaje klon limfocytów, zdolnych do odpowiedzi na ten antygen (ryc. I.9.5.). Namnożone komórki przekształcają się w **komórki plazmatyczne**,



Ryc. I.9.5. Limfocyty B w odpowiedzi na antygen produkują przeciwciała (A) oraz komórki pamięci, które przy kolejnym kontakcie z antygenem reagują bardzo szybko (B).

które wydzielają przeciwciała. Po zwalczeniu patogenów komórki plazmatyczne giną, ale zachowanych zostaje kilka **komórek pamięci** zdolnych do odpowiedzi immunologicznej na ten rodzaj antygeny. Pierwszy kontakt z danym antyge-



nem nazywamy **pierwotną odpowiedzią immunologiczną**. Przy ponownym kontakcie dochodzi do **wtórnej odpowiedzi immunologicznej** – szybszej i bardziej efektywnej, dlatego że organizm jest przygotowany do walki z nim. **Pamięć immunologiczna**, czyli zdolność do „zapamiętywania” patogenów lub cząstek, i wzmocniona odpowiedź immunologiczna przy ponownym kontakcie z nimi ma szczególne znaczenie w przypadku **szczepień ochronnych**. Szczepionka zawiera antygeny (żywe lub martwe drobnoustroje albo ich toksyny), które po wprowadzeniu do organizmu prowadzą do rozwoju skierowanych przeciwko nim przeciwciał i innych komórek (**ryc. I.9.5.**). Ponowne zetknięcie z tym patogenem uruchamia już obecne mechanizmy i choroba się nie rozwija;

- **limfocyty T** są niezbędne, gdy patogen wnika do wnętrza komórki i nie jest już „dostępny” dla przeciwciał. Zaatakowane komórki prezentują na swojej powierzchni fragmenty obcych antygenów. Tak oznakowane komórki są celem limfocytów T, które atakują je i niszczą, zapobiegając w ten sposób dalszemu namnażaniu się wirusów, niektórych pasożytów i bakterii. Cytotoksyczność limfocytów T polega na wydzielaniu przez nie substancji, która tworzy pory w atakowanej komórce, oraz enzymów zapoczątkowujących szereg następujących po sobie reakcji prowadzących do ich apoptozy. Oprócz limfocytów T cytotoksycznych (Tc) występują także limfocyty T pomocnicze (limfocyty Th) wydzielające cytokiny, aktywujące inne komórki odpornościowe, m.in. makrofagi, limfocyty T cytotoksyczne, leukocyty i eozynofile.

Odpowiedź nabytą można podzielić na odporność komórkową i humoralną. **Odporność komórkowa** bazuje na aktywowanych limfocytach T cytotoksycznych, które niszczą docelowe komórki. **Odpowiedź humoralna** zależy od przeciwciał krążących we krwi i w limfie oraz używa tych białek do wywołania odpowiedzi immunologicznej. Termin *humoralny* pochodzi ze starożytności – Hipokrates dzielił płyny ludzkiego ciała na humory, a krew była jednym z nich (pozostałe to żółć, czarna żółć i flegma). Obie odpowiedzi, zarówno komórkowa, jak i humoralna, są wspomagane przez limfocyty T pomocnicze.

Odporność swoista czynna i bierna

Odporność swoistą można nabyć w sposób **czynny** lub **bierny**, przy czym obydwie mogą mieć charakter **sztuczny** lub **naturalny** (**tab. I.9.2.**). Odporność, którą uzyskujemy po przebytej chorobie lub szczepieniu, nazywamy **odpornością czynną**, dlatego że została ona wytworzona samodzielnie przez organizm. **Odporność bierna** polega na wprowadzaniu do organizmu gotowych przeciwciał, skierowanych przeciwko konkretnemu antygenowi. Na tej zasadzie nabywa odporność noworodek – uzyskuje przeciwciała matczyne poprzez łożysko w czasie życia płodowego,



Ryc. I.9.6. Szczepionki zawierają żywe lub martwe drobnoustroje lub ich toksyny. Na przykład szczepionki przeciw grypie zawierają cząstki wirusa grypy lub jego białka powierzchniowe.



a po urodzeniu wraz z mlekiem (w czasie karmienia piersią). W zasadnych przypadkach (np. po ukąszeniu węża) podaje się surowicę odpornościową (płynna frakcja krwi zawierająca dużą ilość przeciwciał), która szybko unieszkodliwia antygeny.

Tab. I.9.2. Rodzaje swoistej odporności organizmu.

	Naturalna	Sztuczna
Bierna	 Przeciwciała matki przekazywane dziecku przez łożysko lub mleko.	 Surowice odpornościowe (np. przeciw-tężcowa, przeciwjadowa) pochodzenia ludzkiego lub zwierzęcego.
Czynna	 Odporność zyskana po przebytych chorobach i zakażeniach.	 Szczepienia ochronne.

Rozróżnianie komórek własnych od obcych – przeszczepy i transfuzje

W jaki sposób układ odpornościowy rozróżnia własne komórki od obcych? Komórki własne mają **autoantygeny**, czyli kompleksy białkowe występujące na powierzchni błon komórkowych. Białka te nazywamy ludzkimi antygenami leukocytarnymi (HLA, z ang. *human leukocyte antigens*, czyt. hjuuman ljukosajt entidżens). Są one swojego rodzaju znacznikami służącymi do identyfikacji komórek („biochemiczny odcisk palca”).

główny układ
zgodności
tkankowej

Zestaw autoantygenów całego organizmu nazywamy **głównym układem zgodności tkankowej (MHC)**, z ang. *major histocompatibility complex*, czyt. mejdżer histokompatibility kompleks). Układ odpornościowy porównuje antygeny zgodności tkankowej i na tej podstawie rozpoznaje komórki obce, przeciwko którym kieruje reakcją odpornościową. Każda osoba (z wyjątkiem bliźniąt jednojajowych) ma unikatowy zestaw antygenów zgodności tkankowej. Im bliższe pokrewieństwo, tym bardziej podobne są te antygeny. Wyróżniamy dwa typy białek MHC. Częsteczki **MHC klasy I** występują na wszystkich komórkach ludzkich mających jądro komórkowe. Wiążą one antygeny bakteryjne lub wirusowe, pochodzące od patogenów, które dostały się do wnętrza komórki i prezentu-



ją je limfocytom T cytotoksycznym. Częsteczki **MHC klasy II** są obecne na komórkach prezentujących antygen (makrofagach, limfocytach B, komórkach dendrytycznych), a ich rola polega na indukowaniu wydzielania cytokin przez limfocyty T pomocnicze. Wysoka zgodność tkankowa jest jednym z podstawowych warunków **transplantacji (przeszczepiania)** narządów. Biorca i dawca przeszczepu są dobierani pod kątem jak największego podobieństwa antygenów układu MHC. Im większa zgodność tkankowa, tym mniejsze ryzyko odrzucenia przeszczepu. Niezgodność antygenów tkankowych wywołuje produkcję przeciwciał i pobudza limfocyty T, których aktywność powoduje odrzucenie przeszczepu.

Transplantacja tkanek i narządów to metoda leczenia, a często jedyny ratunek życia. Przeszczepia się narządy (np. serce, nerkę), ich fragmenty (np. skórę) czy szpik kostny (w przypadku białaczek). Ryzyko odrzucenia przeszczepu spada, jeśli dawca jest spokrewniony z biorcą. W celu zmniejszenia ryzyka związanego z odrzuceniem przeszczepu stosuje się zabiegi **immunosupresji**. Celem tych działań jest wygaszenie reakcji odrzucenia poprzez osłabienie reakcji odpornościowych i przyjęcie przeszczepu. Immunosupresji można dokonać farmakologicznie za pomocą leków immunosupresyjnych lub stosując promieniowanie rentgenowskie. Po raz pierwszy leków immunosupresyjnych (były nimi pochodne kortyzolu) użyto w 1963 r. u pacjenta po przeszczepie nerki. Lekami immunosupresyjnymi są także przeciwciała. Należy zwrócić uwagę, że osoba po zabiegach immunosupresyjnych jest bezbronna wobec patogenów i podatna na szereg infekcji (np. zapalenie płuc). Z tego względu te osoby muszą przebywać w sterylnych, izolowanych warunkach, aby ograniczyć ryzyko zakażenia.

transplantacja

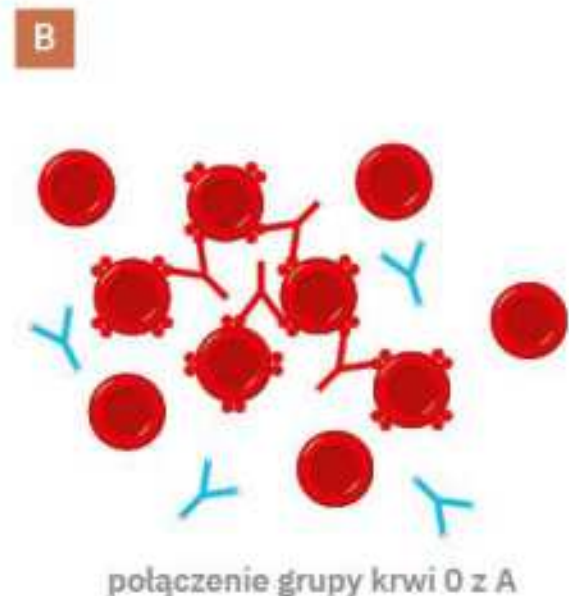
zabiegi immunosupresyjne

Niezgodność czynnika Rh – konflikt serologiczny

Błony komórkowe ludzkich erytrocytów nie zawierają cząsteczek MHC, a rolę antygenów odgrywają białka powierzchniowe układu ABO oraz Rh. Zgodność tych antygenów ma niezmiernie znaczenie przy transfuzjach krwi i w relacjach matka–

białka powierzchniowe erytrocytów

A	Grupa krwi	Antygen	Przeciwciała
	0	erytrocyt Bez antygenów A i B	Anty-A i anty-B
	A	Antygen A	Anty-B
	B	Antygen B	Anty-A
	AB	Antygeny A i B	Bez anty-A i anty-B



Ryc. I.9.7. Charakterystyka grup krwi układu ABO (A) oraz efekt połączenia grupy krwi 0 z krwią grupy A (B).



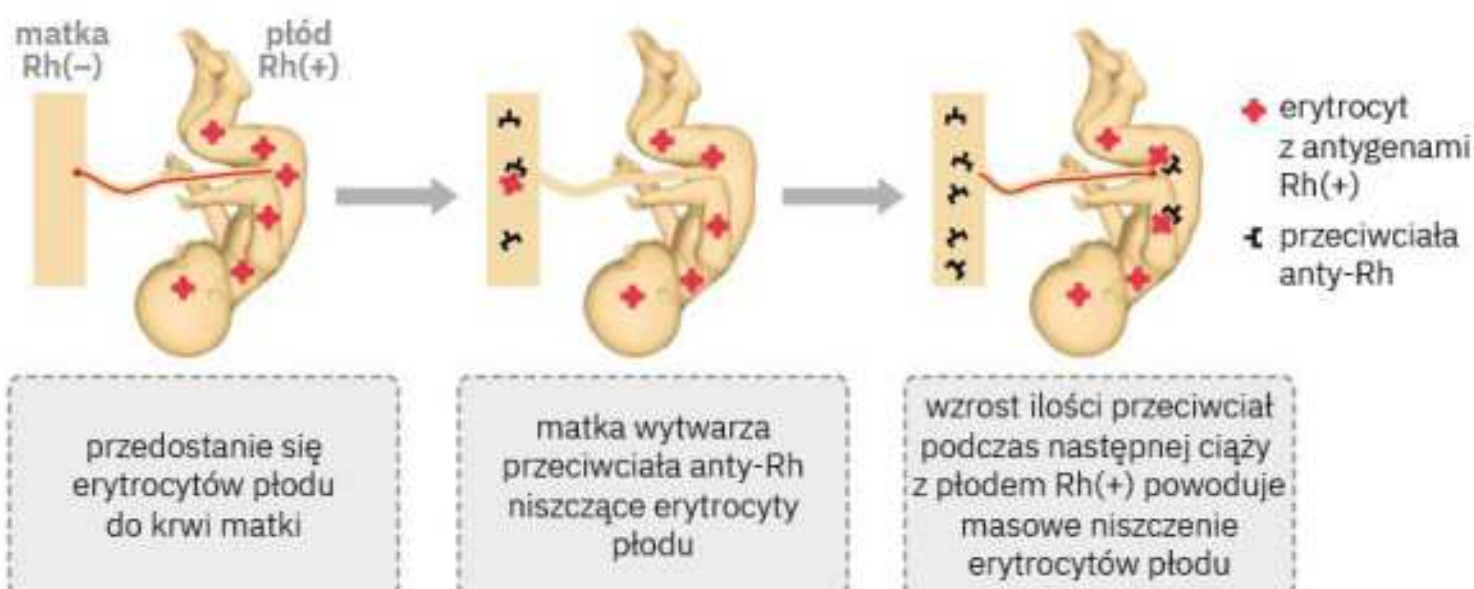
płód. Układ grup krwi AB0 składa się z czterech grup krwi będących kombinacjami dwóch różnych antygenów glikoproteinowych, oznaczonych jako A i B, zlokalizowanych w błonach erytrocytów (**ryc. I.9.7.**). Ludzie wytwarzają przeciwciała przeciwko antygenom, których sami nie mają. Na przykład jeśli osobie z grupą krwi O zostanie przetoczona przez pomyłkę grupa krwi A, to dojdzie do reakcji odpornościowej – przeciwciała anty-A obecne w osoczu biorcy połączą się z antygenami A na powierzchni erytrocytów dawcy i spowodują ich **aglutynację**, czyli zlepienie się (**ryc. I.9.7.**). W dalszej kolejności dojdzie do pęcznienia erytrocytów i uwolnienia z nich hemoglobiny, co może skutkować niewydolnością nerek. Dlatego przed każdym przetoczeniem wykonuje się próby krzyżowe krwi dawcy i biorcy, tak aby krew obu osób była dopasowana.

antygen D

konflikt serologiczny

zapobieganie
konfliktowi Rh

Oprócz grup krwi układu AB0 występuje także **układ Rh**, na który składa się co najmniej 49 antygenów (tzw. czynników Rh). Najważniejszym antygenem tego układu jest **antygen D**. Większość ludzi (ok. 85%) na powierzchni swoich krwinek czerwonych ma antygen D i te osoby nazywamy **Rh-dodatnimi**. U pozostałych osób brak jest antygeny D, tzn. są **Rh-ujemne**. Znajomość grupy krwi w zakresie układu Rh jest bardzo istotna zwłaszcza u osób planujących potomstwo, gdyż kontakt niezgodnych krwi matki i dziecka może doprowadzić do **konfliktu serologicznego** (**ryc. I.9.8.**). Taka sytuacja zachodzi wówczas, gdy kobieta jest Rh-ujemna, a dziecko Rh-dodatnie. O ile w czasie ciąży wymiana substancji odżywczych i tlenu zachodzi przez łożysko, to istnieje ryzyko zmieszania się krwi matki i dziecka w czasie porodu. Zetknięcie krwi matki z krwią płodu aktywuje układ odpornościowy matki do produkcji **przeciwciał anty-D**. W kolejnej ciąży te przeciwciała przechodzą przez łożysko i dostają się do krwi płodu. Po połączeniu z antygenem D prowadzą do rozpadu erytrocytów płodu (hemolizy). Spadek liczby erytrocytów grozi niedotlenieniem, a produkty rozkładu erytrocytów niszczą narządy wewnętrzne. W skrajnych przypadkach może rozwinąć się **choroba hemolityczna** noworodków, która stanowi zagrożenie dla życia. Konfliktowi Rh można zapobiec poprzez podawanie kobietom po porodzie przeciwciał anty-D, które szybko niszczą krwinki płodu w jej krwi, zapobiegając tym samym uszkodzeniu płodu w kolejnej ciąży.



Ryc. I.9.8. Istota konfliktu serologicznego.



ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wymień narządy limfatyczne człowieka.
2. Wyjaśnij, na czym polega fagocytoza, oraz wymień dwa przykłady fagocytujących komórek odpornościowych.
3. Narysuj schematycznie w zeszycie budowę przeciwciała, podpisz elementy jego budowy oraz wyjaśnij ich znaczenie.
4. Z poniższych mechanizmów wybierz i zapisz w zeszycie te, które zalicza się do nieswoistych mechanizmów obronnych.

lizozym w ślinie i łzach, cytotoksyczność limfocytów T, nieuszkodzona skóra, wytwarzanie przeciwciał przez limfocyty B, reakcja zapalna, kaszel

5. Sporządź w zeszycie grafikę obrazującą podział i rodzaje odporności.
6. Wyjaśnij różnice pomiędzy poniższymi pojęciami.
 - a) patogen i alergen
 - b) odpowiedź immunologiczna i pamięć immunologiczna
 - c) odporność komórkowa i odporność humoralna
7. Przeczytaj poniższy tekst i wykonaj polecenia.

W ostatnim czasie coraz większym zainteresowaniem cieszą się podjednostkowe szczepionki nowej generacji. Zawierają one wysoce oczyszczone immunogenne antygeny stanowiące fragmenty drobnoustrojów. Zastosowanie tego typu antygenów wyklucza przede wszystkim ryzyko rozwoju zakażenia drobnoustrojem „szczepionkowym”, a skład preparatu jest dobrze zbadany i zdefiniowany. [...] Szczepionki podjednostkowe najczęściej są oparte na białkach, peptydach lub polisacharydach zawierających immunogenne części antygeny. Antygeny są izolowane z hodowli konkretnego szczepu drobnoustroju lub powstają na drodze rekombinacji z hodowli drobnoustrojów niepatogennych.

- a) Na podstawie tekstu wyjaśnij, czym różnią się szczepionki nowej generacji od szczepionek tradycyjnych.
 - b) Powiedz, który z podanych rodzajów odporności nabywamy w trakcie szczepień ochronnych.
naturalna, bierna, sztuczna, czynna
8. Potoczne określenie „bliźniak genetyczny” nie jest terminem medycznym. Określamy nim osobę, która może być dawcą narządu czy tkanki (np. komórek szpiku), ponieważ jest biologicznie „podobna” z biorcą, co zwiększa znacznie szanse na powodzenie przeszczepienia. Szanse na znalezienie „bliźniaka genetycznego” są niezwykle niskie – prawdopodobieństwo wynosi od 1:20 000 do aż 1 do kilku milionów.

Wyjaśnij, z czego wynikają trudności w znalezieniu „bliźniaka genetycznego”.

9. Wytlumacz, czy w poniższych przypadkach istnieje ryzyko wystąpienia konfliktu serologicznego. W każdym przypadku uzasadnij swoją odpowiedź.
 - a) kobieta Rh-ujemna nosi dziecko Rh-ujemne
 - b) kobieta Rh-dodatnia nosi dziecko Rh-ujemne
 - c) kobieta Rh-dodatnia nosi dziecko Rh-dodatnie
 - d) kobieta Rh-ujemna nosi dziecko Rh-dodatnie



PODSUMOWANIE LEKCJI

- s. 68 **Antygeny** (cząsteczki białek lub polisacharydów pochodzące od drobnoustrojów) pobudzają układ odpornościowy do odpowiedzi immunologicznej.
- s. 68 **Układ odpornościowy** składa się z narządów limfatycznych (m.in. grasicy, śledziony, szpiku kostnego), komórek i substancji odpornościowych.
- s. 68 Do najważniejszych **komórek odpornościowych** zaliczamy: limfocyty B i T, makrofagi, granulocyty, komórki dendrytyczne oraz komórki NK.
- s. 70 **Substancjami odpornościowymi** są przeciwciała, cytokiny i białka ostrej fazy. 
- s. 71 **Przeciwciała** są produkowane przez limfocyty B, wiążą antygeny i aktywują procesy immunologiczne.
- s. 71 **Cytokiny** (np. interferony, interleukiny) to białka, które są wydzielane przez jedną komórkę, a wpływają na aktywność innych komórek. Biorą udział w reakcjach zapalnych.
- s. 72 **Białka ostrej fazy** są wydzielane przez wątrobę zaraz po infekcji lub urazie w celu oplaszczania patogenów albo hamowania aktywności enzymów.
- s. 72 Na **odpowiedź immunologiczną** składają się mechanizmy nieswoiste oraz swoiste.
- s. 72 Mechanizmy **odpornościowe nieswoiste** (skóra, fagocytoza, substancje bakteriobójcze, mechanizmy fizjologiczne) działają niewybiórczo i stanowią pierwszą linię obrony przed antygenami.
- s. 73 **Mechanizmy odpornościowe swoiste** są skierowane przeciwko konkretnemu antygenowi. Należą do nich limfocyty B i wytwarzane przez nie przeciwciała, a także cytotoksyczna i pomocnicza aktywność limfocytów T.
- s. 73 **Odporność swoistą można nabyć** w sposób czynny naturalny (przebyta choroba), czynny sztuczny (szczepienia), bierny naturalny (przechodzenie przeciwciał matki do noworodka przez łożysko), bierny sztuczny (podanie surowicy odpornościowej).
- s. 76 Układ odpornościowy odróżnia komórki własne od obcych dzięki obecności unikalnego dla każdej osoby zestawu autoantygenów, tworzących **główny układ zgodności tkankowej** (MHC).
- s. 77 Wysoka zgodność tkankowa jest jednym z podstawowych warunków **transplantacji** (przeszczepów) narządów – im wyższa zgodność, tym większe prawdopodobieństwo przyjęcia przeszczepu.
- s. 77 Celem stosowania **zabiegów immunosupresyjnych** (m.in. farmakologicznych) jest zniszczenie przeciwciał i limfocytów, osłabienie reakcji odpornościowej i przyjęcie przeszczepu.
- s. 77 Rolę antygenów ludzkich erytrocytów, których wysoka zgodność jest kluczowa w czasie transfuzji krwi, odgrywają **białka powierzchniowe** układów AB0 oraz Rh.
- s. 78 Najważniejszym antygenem układu Rh jest **antygen D**. Osoby mające antygen D są Rh-dodatnie, a nieposiadające go – Rh-ujemne.
- s. 78 **Konflikt serologiczny** może wystąpić w czasie ciąży, kiedy dojdzie do kontaktu krwi kobiety Rh-ujemnej i jej Rh-dodatniego dziecka. Produkowane przez matkę przeciwciała anti-D mogą przejść przez łożysko i doprowadzić do rozpadu (hemolizy) erytrocytów dziecka.
- s. 78 **Konfliktowi Rh można zapobiec**, podając kobietom po porodzie przeciwciała anti-D, które niszczą erytrocyty płodu.



10. Zaburzenia funkcjonowania układu odpornościowego

NA TEJ LEKCJI:

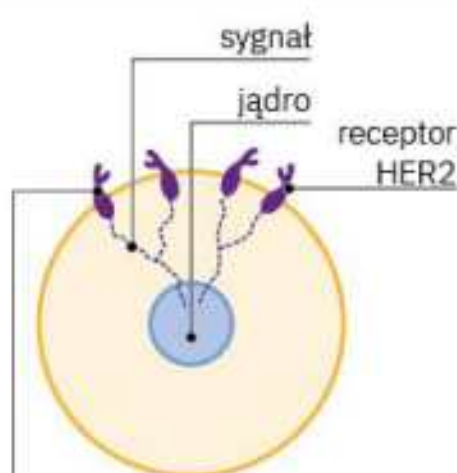
- poznasz przykłady chorób układu immunologicznego;
- dowiesz się, czym jest alergia;
- przeanalizujesz przyczyny i skutki niedoborów odporności.

Sprawne funkcjonowanie układu odpornościowego jest podstawą dobrego zdrowia człowieka. Zarówno zbyt silna, jak i zbyt słaba reakcja odpornościowa prowadzą do zaburzeń w funkcjonowaniu organizmu i rozwoju chorób.

Choroby nowotworowe

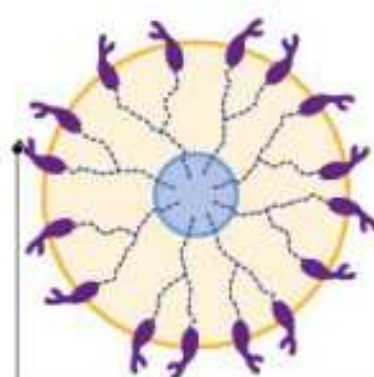
Choroby nowotworowe to jedna z głównych przyczyn zgonów na całym świecie. Komórki nowotworowe powstają z normalnych komórek w wyniku ich mutacji. Jaki jest udział układu odpornościowego w ochronie organizmu przed nowotworami? Według teorii nadzoru immunologicznego układ odpornościowy w wielu przypadkach rozpoznaje antygeny komórek nowotworowych i może je skutecznie zniszczyć, zapobiegając tym samym rozwojowi choroby. Niestety, komórek wielu rodzajów nowotworów układ odpornościowy nie rozpoznaje (np. guzów bez antyge-

choroby
nowotworowe



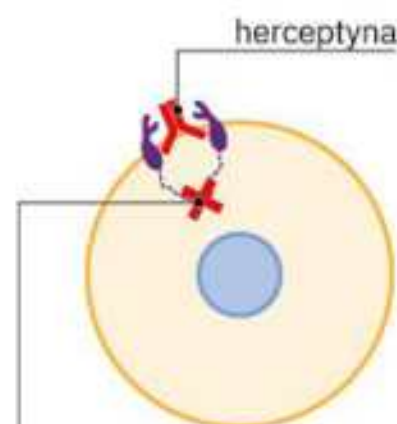
Zdrowa komórka sutka

Receptory HER2 wysyłają sygnały stymulujące komórki do wzrostu i podziału.



Komórka nowotworowa ma znacznie więcej receptorów HER2

Receptory HER2 wysyłają wiele sygnałów, powodując szybkie namnażanie się komórek.



Możliwe działanie herceptyny

Badania pokazały, że herceptyna łączy się z receptorami HER2, przez co blokuje wysyłanie sygnałów, a tym samym zatrzymuje namnażanie się komórek.

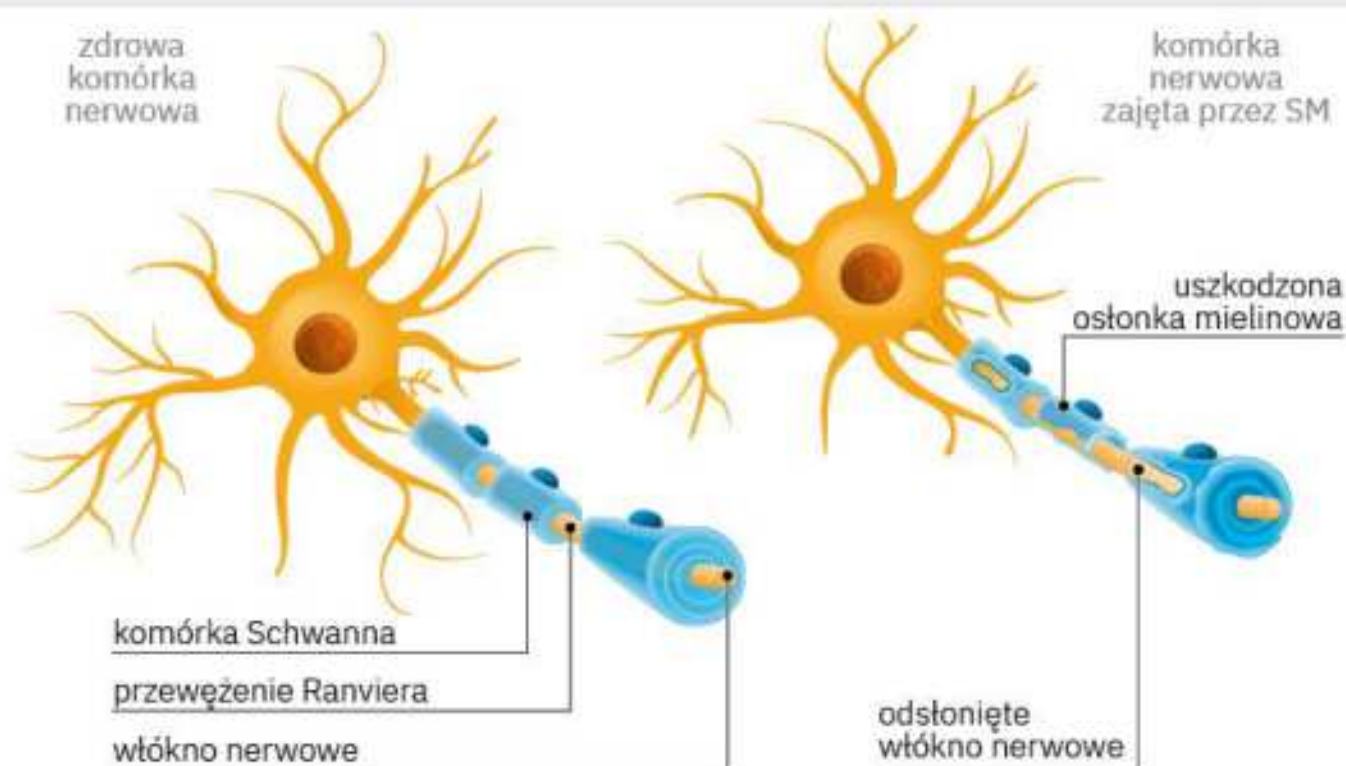
Ryc. I.10.1. Herceptyna to przeciwciało – lek wykorzystywany w leczeniu jednego z rodzajów raka sutka.

**terapia przeciw-
nowotworowa**

nów na powierzchni komórek), dlatego mnożą się one w sposób niekontrolowany. Dodatkowym problemem są **terapię przeciwnowotworowe**, m.in. chemioterapia, w czasie której zniszczeniu ulegają nie tylko komórki nowotworowe, lecz także te zdrowe. Trwają prace nad stworzeniem nowych metod leczenia, które pozwalałyby na swoiste niszczenie komórek nowotworowych. Przykładem takiego podejścia jest lek Herceptyna®, który jest przeciwciałem blokującym rozwój jednego z rodzajów raka piersi (**ryc. I.10.1.**). Innym sposobem leczenia nowotworów jest modyfikacja przeciwciał w taki sposób, aby mogły być nośnikami leków i dostarczały je tylko do komórek rakowych, chroniąc komórki zdrowe.

**choroby auto-
immunizacyjne****Choroby autoimmunizacyjne**

W normalnych warunkach układ odpornościowy zapewnia obronę przeciwko obcym antygenom. Zdarzają się jednak sytuacje, w których reakcja odpornościowa zostaje skierowana przeciwko własnym komórkom (układ odpornościowy atakuje swoje komórki), co określamy mianem **autoagresji**. Autoagresja prowadzi do **chorób autoimmunizacyjnych** wielu układów, m.in.: reumatoidalnego zapalenia stawów (przeciwciała zaburzają strukturę błony maziowej stawów i powodują ich przewlekłe zapalenie), choroby Hashimoto (przeciwciała niszczą tarczycę i zaburzają jej funkcje), niedokrwistości hemolitycznej (przeciwciała prowadzą do rozkładu krwinek czerwonych), cukrzycy typu I (komórki produkujące insulinę są niszczone przez limfocyty T_c) czy stwardnienia rozsianego (przeciwciała niszczą osłonki mielinowe komórek nerwowych mózgu i rdzenia kręgowego) (**ryc. I.10.2.**). W terapii chorób autoimmunizacyjnych stosuje się m.in. **leki immunosupresyjne**, których zadaniem jest „wyciszenie” zbyt aktywnych limfocytów T.



Ryc. I.10.2. W stwardnieniu rozsianym (SM) dochodzi do uszkodzenia tkanki nerwowej, którego podłożem jest autoagresja.



Alergia (nadwrażliwość)

Alergia to silna odpowiedź układu odpornościowego na antygen (tzw. **alergen**), który u zdrowych osób jest na ogół nieszkodliwy. Odpowiedź ta nazywa się **wrażliwością** lub **nadwrażliwością** na antygen. Najczęstszymi alergenami są: kurz domowy, sierść zwierząt, pyłki traw, sztuczna biżuteria (**ryc. I.10.3.**). Alergeny mogą dostawać się do organizmu poprzez wdychanie, połykanie, wstrzykiwanie lub przez kontakt ze skórą. Przy pierwszym kontakcie z alergenem dochodzi do produkcji przeciwciał (klasy IgE i IgG), dodatkowo zachowują się komórki pamięci. Na powtórny kontakt z alergenem organizm reaguje bardzo szybko i o wiele silniej. Alergen wiąże się z przeciwciałami IgE obecnymi na powierzchni leukocytów, powodując ich degranulację i wyrzut histaminy, cytokin oraz innych substancji odpowiedzialnych za objawy alergii. Reakcja na alergen może mieć różny charakter i zależy od miejsca jej wystąpienia (**ryc. I.10.3.**). Jeśli dotyczy górnych dróg oddechowych, to zwykle towarzyszy jej astma alergiczna, wyciek z nosa (katar sienny), pokrzywka, łzawienie. Reakcja alergiczna w obrębie układu pokarmowego wiąże się z występowaniem biegunek czy wymiotów. W skrajnych przypadkach po przedostaniu się alergenu do krwi może dojść do **wstrząsu anafilaktycznego**, czyli ogólnoustrojowej reakcji organizmu zagrażającej życiu. W reakcji tej silny wyrzut histaminy i cytokin powoduje rozszerzenie naczyń krwionośnych, niewydolność krążeniową oraz silny skurcz oskrzeli. Stosowane w leczeniu alergii leki przeciwhistaminowe zmniejszają jej objawy, natomiast w przypadku wstrząsu anafilaktycznego należy jak najszybciej podać dożylnie adrenalinę. Reakcje anafilaktyczne mogą wywołać niektóre leki (np. penicylina), a także jad owadów czy niektóre składniki odżywcze (np. zawarte w orzechach). Obecnie właściciele sklepów, restauracji czy stołówek mają obowiązek informowania o składnikach alergizujących w pokarmach. Reguluje to prawo unijne i krajowe.

alergia i alergeny

wstrząs
anafilaktyczny



Ryc. I.10.3. Najczęstsze alergeny i objawy reakcji na nie.



Niedobór odporności

niedobór
odporności

Niedobory odporności przejawiają się skłonnością do nawracających, częstych zakażeń wywołanych przez drobnoustroje niechorobotwórcze dla ludzi (tzw. **zakażenia oportunistyczne**). Niedobory odporności mogą mieć charakter pierwotny lub wtórny. **Pierwotny niedobór odporności** ma zwykle podłoże genetyczne, tak jak w przypadku ciężkiego złożonego niedoboru odporności (SCID) występującego u niemowląt. W chorobie tej za mało jest aktywnych limfocytów lub nie ma ich w ogóle, co skutkuje częstymi chorobami, takimi jak zapalenie płuc czy zapalenie opon mózgowo-rdzeniowych. Ratunkiem dla dzieci ze SCID jest przeszczep szpiku lub terapia genowa. **Wtórny**, czyli nabyty niedobór odporności pojawia się w późniejszym okresie życia i może mieć różne przyczyny, np.: ostre zakażenie, usunięcie śledziony czy niewydolność nerek. Przykładem wtórnego niedoboru odporności jest **zespół nabytego niedoboru odporności**, czyli **AIDS**.

AIDS

AIDS jest wywoływany przez **ludzkiego wirusa niedoboru odporności HIV** (ryc. I.10.4.). Wirus HIV niszczy mechanizmy odpornościowe, głównie limfocyty T pomocnicze. To powoduje spadek odporności, czego konsekwencją jest rozwój zakażeń oportunistycznych i nowotworów.



Ryc. I.10.4. HIV – ludzki wirus niedoboru odporności wywołujący AIDS.

Zakażenie wirusem HIV jest możliwe poprzez:

Zakażenie wirusem HIV jest możliwe poprzez:

- kontakty seksualne,
- kontakt z zakażoną krwią (m.in. przez zakażone igły strzykawkowe),
- kontakt zakażonej matki z dzieckiem (w czasie ciąży, porodu i karmienia piersią).

Charakterystyczną cechą zakażenia wirusem HIV jest długi okres utajenia (uśpienia). W związku z tym objawy AIDS mogą wystąpić nawet po kilku latach od zakażenia. W celu wykrycia potencjalnego zakażenia przeprowadza się testy diagnostyczne z krwi. Warto zaznaczyć, że nie u wszystkich osób zakażonych wirusem HIV dochodzi do rozwoju AIDS. Osoby te jednak mogą być nosicielami i przenosić zakażenie na innych. Jedną z metod leczenia AIDS jest wysokoaktywna terapia antyretrowirusowa (HAART, z ang. *highly active antiretroviral therapy*), którą stosuje się u osób zakażonych HIV. W terapii tej podaje się leki antywirusowe, które zatrzymują namnażanie się wirusa, pozwalają na regenerację układu odpornościowego i zapobiegają rozwojowi AIDS.

Gdy dojdzie do wystąpienia AIDS, głównymi powikłaniami są przewlekłe zakażenia i nowotwory (do częstych należy chłoniak oraz mięsak Kaposiego). Dodatkowo występują: zapalenie płuc, biegunki, spadek masy ciała, zapalenie opon mózgowo-rdzeniowych, zaburzenia neurologiczne. W takim przypadku stosuje się leki



łagodzące objawy i wydłużające życie. Profilaktyka AIDS obejmuje: unikanie ryzykownych zachowań seksualnych, wykonywanie badań na obecność HIV (u siebie i partnera) oraz unikanie kontaktu z zakażoną krwią.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wymień dwa przykłady chorób autoimmunizacyjnych i wyjaśnij, w jaki sposób one powstają.
2. W dostępnej literaturze znajdź informacje na temat niwolumabu – jaki to rodzaj leku, w jakich terapiach jest stosowany, jaką ma skuteczność itp.
3. Wymień drogi zakażenia wirusem HIV.
4. Wyjaśnij pojęcia: *alergia*, *immunosupresja*, *wstrząs anafilaktyczny*.
5. Przeczytaj poniższy tekst i wykonaj polecenie.

Zespół Wiskotta–Aldricha (ang. Wiskott–Aldrich syndrome, WAS) to rzadka dziedziczna choroba, sprzężona z chromosomem X, na który chorują tylko chłopcy. Choroba przebiega z zaburzeniami układu odpornościowego. Za wystąpienie objawów choroby odpowiada mutacja genu kodującego białko o nazwie WASP. Białko to jest niezbędne do prawidłowego funkcjonowania m.in. limfocytów T i B, makrofagów oraz trombocytów. Choroba może mieć postać łagodnych lub ostrych zaburzeń odporności.

Na podstawie: wikipedia.pl.

Wyjaśnij, czy opisana powyżej choroba to nabyty, czy wrodzony niedobór odporności.

6. Wykonaj doświadczenie opisane na stronie 392 podręcznika.

PODSUMOWANIE LEKCJI

Choroby nowotworowe niekiedy mają związek z niewłaściwym funkcjonowaniem układu immunologicznego.

s. 81

W **leczeniu niektórych rodzajów nowotworów** stosuje się przeciwciała (np. w leczeniu pewnych typów raka sutka).

s. 82

Choroby autoimmunizacyjne (m.in. reumatoidalne zapalenie stawów, stwardnienie rozsiane) powstają w wyniku skierowania reakcji odpornościowej przeciwko własnym komórkom.

s. 82

Alergia to silna odpowiedź na antygen (alergen), np. kurz, pyłek roślin czy sierść zwierząt, który dla zdrowego człowieka jest nieszkodliwy.

s. 83

Alergeny wiążą się z przeciwciałami klasy IgE, powodując degranulację leukocytów i wyrzut histaminy.

s. 83

Wstrząs anafilaktyczny to ogólnoustrojowa, zagrażająca życiu reakcja organizmu na obecność alergenów we krwi. Mogą ją wywołać niektóre leki, toksyny zwierzęce i substancje roślinne.

s. 83

Niedobory odporności mogą mieć podłoże genetyczne (np. ciężki złożony niedobór odporności SCID dzieci) lub wtórne, czyli nabyte (np. wywoływany przez wirus HIV zespół nabytego niedoboru odporności AIDS).

s. 84

Jedną ze skutecznych metod leczenia **AIDS** jest wysokoreaktywna terapia antyretrowirusowa HAART. Profilaktyka AIDS obejmuje unikanie ryzykownych kontaktów seksualnych i kontaktu z zakażoną krwią czy wykonywanie badań na obecność HIV.

s. 84



11. Wymiana gazowa i krążenie

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz związek między budową i funkcją elementów układu oddechowego;
- zapoznasz się z mechanizmem wentylacji płuc;
- przeanalizujesz wpływ czynników zewnętrznych na funkcjonowanie układu oddechowego;
- dowiesz się, jaką rolę odgrywa krew w transporcie gazów oddechowych.

wymiana gazowa

Wymiana gazowa

Układ oddechowy jest odpowiedzialny za wymianę gazową między organizmem a środowiskiem. Proces ten przebiega w układzie oddechowym przy współpracy układu krwionośnego i w nieznacznym stopniu skóry. Proces oddychania składa się z dwóch etapów: wymiany gazowej i oddychania komórkowego. Wymiana gazowa zachodzi w drogach oddechowych i płucach. Polega na dostarczaniu do komórek

tlenu i usuwaniu dwutlenku węgla. Zachodzi na drodze dyfuzji prostej.

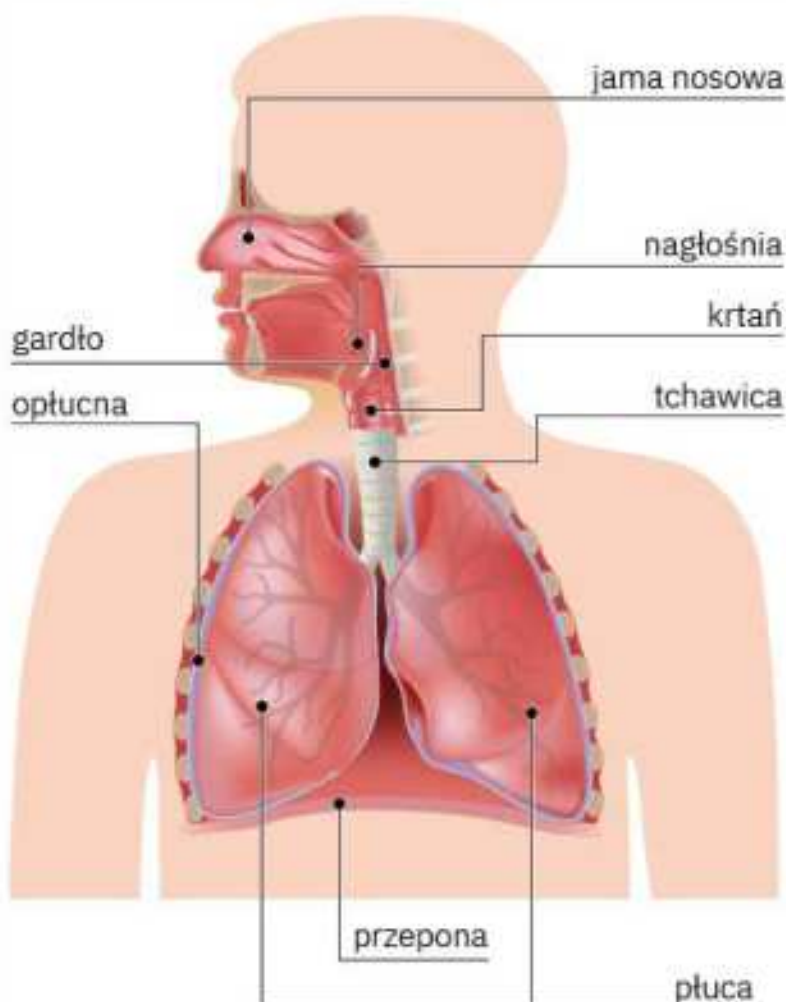
Oddychanie komórkowe zachodzi w mitochondriach, w których następuje utlenianie związków organicznych oraz magazynowanie energii w ATP – uniwersalnym przenośniku energii.

Budowa układu oddechowego

Na układ oddechowy składają się **górne drogi oddechowe** (jama nosowa z zatokami, gardło), **dolne drogi oddechowe** (krtąń, tchawica, oskrzela) oraz **płuca** (właściwy narząd oddechowy, miejsce wymiany gazowej) (ryc. I.11.1.).

Górne drogi oddechowe

Powietrze dostaje się do dróg oddechowych w trakcie wdechów, które zazwyczaj odbywają się przez nos.



Ryc. I.11.1. Model budowy układu oddechowego człowieka.



W skórze wnętrza jamy nosowej podzielonej na dwie części przegrodą nosa znajdują się liczne drobne włosy. Tylne części jamy nosowej jest wyścielona nabłonkiem z rzęskami i licznymi komórkami wydzielającymi śluz. Włosy i rzęski wychwytyją kurz i drobne zanieczyszczenia, śluz je zlepia, co pozwala na usunięcie ich z wdychanego powietrza, zanim dostaną się do płuc. Wewnętrzna powierzchnia jamy nosowej jest dobrze ukrwiona i dzięki temu wdychane powietrze zostaje ogrzane. W części węchowej w szczycie jamy nosowej znajdują się liczne receptory węchu odbierające informacje o zapachu substancji obecnych w wdychanym powietrzu. Jama nosowa jest połączona z zatokami przynosowymi, które spełniają funkcje m.in. rezonatorów głosu. Od ich kształtu i wielkości zależy np. barwa głosu.

Z jamy nosowej powietrze wędruje do gardła, które jest jednocześnie odcinkiem przewodu pokarmowego. W bocznych ścianach gardła leżą zakończenia trąbki słuchowej, które łączą gardło z jamą ucha środkowego. To połączenie służy wyrównaniu ciśnień powietrza po dwóch stronach błony bębenkowej.

W błonie śluzowej na granicy jamy ustnej i gardła występują migdałki, czyli skupienia tkanki limfatycznej stanowiące pierwszą linię obrony immunologicznej organizmu przed czynnikami chorobotwórczymi.



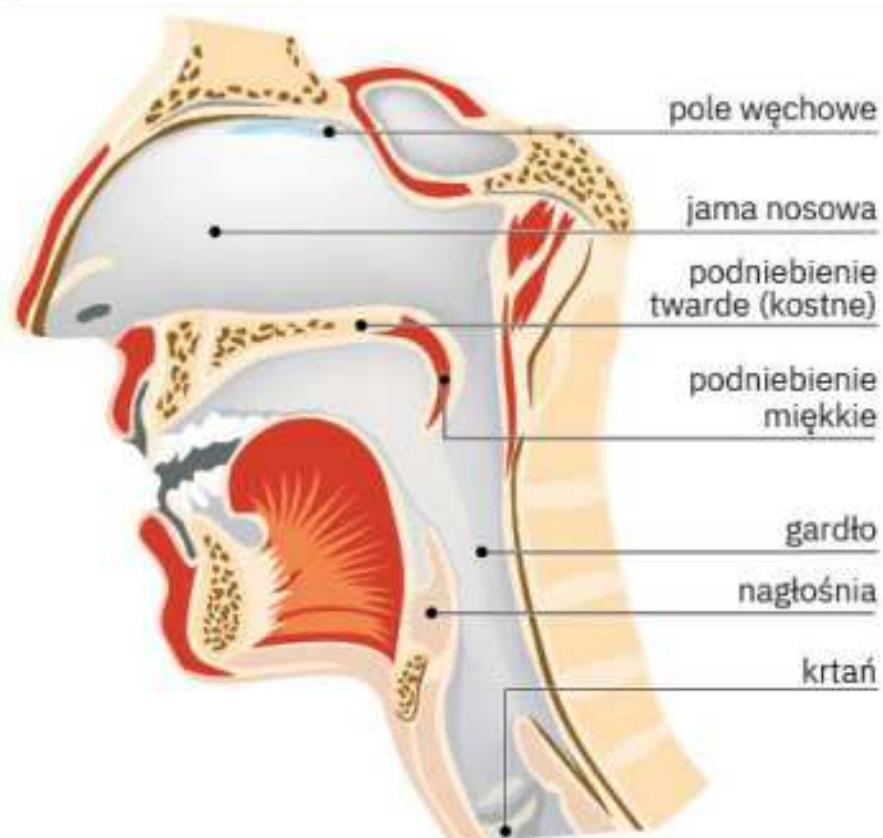
Dolne drogi oddechowe

Powietrze z gardła dostaje się do krtani (o długości 4–6 cm), czyli dziewięciu ruchomych względem siebie chrząstek, połączonych mięśniami i więzadłami (**ryc. I.11.2.**).

Ryc. I.11.2. Wyniosłość jednej z chrząstek, tzw. chrząstki tarczowatej, została nazwana jabłkiem Adama. Jest to trzeciorzędowa cecha płciowa odróżniająca płęć męską od żeńską.

Brzegi więzadeł położone w świetle krtani tworzą **fałdy głosowe** (nazywane **strunami głosowymi**), których drgania pod wpływem przechodzącego przez nie powietrza umożliwiają wydawanie dźwięków. Ich rodzaj i wysokość zależy od napięcia i długości strun głosowych. Mężczyźni mają dłuższe fałdy głosowe, dlatego ich głos jest niższy od głosu kobiet i dzieci. **Nagłośnia** to ruchoma chrząstka krtani, która podczas połykania pokarmu zamyka wejście do tchawicy i zapobiega dostaniu się cząsteczek pokarmowych do układu oddechowego (**ryc. I.11.3.**).

Z krtani powietrze dociera do **tchawicy**, kanału (o długości ok. 12 cm) zbudowanego z chrząstek, biegnącego w przedniej części przetyku aż do klatki piersiowej. Taka budowa zapobiega zapadaniu się ścianek tchawicy. Wnętrze tchawicy wyściela błona śluzowa z nabłonkiem jednowarstwowym urzęsionym. Ruch rzęsek pozwala na przesuwanie cząsteczek pyłu i kurzu wraz ze śluzem do górnych odcinków dróg oddechowych. Ta czynność zapobiega przedostawaniu się zanieczyszczeń do płuc.



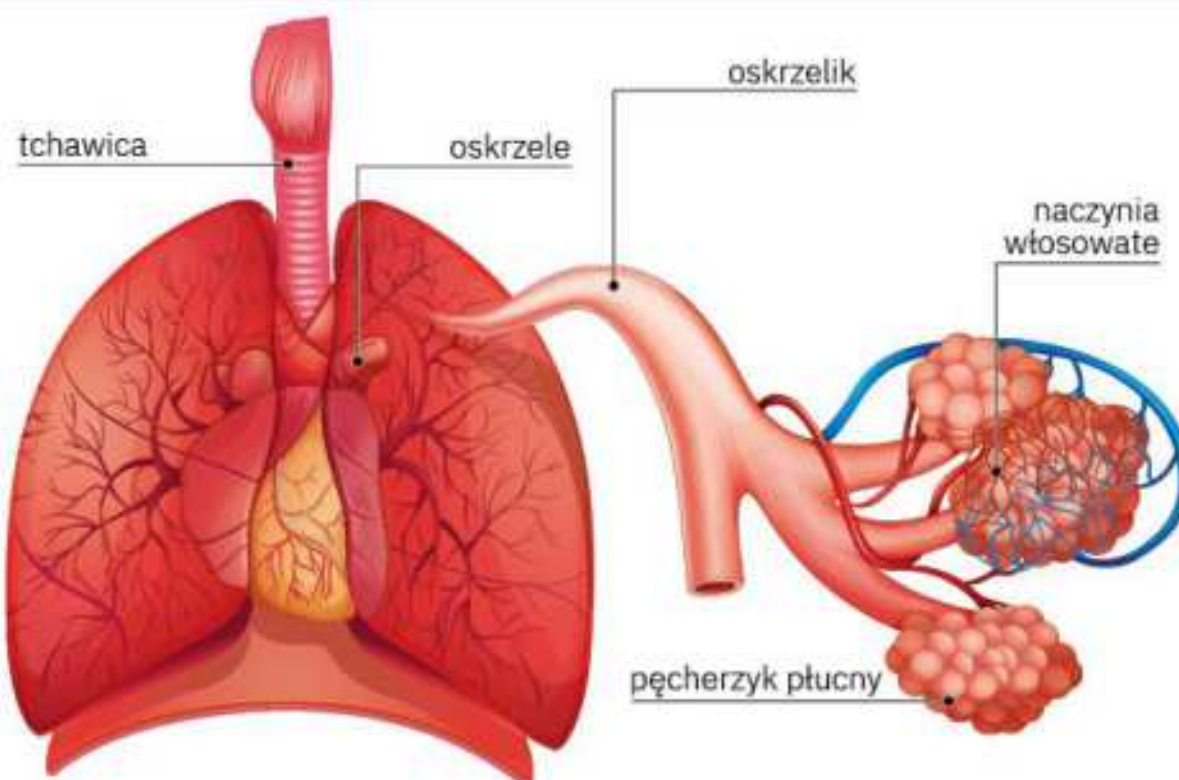
Ryc. I.11.3. Model początkowych dróg oddechowych.

Tchawica rozgałęzia się w klatce piersiowej na dwa **oskrzela główne** (prawe grubsze i krótsze od lewego), wzmocnione pierścieniami chrzęstnymi, które dzielą się wielokrotnie na oskrzela o coraz mniejszej średnicy, dając tzw. drzewo oskrzelowe. Najmniejsze przewody – oskrzeliki (niezawierające chrząstek) – kończą się drobnymi **pęcherzykami płucnymi**, w których zachodzi wymiana gazowa. Oskrzelka i oskrzeliki rozprawdzają powietrze w płatach płuc. **Płuco** prawe składa się z trzech płatów, a lewe – z dwóch. Płuca ochrania klatka piersiowa. Wewnętrzna powierzchnia klatki piersiowej jest pokryta cienką błoną – opłucną, zbudowaną z dwóch blaszek. Przestrzeń między nimi nosi nazwę jamy opłucnowej. Jest ona wypełniona płynem surowiczym zmniejszającym tarcie między powierzchnią płuc a ścianami klatki piersiowej podczas wykonywania ruchów oddechowych.

Pęcherzyki płucne

Pęcherzyki płucne są miejscem wymiany gazów oddechowych – tlenu i dwutlenku węgla.

Każdy pęcherzyk jest opleciony gęstą siecią włosowatych naczyń krwionośnych, przez które zachodzi wymiana gazowa między pęcherzykami płucnymi a krwią. Liczba pęcherzyków płucnych wynosi 300–500 milionów, co daje łączną powierzchnię oddechową około 100 m² (ryc. I.11.4.).



Ryc. I.11.4. Budowa dolnych dróg oddechowych.



Na wewnętrznej powierzchni pęcherzyków znajduje się tzw. **surfaktant** (mieszanina fosfolipidów, wielocukrów i białek), który zmniejsza napięcie powierzchniowe pęcherzyków, zapobiegając ich zlepianiu się.

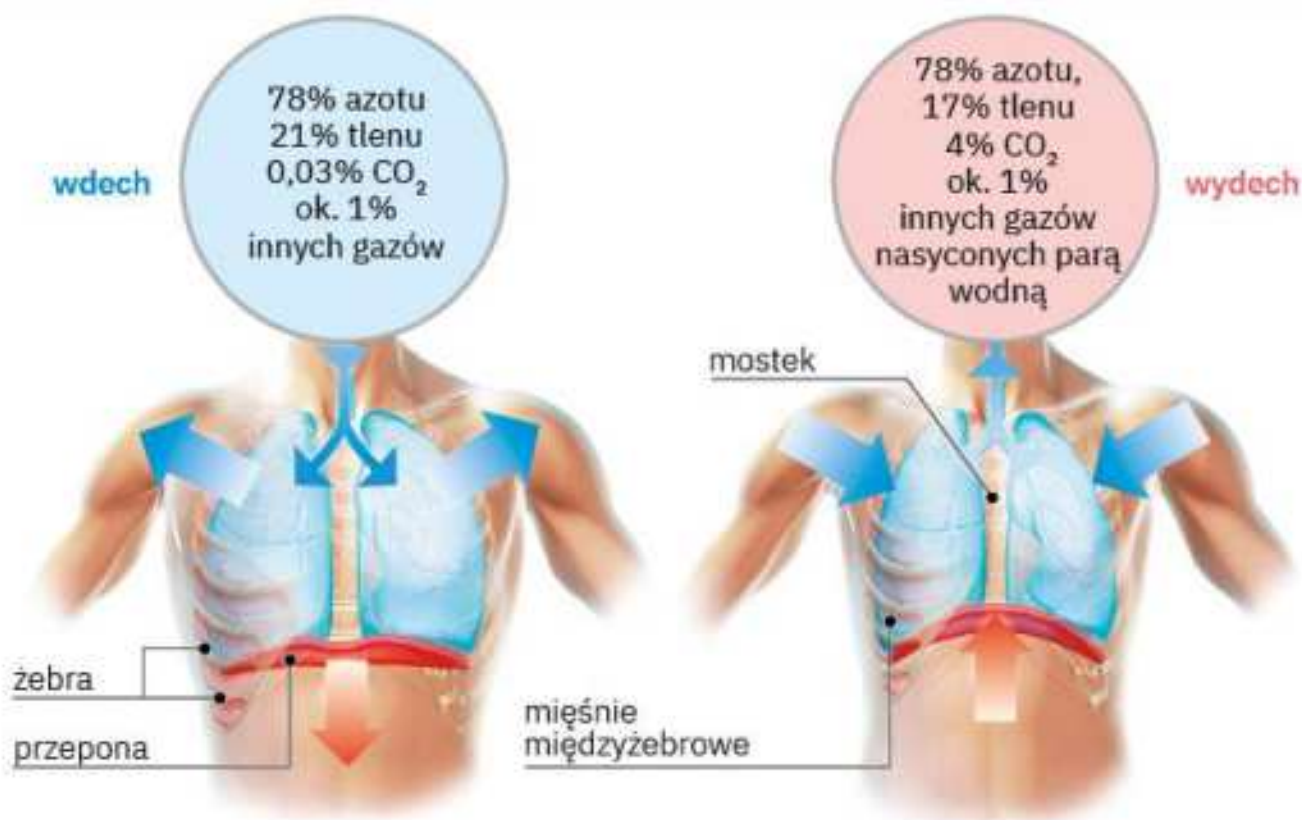
Wentylacja płuc

wentylacja płuc

Stale zachodzące oddychanie komórkowe wymaga dopływu tlenu z zewnątrz i usuwania powstającego dwutlenku węgla. Jest to możliwe dzięki następującym naprzemiennym wdechom i wydechom. Zachodzą one dzięki pracy **mięśni międzyżebrowych i przepony**.

Wdech – akt czynny

Wdech jest aktem czynnym, ponieważ wymaga wykorzystania energii podczas pracy mięśni. Polega na skurczu mięśni międzyżebrowych zewnętrznych i przepony. Skurcz mięśni międzyżebrowych zewnętrznych powoduje rozciągnięcie i uniesienie klatki piersiowej, a kurcząca się przepona obniża się (**ryc. I.11.5.**). W efekcie ciśnienie powietrza w jamie opłucnej i pęcherzykach płucnych obniża się w stosunku do ciśnienia atmosferycznego. Różnica ciśnień powoduje napływ powietrza do płuc.



Ryc. I.11.5. Schemat mechanizmu wdechu i wydechu.

Wydech – akt bierny

Podczas spokojnego wydechu mięśnie międzyżebrowe oraz przepona rozkurczają się, co powoduje przywrócenie spoczynkowego rozmiaru klatki piersiowej i zmniejszenie jej objętości (**ryc. I.11.5.**). Ciśnienie w jamie opłucnej i pęcherzykach płucnych wzrasta powyżej wartości ciśnienia atmosferycznego. Ta różnica ciśnień powoduje usuwanie powietrza z płuc. Podczas pogłębionego wydechu jego siłę mogą wzmocnić mięśnie brzucha i grzbietu (w trakcie kaszlu, kichania, ziewania).



Podczas oddychania mogą przeważać ruchy żeber (oddychanie piersiowe charakterystyczne dla kobiet) lub ruchy przepony (oddychanie brzuszne właściwe dla mężczyzn i osób z chorobami płuc).

Całkowita pojemność płuc dorosłego człowieka wynosi od 4 do 6 litrów (dm^3). Większa jest u mężczyzn niż u kobiet. Ilość powietrza, którą wymieniamy podczas normalnego wdechu i wydechu, wynosi ok. $0,5 \text{ dm}^3$.

Za regulację wentylacji płuc jest odpowiedzialny **ośrodek oddechowy** położony w rdzeniu przedłużonym. Odbiera on sygnały od receptorów znajdujących się w ścianach dużych tętnic. Ośrodek jest regulowany przede wszystkim przez wzrost stężenia dwutlenku węgla we krwi. Do pewnego stopnia możemy kontrolować rytm oddechów, np. podczas nurkowania świadomie wstrzymujemy oddech.

choroby układu
oddechowego

zanieczyszczenia
powietrza

Higiena i choroby układu oddechowego

Na pracę układu oddechowego mają wpływ czynniki zewnętrzne: zanieczyszczenia pyłowe i chemiczne. **Zanieczyszczenia pyłowe** powstają podczas procesów produkcyjnych, a także mogą być pochodzenia organicznego, jak **pyłki roślin**. **Zanieczyszczenia gazowe** są efektem spalania paliw kopalnianych. Podczas spalania węgla kamiennego i brunatnego, gazu ziemnego czy ropy naftowej powstają trujące



Ryc. I.11.6. Smog w Warszawie. Narodowy Fundusz Zdrowia podał, że w Polsce w 2017 r. liczba zgonów w styczniu i lutym wzrosła w porównaniu z rokiem poprzednim. Przyczyną był wcześniejszy niż zazwyczaj szczyt zachorowań na gripę, najniższe od wielu lat temperatury oraz długotrwale utrzymujący się smog.

związki – **tlenki azotu, siarki i węgla**. Źródłem tlenków azotu są zakłady produkujące nawozy azotowe, a także powszechne ich stosowanie w rolnictwie. Związki te są niebezpieczne dla człowieka i powodują uszkodzenie płuc, zmniejszają zdolność krwi do przenoszenia tlenu i mogą być przyczyną chorób nowotworowych płuc. Drugim bardzo niebezpiecznym związkiem jest dwutlenek siarki. W powietrzu utlenienia się do SO_3 , który łącząc się z wodą, tworzy **kwasy siarkowe**, będący główną przyczyną kwaśnych deszczów. Mieszanina dwutlenku siarki, tlenku azotu i benzopirenu w kontakcie z drobinami pyłów tworzy **smog fotochemiczny** – mgłę zawierającą zanieczyszczenia (ryc. I.11.6.).

Okresem sprzyjającym powstaniu smogu jest bezwietrzna, słoneczna i mroźna zima. Podczas dnia powietrze nagrzewa się i wieczorem unosi, a jego miejsce zajmuje zimne powietrze utrzymujące zanieczyszczenia blisko ziemi. Szczególnie narażeni na działanie smogu są ludzie mieszkający w pobliżu elektrowni czy indywidualnych gospodarstw opalanych złej jakości węglem, drewnem i śmieciami (głównie w postaci tworzyw sztucznych), a także mieszkańcy miast o dużym ruchu ulicznym. Smog powoduje podrażnienia oczu i skóry, kaszel, bóle w klatce



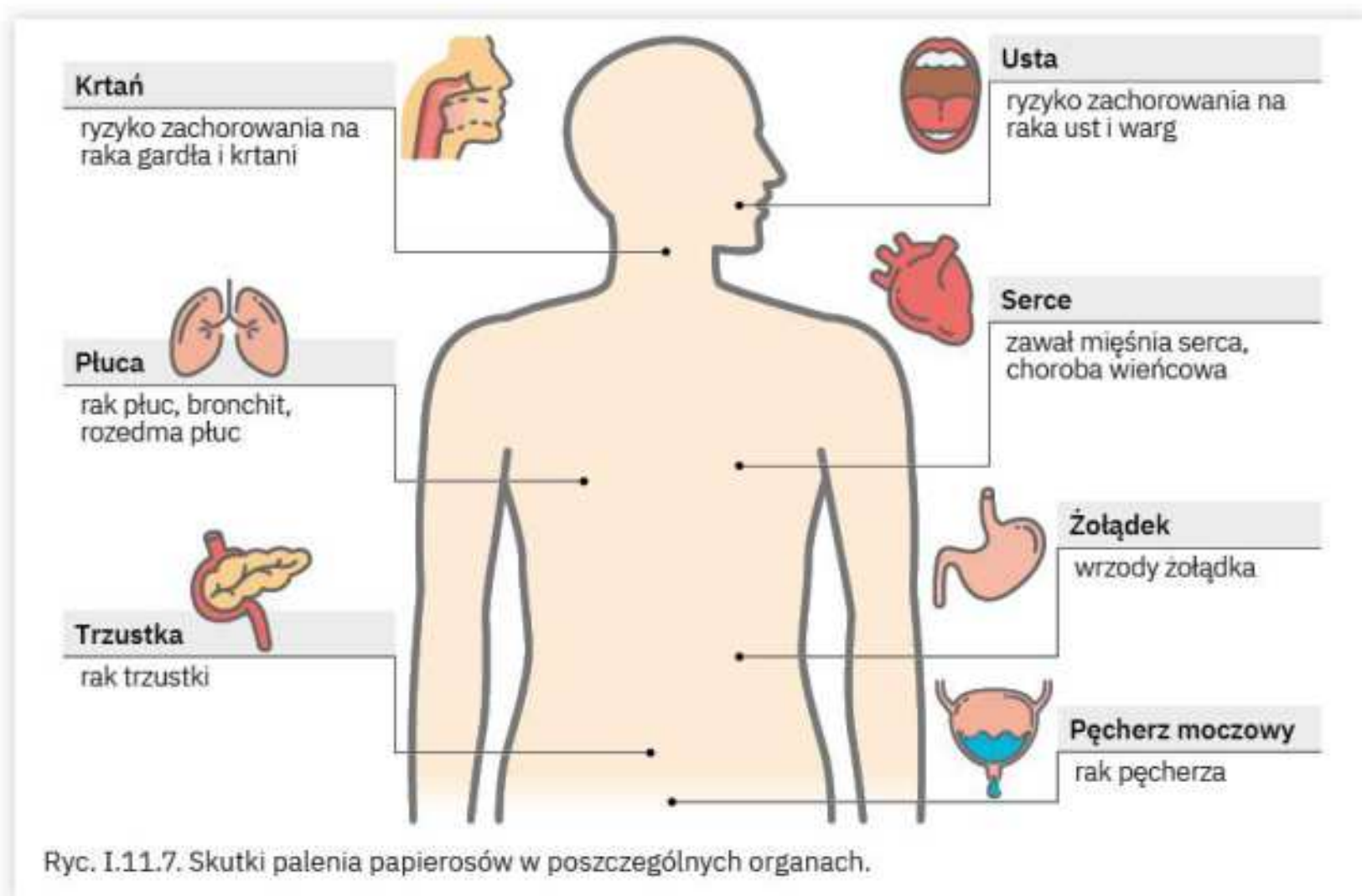
piersiowej oraz bóle głowy, duszności, astmę, bronchit, zaostrzenie przewlekłego zapalenia oskrzeli, a ponadto zwiększa ryzyko zapadalności na nowotwory płuc. Szczególnie groźny jest dla osób starszych i dzieci. U noworodków, których matki w ciąży były narażone na smog, stwierdzono mniejszą masę urodzeniową. Bardzo niebezpieczne jest zatrucie **tlenkiem węgla** (czadem) – bezwonny i bezbarwny gazem, którego zdolność do łączenia się z hemoglobina wynosi ok. **200 razy** więcej niż tlenu. Czad powstaje w procesie spalania węgla i innych paliw, podczas pożarów, a także w domowych urządzeniach grzewczych, gdy brakuje wystarczającej ilości tlenu.

Istotne zatem jest utrzymanie wentylacji pomieszczeń w celu zachowania odpowiedniego stężenia tlenu, co pozwala na właściwe oddychanie. Obniżenie stężenia tlenu do **ok. 90 mm Hg** powoduje u człowieka niedotlenienie, które objawia się przerywanym oddechem, ospałością, osłabieniem, a jeśli brak tlenu się pogłębia, może to doprowadzić do uduszenia.

Niebezpieczny dla układu oddechowego jest także **azbest** – włóknisty minerał do niedawna stosowany w budownictwie. Wdychane drobiny azbestu gromadzą się w płucach i są przyczyną pylicy azbestowej, nowotworów krtani i płuc. W przypadku osób pracujących w kopalniach antracytu, bitumitu, węgla kamiennego i brunatnego występuje duże ryzyko pylicy węglowej (uznanej za chorobę zawodową).

Groźnym zanieczyszczeniem gazowym jest **benzopiren** – produkt przeróbki węgla, składnik spalin samochodowych i dymu papierosowego. Związek ten ma silne właściwości rakotwórcze. Bardzo niebezpieczne dla zdrowia jest palenie papierosów. W **dymie tytoniowym** znajduje się ok. 400 związków chemicznych, z których większość jest toksyczna, kilkadziesiąt ma działanie rakotwórcze, a kilkanaście to pierwiastki metali ciężkich (m.in. ołów, kobalt, nikiel, kadm, rtęć). Dzieci są pierwszymi ofiarami palenia tytoniu. Palące w czasie ciąży matki z dymem tytoniowym wprowadzają do rozwijającego się organizmu dziecka trujące związki chemiczne. Takie dzieci wolniej rosną w łonie matki, mają niższą masę urodzeniową o 200–400 g od dzieci matek niepalących, znacznie częściej zapadają na astmę, choroby układu oddechowego czy ucha środkowego. Nikotyna obecna w dymie papierosowym działa na organizm uzależniająco (bardziej niż kokaina). Palenie papierosów niezależnie od wieku ma negatywny wpływ na wiele narządów i układów organizmu człowieka, m.in. na układ sercowo-naczyniowy, śluzówkę układu pokarmowego, pęcherz moczowy, a szczególnie na układ oddechowy (**ryc. 1.11.7.**). Jest przyczyną przewlekłego zapalenia oskrzeli, rozedmy płuc, a także może prowadzić do raka płuc, raka gardła, krtani, warg, ust. Palenie papierosów obniża odporność organizmu na bakterie i wirusy. Papierosy zaopatrzone w filtry ograniczają zawartość substancji toksycznych dla palacza, ale zwiększają ich stężenie w najbliższym otoczeniu, co jest przyczyną tzw. biernego palenia. Krajowy Rejestr Nowotworów ostrzega, że bierne palenie to wdychanie dymu tytoniowego, w którym jest „trzy razy więcej tlenu węgla, ponad 10 razy więcej nitrozamin, 15 razy więcej benzenu i nawet do 70 razy więcej amoniaku niż podczas aktywnego palenia papierosów”.

palenie tytoniu



Dym nikotynowy działa niszcząco na nabłonek wyściełający drogi oddechowe. Komórki nabłonka w reakcji obronnej produkują dużą ilość śluzu i ograniczają ruch rzęsek pokrywających nabłonek. Śluz staje się pożywką dla bakterii, co powoduje infekcje i stany zapalne dróg oddechowych. Z tych powodów opracowano alternatywną wersję papierosów – e-papierosy. Ostatnie badania naukowców ze Stanów Zjednoczonych wskazują na niebezpieczny wpływ takiego sposobu palenia na osoby nieuzależnione od tradycyjnych produktów tytoniowych, szczególnie dzieci i młodzież (ryc. I.11.8.). Należy pamiętać, że każdy wyrób tytoniowy jest równie groźny, niezależnie od tego, czy się pali papierosy, cygara, fajkę czy żuje tytoń.



Ryc. I.11.8. Osoba uzależniona od nikotyny w e-papierosie wdycha aerozol z rozgrzanego roztworu inhalacyjnego z nikotyną.

W powietrzu znajdują się zanieczyszczenia mikrobiologiczne, jak **wirusy i bakterie oraz zarodniki grzybów**. Dostają się one drogą kropelkową do układu oddechowego i wywołują wiele chorób. **Nieżyty nosa i krtani** są wywołane obecnością wirusów lub bakterii. Objawem tych schorzeń jest najczęściej ogólne osłabienie organizmu i ból głowy. Często prowadzą one do przeziębienia, czyli zapalenia górnych dróg oddechowych (skutkującego wystąpieniem takich objawów jak: kaszel, katar, ból głowy i gardła, podwyższona temperatura ciała).

W powietrzu znajdują się zanieczyszczenia mikrobiologiczne, jak **wirusy i bakterie oraz zarodniki grzybów**. Dostają się one drogą kropelkową do układu oddechowego i wywołują wiele chorób. **Nieżyty**



Chorobą wywoływaną przez wirusy jest **grypa**. Jej objawy są bardzo podobne do przeziębienia – wysoka gorączka, ból gardła, katar, dreszcze oraz bóle mięśni i stawów – ale choroba ta szybciej się rozwija (w ciągu 2–3 dni). Prowadzi do bardzo silnego osłabienia organizmu, a niewyleczona przyczynia się do wielu powikłań, takich jak zapalenie zatok, płuc, mięśnia sercowego czy opon mózgowo-rdzeniowych. W przypadku zachorowania należy stosować się do zaleceń lekarza i przyjmować środki przeciwgorączkowe, a w przypadku powikłań wdrożyć leczenie antybiotykami. Skuteczną profilaktyką jest stosowanie corocznych szczepień ochronnych, ponieważ wirus często ulega mutacjom. Szczepienia nie dają pełnej gwarancji zabezpieczenia przed chorobą, ale w przypadku jej pojawienia się przebieg jest bardzo łagodny.

Chorobą przenoszoną drogą kropelkową i wywoływaną przez bakterie, wirusy i grzyby jest **zapalenie płuc**, czyli pęcherzyków płucnych (**ryc. I.11.9.**).



Ryc. I.11.9. Bakteria – dwójka zapalenia płuc.

W pęcherzykach tworzy się płyn, co powoduje zmniejszenie powierzchni oddechowej płuc, przyspieszenie oddechu, duszności, kaszel i ból w klatce piersiowej. Leczenie polega na stosowaniu kuracji antybiotykowej, a u dzieci i osób starszych często wymaga hospitalizacji. Zapaleniu płuc mogą towarzyszyć groźne powikłania, jak zapalenie mięśnia sercowego.

Jedną z groźnych chorób układu oddechowego jest **gruźlica**. Wywołują ją bakterie zwane prątkami gruźlicy (**ryc. I.11.10.**).

gruźlica

Chorobą można się zarazić drogą kropelkową poprzez kontakt z osobą chorą lub drogą pokarmową poprzez wypicie mleka zarażonej krowy lub zjedzenie zarażonego mięsa. Czynniki zwiększającymi zachorowalność na gruźlicę są złe warunki mieszkaniowe i niewłaściwe odżywianie się, przebyte choroby, np. cukrzyca, pylica płuc, choroby nowotworowe, AIDS. Gruźlica objawia się suchym kaszlem, często połączonym z krwawymi plwocinami, gorączką, brakiem apetytu, zmęczeniem i chudnięciem, dotkliwym bólem w klatce piersiowej (**ryc. I.11.11.**). Towarzyszący gruźlicy kaszel może uszkodzić pęcherzyki płucne, co ułatwia wnikanie bakterii wywołujących chorobę do różnych narządów wewnętrznych, takich jak nerki i kości. Chorobie skutecznie zapobiegają szczepienia ochronne, które podaje się po urodzeniu. Jeszcze 100 lat temu gruźlica była jedną z najczęstszych przyczyn śmierci na świecie. Zastosowanie leczenia antybiotykami znacznie ograniczyło liczbę chorych. Jednak jest to nadal niezwykle groźna choroba pojawiająca się szczególnie wśród mieszkańców biednych i słabo rozwiniętych krajów na świecie (**ryc. I.11.11.**).



Ryc. I.11.10. Bakterie – prątki gruźlicy – wywołują gruźlicę.



Ryc. I.11.11. Zmiany gruźlicze w płucach. Raport Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) podaje, że w 2014 r. z powodu gruźlicy zmarło 1,1 mln osób, a w tym samym okresie z powodu AIDS śmierć poniosło 1,2 mln osób.

Pojawiające się szczepy bakterii opornych na leczenie antybiotykami mogą stanowić zagrożenie także dla państw o wysokim poziomie rozwoju gospodarczego. W związku z tym bardzo ważne jest profilaktyczne kontrolowanie stanu płuc podczas badań okresowych. W zwalczaniu gruźlicy istotne są również badania weterynaryjne zwierząt w celu wyeliminowania zakażeń odzwierzęcych.

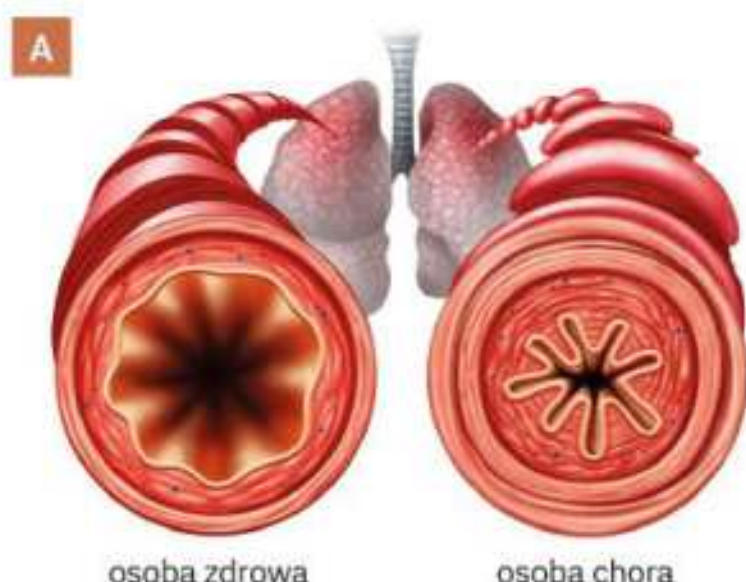


Ryc. I.11.12. Skórożarłoczek skryty (*Dermatophagoides pteronyssinus*) – roztocz, który żyje w bezpośrednim otoczeniu człowieka i powoduje astmę oskrzelową.

Alergie (na pyłki roślin i zarodniki grzybów, sierść zwierząt, odchody roztoczy) i zanieczyszczenia powietrza mogą doprowadzić do powstania **astmy (dawniej zwanej dychawicą)** (ryc. I.11.12.).

Na skutek tych czynników pojawiają się trudności w oddychaniu wywołane zwężaniem światła oskrzeli w wyniku ich stanu zapalnego i gromadzenia się śluzu na ich wewnętrznej powierzchni. Astmie towarzyszą ataki duszności, zwłaszcza w godzinach nocnych, oraz

silny kaszel, świszczący oddech, uczucie ściskania w klatce piersiowej. U niektórych osób schorzenie to pojawia się po infekcji dróg oddechowych. Atakom duszności sprzyjają: lęk, stres, intensywne ćwiczenia fizyczne na powietrzu i w niskiej temperaturze, a także zadymione pomieszczenia. Leczenie polega między innymi na podawaniu leków rozszerzających oskrzela i unikaniu czynników powodujących ataki duszności (ryc. I.11.13.).



Ryc. I.11.13. U osoby chorej światło oskrzeli jest zwężone w porównaniu z osobą zdrową (A). Leki podawane drogą wziewną dostają się bezpośrednio do dróg oddechowych, nie obciążając całego organizmu (B).

Rak płuc to jeden z najczęściej występujących nowotworów złośliwych na świecie, a spośród nowotworów występujących u mężczyzn jest najczęstszą przyczyną śmierci. W Polsce rak płuc zajmuje pierwsze miejsce co do częstości występowania u mężczyzn (rocznie odnotowuje się ok. 15 000 nowych zachorowań) i drugie (po raku piersi) wśród nowotworów złośliwych u kobiet (ok. 7000 nowych przypadków rocznie). W ciągu ostatnich lat obserwuje się zmniejszenie liczby nowych zachorowań wśród mężczyzn, przy jednoczesnym wzroście zachorowalności kobiet. Oprócz mutacji genetycznych ok. 90% wszystkich zachorowań na ten nowotwór jest spowodowane długotrwałym paleniem tytoniu. Ryzyko wystąpienia choroby wzrasta wraz z liczbą wypalonych papierosów. Choroba ta rozwija się nie tylko u osób palących, lecz także coraz częściej pojawia się u osób niepalących (ok. 15% wszystkich zachorowań). We wczesnym etapie choroby nowotwór nie daje żadnych objawów. Na późniejszym etapie pojawiają się kaszel, chrypka, duszności, krwiotłucie, bolesność w klatce piersiowej.

rak płuc

Rak płuc jest najczęściej rozpoznawany w stadium zaawansowanym, co zmniejsza szanse na wyleczenie. Leczenie polega na usunięciu chirurgicznie zmienionych nowotworowo tkanek oraz stosowaniu chemioterapii (podawaniu związków chemicznych niszczących komórki nowotworowe) i radioterapii (naświetlaniu promieniowaniem jonizującym o dużej energii). Coraz częściej przeprowadza się leczenie za pomocą immunoterapii (czyli stosowania preparatów przeciwciał monoklonalnych). Rozwój tej choroby w dużej mierze zależy od trybu życia – ryzyko jego pojawienia się spada dzięki zaprzestaniu palenia papierosów i unikaniu towarzystwa osób palących. Palenie papierosów oprócz raka płuc może powodować nowotwory jamy ustnej, gardła i krtani.

W **profilaktyce chorób układu oddechowego** bardzo duże znaczenie mają badania profilaktyczne, takie jak prześwietlenie klatki piersiowej (RTG), spirometria i bronchoskopia.

profilaktyka
chorób układu
oddechowego



Rentgen klatki piersiowej polega na krótkotrwałym napromieniowaniu promieniami rentgenowskimi. Jest to badanie nieinwazyjne pozwalające na uzyskanie obrazu dróg oddechowych, płuc, a także fragmentów kręgosłupa, serca oraz kości klatki piersiowej. Wykonuje się je w przypadku stwierdzonych duszności, niepokojącego, utrzymującego się długo kaszlu, bólu w okolicach klatki piersiowej, krwawień z prze-



Ryc. I.11.14. Badanie RTG najczęściej wykonuje się profilaktycznie co 2 lata, natomiast u nałogowych palaczy i osób pracujących w szkodliwych warunkach powinno się powtarzać je raz do roku.

łyku czy podczas kaszlu. Prześwietlenie klatki piersiowej ułatwia diagnostykę chorób układu oddechowego i krążenia, a także zwiększa skuteczność stosowanego leczenia (ryc. I.11.14.). Na podstawie tego badania nie można jednak wykryć zmian nowotworowych o niewielkich rozmiarach ani zatorów w naczyniach płucnych. Wówczas stosuje się bardziej dokładną diagnostykę, np. tomografię komputerową klatki piersiowej.



Uzupełnieniem prześwietlenia klatki piersiowej jest **bronchoskopia** (ryc. I.11.15.). To bezpośrednie badanie krtani, tchawicy i oskrzeli w celu zdiagnozowania przyczyn długotrwałego kaszlu czy krwioplucia. Używa się do niego bronchoskopu – wziernika zakończonego źródłem światła, które ułatwia oglądanie narządów. Podczas tego badania można usunąć wydzielinę, krew, obce ciała lub bezpośrednio wprowadzić leki.

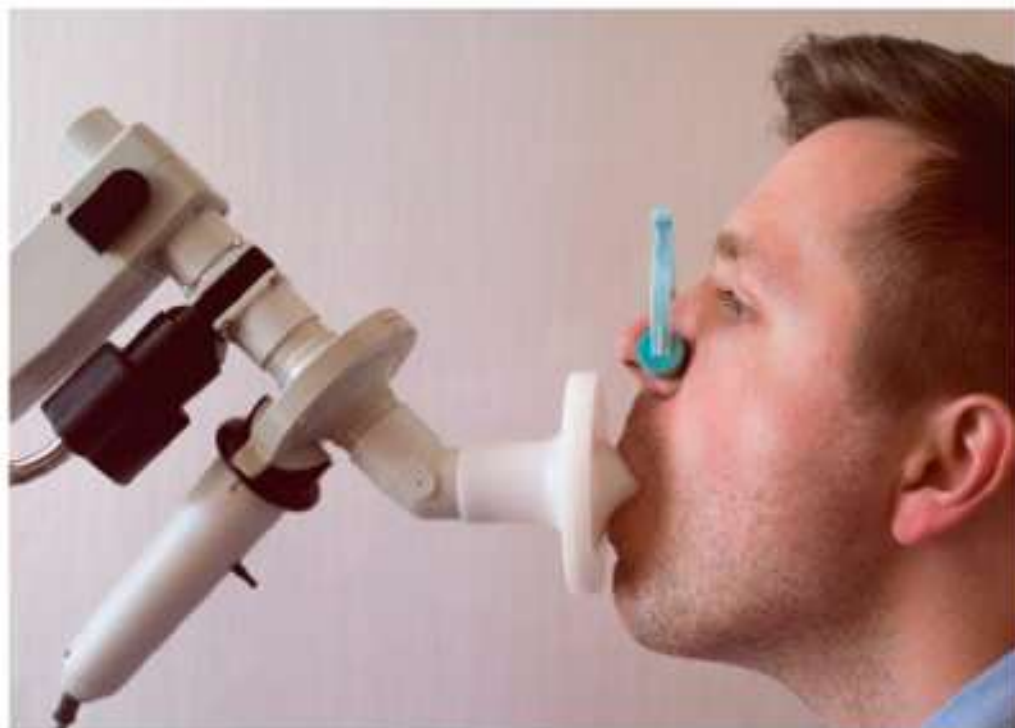


Ryc. I.11.15. Bronchoskopia pozwala na pobranie wycinków tkanki do badania histopatologicznego, bakteriologicznego i cytologicznego. Jest badaniem inwazyjnym, ale dokładna analiza histopatologiczna pozwala na wykrycie zmian nowotworowych układu oddechowego.



Spirometria jest najczęstszym badaniem pracy płuc u osób podejrzanych o astmę oskrzelową i przewlekłą obturacyjną chorobę płuc (POChP). Podczas badania mierzy się pojemność i objętość płuc. U osób chorych są one znacznie zmniejszone (**ryc. I.11.16.**). Jest to badanie diagnostyczne, które pozwala ocenić stan zdrowia pacjenta i ryzyko wystąpienia schorzenia, ale podobnie jak prześwietlenie płuc nie pozwala jednoznacznie wskazać na chorobę nowotworową.

Ryc. I.11.16. Ilość powietrza wydobywającego się z układu oddechowego w czasie, w jakim pacjent potrafi taką objętość wypuścić, mierzymy za pomocą spirometru – aparatu z ustnikiem. Na podstawie wykresu krzywej przepływu i objętości powietrza lekarz ocenia pojemność płuc i przepływ powietrza przez układ oddechowy.



Eksperyment

Analiza składu powietrza wdychanego i wydychanego

Problem badawczy: Jaka jest różnica zawartości dwutlenku węgla w powietrzu wdychanym i wydychanym?

Hipoteza: We wdychanym powietrzu jest mniej dwutlenku węgla niż w powietrzu wydychanym.

Próba badawcza: Do szklanego naczynia wlewamy wodę wapienną. Wkładamy do niej końcówkę szklanej rurki i zaczynamy w nią dmuchać. Obserwujemy zmętnienie wody wapiennej.

Próba kontrolna: Postępujemy podobnie jak w przypadku próby badawczej, ale do naczynia wprowadzamy pompkę do pompowania powietrza i naciskamy na nią. Nie obserwujemy zmętnienia wody wapiennej.

Wynik obserwacji: W próbie badawczej woda wapienna zmętniała. W próbie kontrolnej woda wapienna nie mętnieje.

Wniosek: W powietrzu wydychanym jest większa zawartość dwutlenku węgla niż w powietrzu wdychanym.

Wyjaśnienie: W próbie badawczej nastąpiło zmętnienie wody wapiennej pod wpływem wydychanego z płuc CO_2 (wytworzył się trudno rozpuszczalny węglan wapnia CaCO_3).

W próbie kontrolnej poprzez zastosowanie pompki następuje wypompowywanie powietrza „wchłoniętego”, czyli czystego powietrza z małą zawartością CO_2 , co nie spowoduje zmętnienia wody wapiennej.

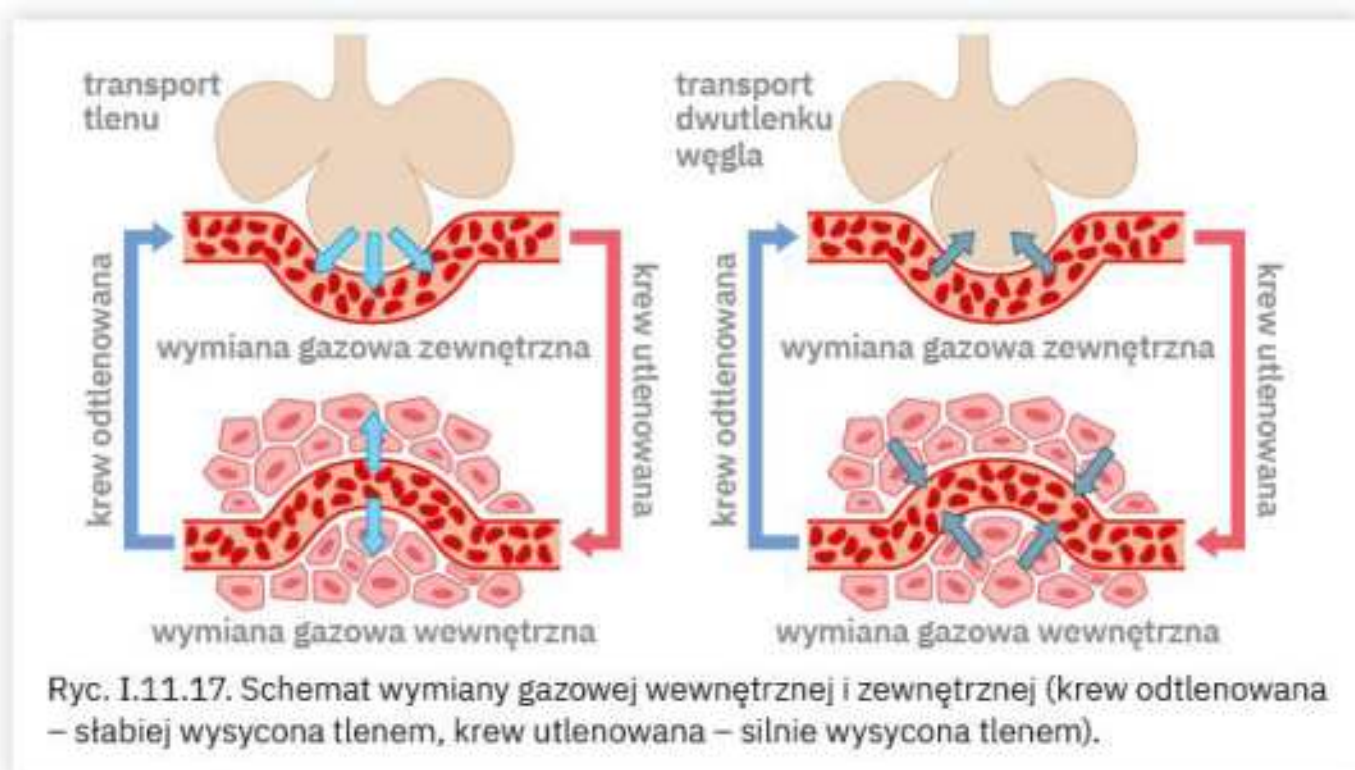
Transport gazów oddechowych

Wymiana gazowa jest wynikiem różnicy ciśnień cząstkowych (parcjalnych) gazów oddechowych i zachodzi ze środowiska o wyższym ciśnieniu do środowiska o niższym ciśnieniu. **Wymiana gazowa zewnętrzna** zachodzi między pęcherzykami płucnymi

wymiana gazowa



a krwią (**ryc. I.11.17.**). Tlen z powietrza wypełniającego pęcherzyki płucne dyfunduje do krwi płynącej w naczyniach włosowatych oplatających pęcherzyki płucne, a dwutlenek węgla – w kierunku przeciwnym.

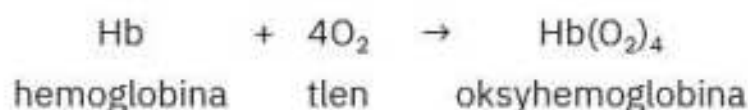


Wymiana gazowa wewnętrzna przebiega między komórkami a krwią. Krew z płuc po wysyceniu tlenem odprowadzana jest do lewej komory serca, skąd jest kierowana do tkanek ciała, gdzie oddaje tlen niezbędny do oddychania komórkowego, a pobiera powstający podczas tego procesu dwutlenek węgla.

Ciśnienie parcjalne (cząstkowe) tlenu jest większe w pęcherzyku płucnym niż we krwi naczyń włosowatych. W związku z tym cząsteczki tlenu łatwiej przenikają przez ścianę pęcherzyka płucnego, rozpuszczając się w osoczu i dyfundując do erytrocytów.

W erytrocytach czerwony barwnik – **hemoglobina** – nietrwale łączy się z tlenem w procesie zwanym **utlenowaniem** (dla odróżnienia od trwałego utleniania ze zmianą wartościowości żelaza zawartego w centrum aktywnym hemoglobiny).

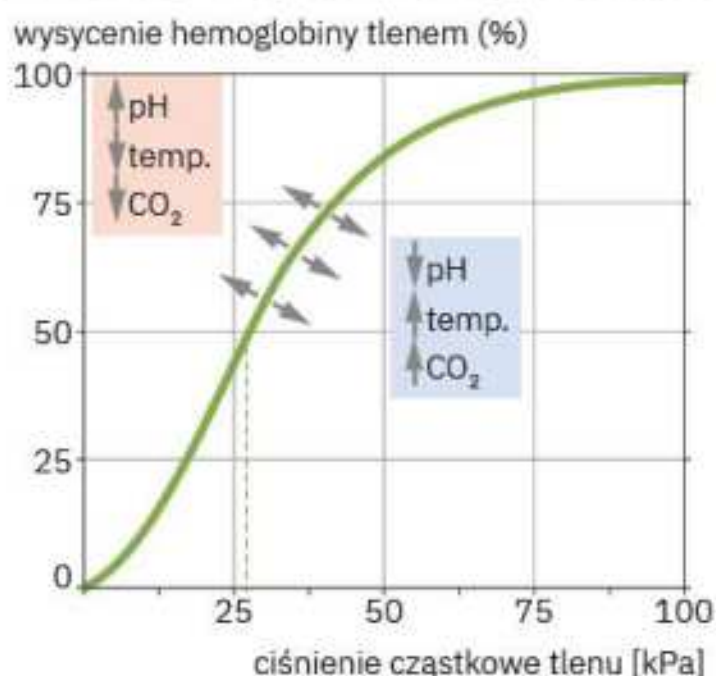
Połączenie hemoglobiny z tlenem nazywamy **oksyhemoglobina** (HbO_2).



Oksyhemoglobina wiąże 97% tlenu. Krew z tlenem (tętnicza) ma zabarwienie jasnoczerwone.



Zdolność wiązania hemoglobiny z tlenem zależy od pH, temperatury i stężenia dwutlenku węgla (**ryc. I.11.18.**). Najlepsze warunki do przyłączania tlenu do hemoglobiny panują w płucach – to wysokie pH i dość niska temperatura. W tkankach, gdzie pH jest niskie, a temperatura wysoka, cząsteczka tlenu odrywa się od hemoglobiny i dyfunduje bezpośrednio do komórek, gdzie jest wykorzystywana do oddychania komórkowego.

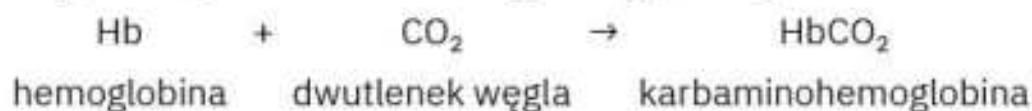


Ryc. I.11.18. Porównanie tempa uwalniania tlenu z hemoglobiny w zależności od pH, temperatury i stężenia dwutlenku węgla. Dwutlenek węgla łączy się w osoczu krwi z wodą, tworząc kwas węglowy, który powoduje zakwaszenie krwi (spadek pH). W takim środowisku hemoglobina łatwiej oddaje tlen. Prawa strona wykresu przedstawia czynniki sprzyjające wiązaniu tlenu, a lewa strona – czynniki sprzyjające oddawaniu tlenu przez hemoglobinę (↑ – wzrost, ↓ – spadek).

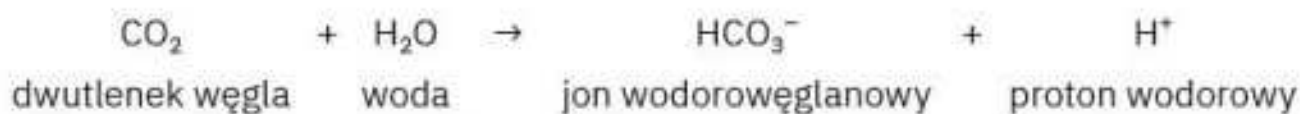
Cząsteczki dwutlenku węgla dyfundują odwrotnie, z komórek ciała do krwi, a następnie z osocza krwi do pęcherzyka płucnego, gdzie są usuwane z wydychanym powietrzem.

Większe ciśnienie parcjale dwutlenku węgla w tkankach niż w osoczu krwi powoduje jego przenikanie do krwi. Dwutlenek węgla jest transportowany w różnych postaciach:

- Około 20% dwutlenku węgla przechodzi do erytrocytów, gdzie łączy się z hemoglobiną, tworząc **karbaminohemoglobinę** (HbCO_2).

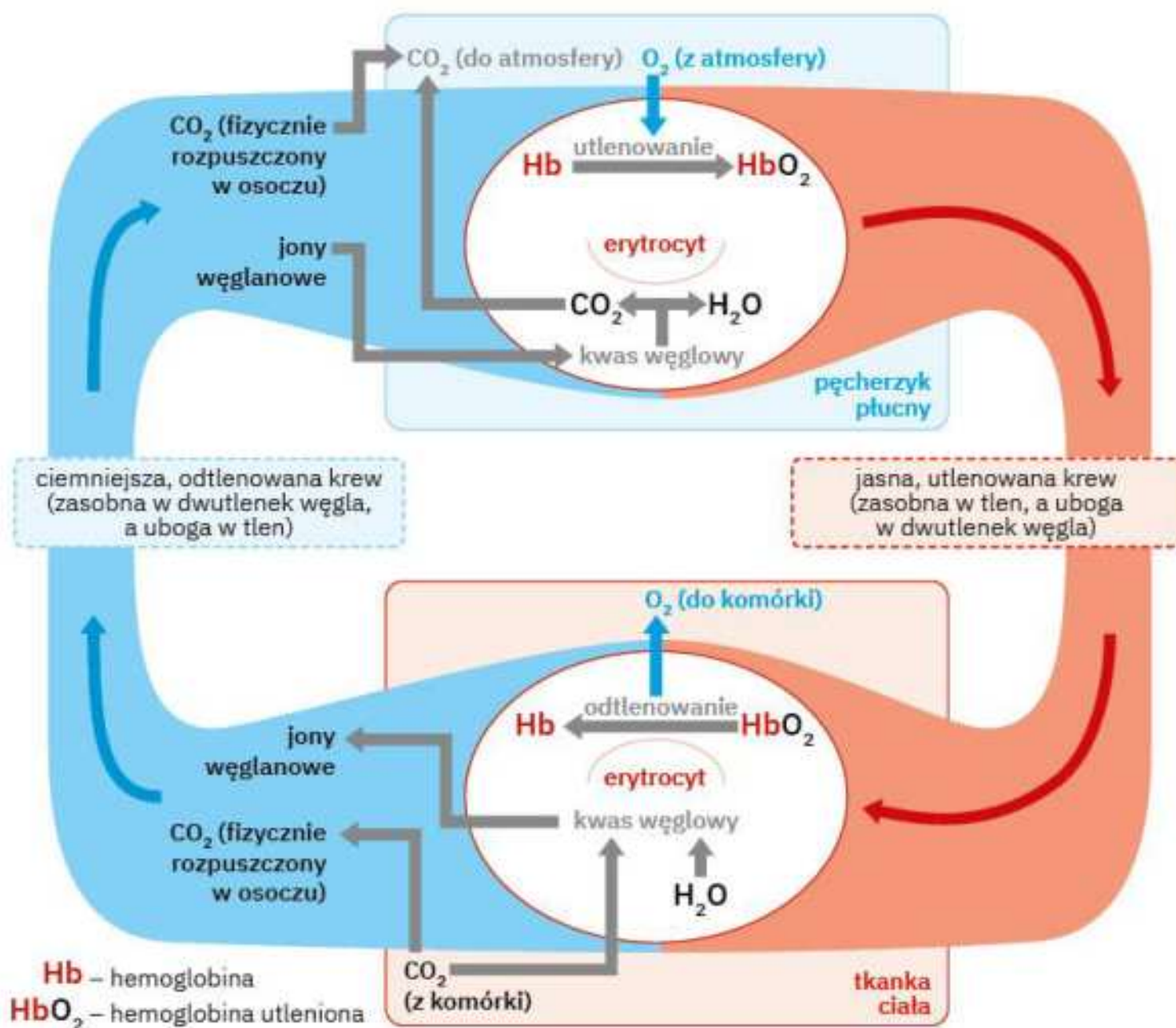


- Około 70% dwutlenku węgla jest transportowane w postaci **jonów wodorowęglanowych**, które są efektem dysocjacji kwasu węglowego; kwas węglowy powstaje po wnikięciu dwutlenku węgla do erytrocytu i połączeniu z wodą, powstałe aniony wodorowęglanowe przenikają do osocza, reakcja syntezy kwasu węglowego zachodzi dzięki enzymowi – **anhydrazie węglanowej** zawartej w cytoplazmie erytrocytów.



W płucach z jonów wodorowęglanowych i protonów wodorowych powstaje nietrwały kwas węglowy, który natychmiast się rozpada, uwalniając dwutlenek węgla i wodę, a z cząsteczki karbaminohemoglobiny są uwalniane dwutlenek węgla i woda. W wyniku tych reakcji dwutlenek węgla wydostaje się z powietrzem wydychanym z płuc na zewnątrz.

- Około 10% dwutlenku węgla jest rozpuszczone fizycznie w osoczu krwi (ryc. I.11.19.).



Ryc. I.11.19. Transport gazów oddechowych w tkankach ciała i płucach.

W komórkach mięśni występuje **mioglobina**, która wiąże się odwracalnie z tlenem i stanowi jego zapas przy intensywnej pracy mięśni. Mioglobina ma większe powinowactwo z tlenem niż hemoglobina. Kiedy krew z tlenem przepływa przez mięśnie, następuje odłączenie tlenu od hemoglobiny i wiązanie z mioglobiną. W warunkach niskiego ciśnienia cząstkowego tlenu w mięśniach mioglobina uwalnia tlen.

Zmiana ciśnienia atmosferycznego pociąga za sobą zmianę ciśnień cząstkowych gazów oddechowych. Wraz ze wzrostem wysokości nad poziomem morza obserwuje się spadek ciśnienia poszczególnych gazów w powietrzu. Mieszkańcy nizin mogą bezpiecznie przebywać na terenach do wysokości 2500 m n.p.m. Powyżej tej wysokości organizm człowieka reaguje na takie warunki, zwiększając częstość oddechów w celu poprawienia wentylacji płuc, a także zwiększa się częstość skurczów serca, aby usprawnić transport krwi. Następuje również zwiększona produkcja erytrocytów i hemoglobiny.

Bardzo niebezpieczne dla organizmu człowieka są także zmiany ciśnienia podczas nurkowania (ryc. I.11.20.). U człowieka schodzącego na dużą głębokość w tkankach gromadzi się azot, który przy przekroczeniu 30 m poniżej poziomu morza ma działa-



nie podobne do alkoholu. Podczas gwałtownego wynurzania się następuje blokada przepływu krwi w naczyniach krwionośnych przez tworzące się zatory gazowe (tzw. **choroba dekompresyjna** lub kesonowa). Mogą one uszkodzić naczynia krwionośne.



Ryc. I.11.20. Nurkowanie niesie ze sobą ryzyko choroby dekompresyjnej.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

- Wyjaśnij, jakie znaczenie dla efektywnej wymiany gazowej ma budowa płuc.
- Omów funkcję surfaktantu w pęcherzykach płucnych.
- Sporządź w zeszycie tabelę, w której zestawisz budowę nabłonka wyściełającego drogi oddechowe z pełnioną funkcją.
- Porównaj budowę oraz funkcję krtani u kobiet i mężczyzn.
- Wytłumacz różnice między oddychaniem piersiowym i brzuszny.
- Wyjaśnij wpływ pH krwi na regulację szybkości oddychania.
- Przerysuj do zeszytu tabelę i scharakteryzuj w niej podane choroby zakaźne układu oddechowego.



Choroba	Czynnik wywołujący	Charakterystyczne objawy	Drogi zakażenia
grypa			
zapalenie płuc			
gruźlica			

- Uporządkuj wymienione elementy układu oddechowego człowieka w kolejności przepływu powietrza do płuc. Odpowiedź zapisz w zeszycie.
pęcherzyk płucny, oskrzele główne, krtani, oskrzelik, gardło, jama nosowa, tchawica
- Wykonaj jedno z doświadczeń opisanych na stronach 393–395 podręcznika.



PODSUMOWANIE LEKCJI

- s. 89 Podstawową funkcją układu oddechowego jest **wymiana gazowa** i udział w transporcie powietrza. Układ oddechowy składa się z dróg oddechowych: jamy nosowej, gardła, krtani, tchawicy, oskrzeli i narządu oddechowego – płuc.
- s. 89 **Wentylacja płuc** polega na czynnym wdechu i biernym wydechu; procesy te zachodzą dzięki pracy m.in. przepony i mięśni międzyżebrowych zewnętrznych, których skurcze zmieniają objętość klatki piersiowej.
- s. 89 W płucach zachodzi **wymiana gazowa między powietrzem a krwią**, tlen łączy się nietrwale z hemoglobina podczas procesu utlenowania, tworząc oksyhemoglobinę. W komórkach ciała oksyhemoglobina oddaje tlen, a pobiera część dwutlenku węgla w postaci karbaminohemoglobiny. Pozostała część dwutlenku węgla jest transportowana przez osocze krwi.
- s. 90 Do najczęstszych **chorób układu oddechowego** należą: grypa, przeziębienie i zapalenie płuc.
- s. 90 Choroby układu oddechowego są wynikiem stale wzrastającego **zanieczyszczenia powietrza**.
- s. 93 W ostatnich latach notuje się wyższą liczbę osób chorujących na **gruźlicę**.
- s. 91 **Palenie tytoniu** jest szczególnie zagrażającym zdrowiu nalogiem prowadzącym do wielu chorób, m.in. raka płuc, krtani, warg. Równie niebezpieczne jest tzw. bierne palenie.
- s. 95 **Rak płuc** jest najczęstszym nowotworem złośliwym na świecie i w Polsce. W jego leczeniu stosuje się metody operacyjne, radioterapię i chemioterapię.
- s. 95 Do **profilaktyki chorób układu oddechowego** zalicza się zmniejszenie zanieczyszczenia powietrza, dbałość o higienę osobistą, niepalenie tytoniu i przeprowadzanie badań kontrolnych.

12. Budowa układu krwionośnego

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz budowę układu krążenia;
- zapoznasz się z automatyzmem pracy serca;
- dowiesz się, jaki związek istnieje między stylem życia a chorobami układu krążenia.

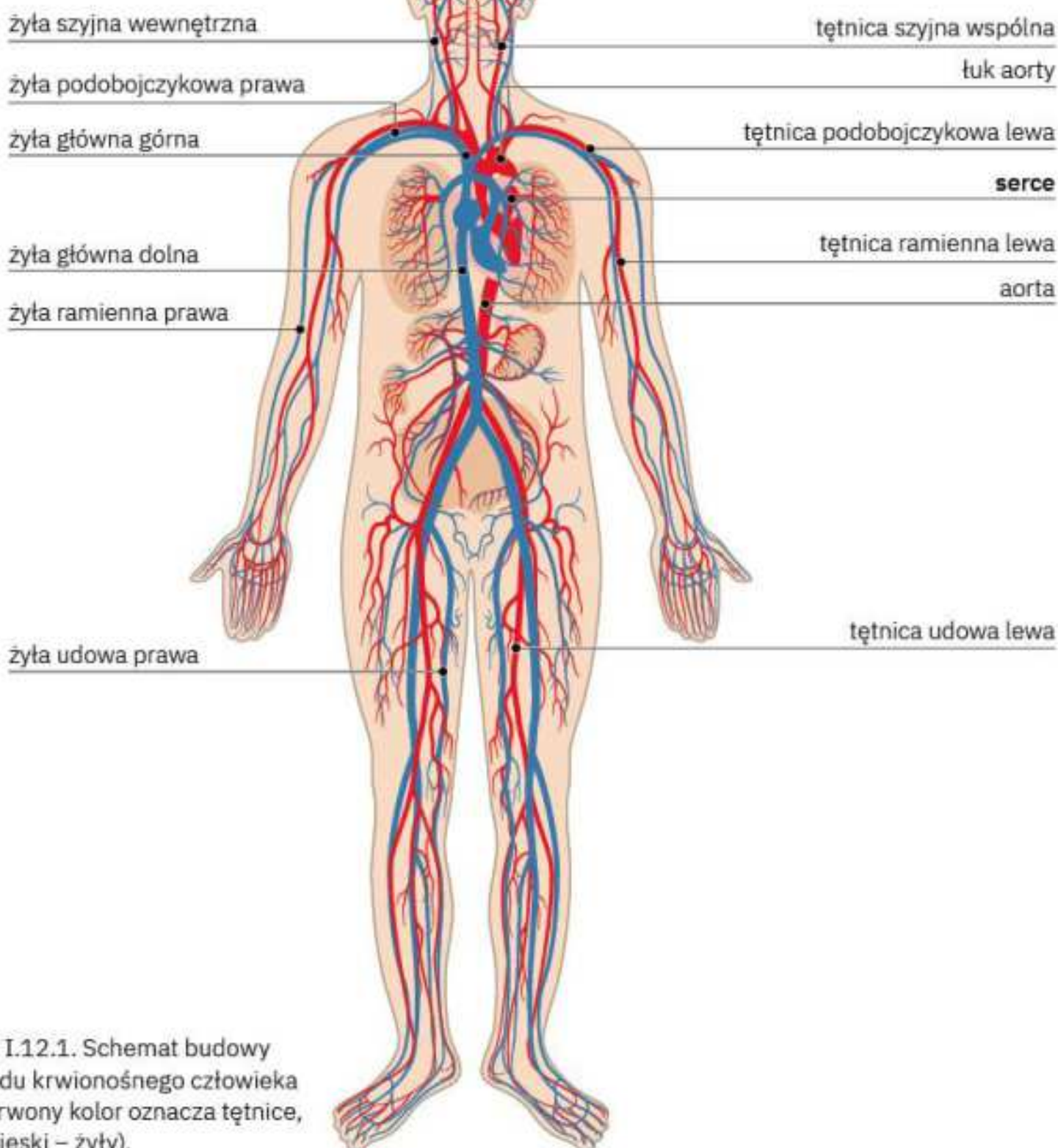
układ krążenia

Układ krążenia przenosi tlen, substancje odżywcze, komórki obronne, hormony, a odprowadza dwutlenek węgla i szkodliwe produkty przemiany materii. Ponadto odpowiada za regulację temperatury wszystkich płynów ustrojowych i tkanek. Składa się z **układu krwionośnego** i współpracującego z nim **układu limfatycznego**. Układ krwionośny jest zbudowany z serca i naczyń krwionośnych: **tętnic**, **żył** i **naczyń włosowatych** (kapilarnych) (ryc. I.12.1.). Ponieważ krew krąży tylko w sercu i naczyniach krwionośnych, układ krwionośny jest układem zamkniętym.



niektóre żyły prawej strony ciała

niektóre tętnice lewej strony ciała



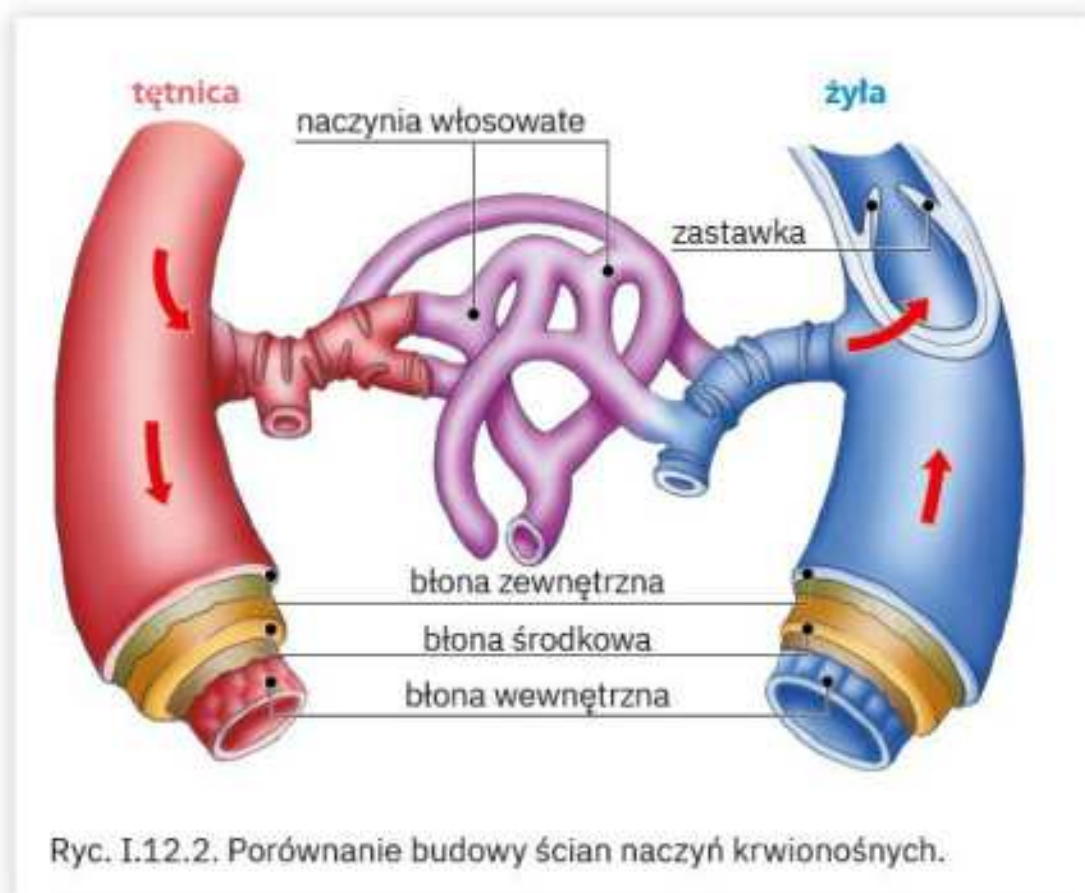
Ryc. I.12.1. Schemat budowy układu krwionośnego człowieka (czerwony kolor oznacza tętnice, niebieski – żyły).

Rodzaje naczyń krwionośnych

W układzie krwionośnym człowieka wyróżnia się trzy rodzaje naczyń krwionośnych: **żyły**, **tętnice** i **naczynia włosowate**. Ściany naczyń krwionośnych są zbudowane z trzech warstw: błony zewnętrznej, błony środkowej i błony wewnętrznej. Błone zewnętrzną tworzy tkanka łączna, środkową – mięśniowa gładka, a wewnętrzną – nabłonek jednowarstwowy płaski (tzw. śródbłonek). Różnice w wykształceniu tych warstw wynikają z funkcji, jaką pełnią poszczególne naczynia krwionośne.



Tętnice transportują krew z serca do wszystkich tkanek organizmu. Dwie największe tętnice: tętnica płucna i aorta wychodzą z serca, a następnie rozgałęziają się na mniejsze tętnice, które wewnątrz tkanek i narządów przechodzą w tętniczki doprowadzające krew do naczyń włosowatych. Ciśnienie krwi w tętnicach głównych ma najwyższą wartość i zmniejsza się w miarę oddalania się od serca. Ruch krwi w tętnicach jest wywołany skurczem serca i dlatego trójwarstwowe ściany tętnic są elastyczne i mocne (zawierają grubą warstwę tkanki łącznej), aby wytrzymać wysokie ciśnienie krwi (**ryc. I.12.2.**). W warstwie zewnętrznej znajduje się dużo włókien sprężystych, które zabezpieczają tętnice przed zapadaniem się, a w środkowej części rozbudowana warstwa mięśni gładkich umożliwia zwężanie i rozszerzanie tętnic.



Ryc. I.12.2. Porównanie budowy ścian naczyń krwionośnych.

Żyłami krew wraca z tkanek do serca. Ściany żył, podobnie jak ściany tętnic, są trójwarstwowe, ale ze względu na niskie ciśnienie płynącej przez nie krwi są wiotkie i cienkie. Zawierają mniej włókien sprężystych i słabo wykształconą warstwę mięśni gładkich (**ryc. I.12.2.**). Światło żył jest większe od światła tętnic.

W celu zapobiegania cofaniu się krwi w warstwie wewnętrznej ścian dużych żył powstały parzyste fałdy – tzw. **zastawki**. Ich obecność jest szczególnie ważna w żyłach kończyn dolnych, gdzie krew płynie ku górze wbrew działaniu siły ciężkości (**ryc. I.12.3.**).



Ryc. I.12.3. Z uszkodzonego naczynia żylnego krew wypływa powoli, a z tętnicy bardzo gwałtownie. Aby zahamować jej wypływ, należy ucisnąć tętnicę między raną a sercem.

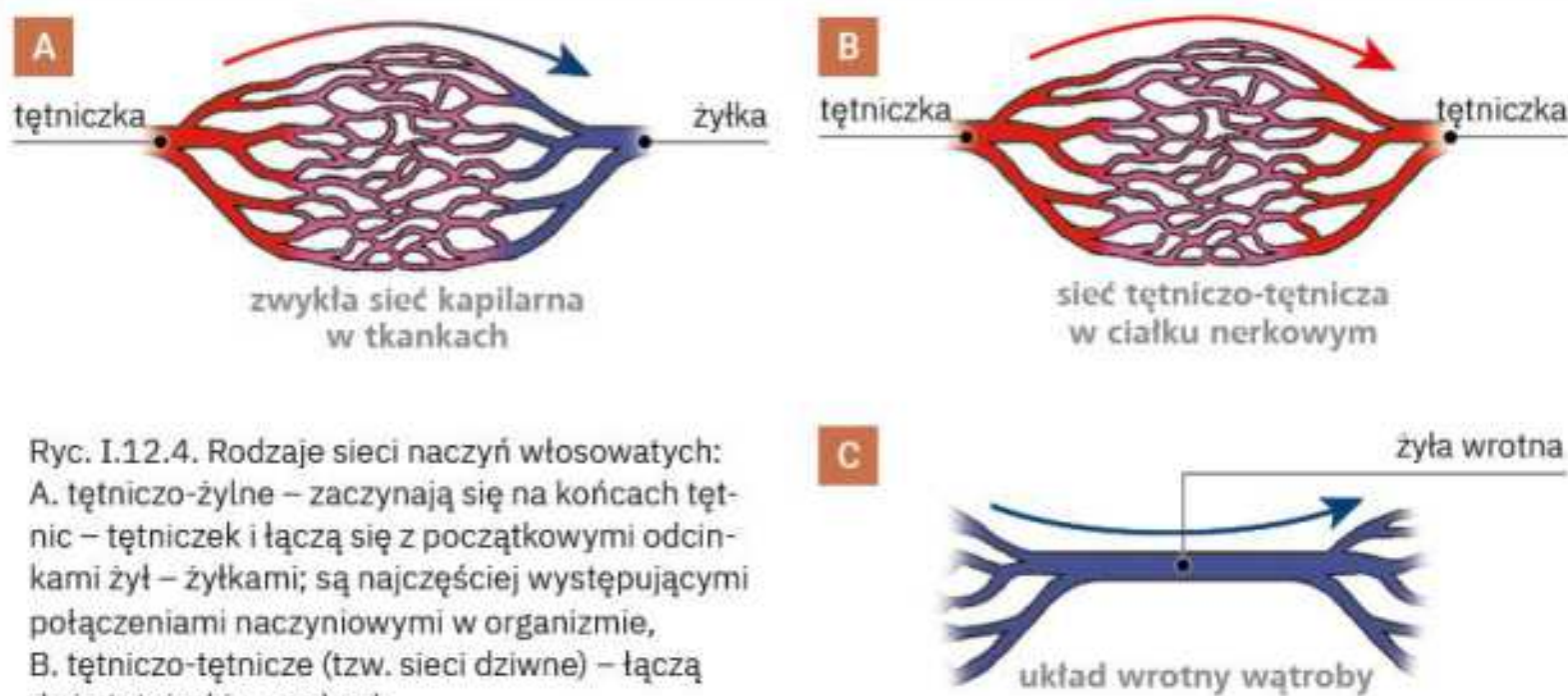
naczynia
włosowate

Naczynia włosowate są najmniejszymi naczyniami układu krwionośnego. Docierają one do wszystkich tkanek ciała i tworzą gęstą sieć (ok. 100 000 km). Największa odległość naczynia od komórki nie przekracza 25 μm , a ich średnica jest niewiele większa od średnicy przepływających w nich erytrocytów. Ściany naczyń włosowatych buduje jedna warstwa płaskich komórek **śródbłónka**. Są one cienkie,



a krew przepływa bardzo powoli, co stanowi przystosowanie do pełnionej funkcji. Naczynia włosowate dostarczają komórkom tlen, składniki odżywcze i hormony oraz odbierają z nich zbędne substancje, np. dwutlenek węgla i azotowe produkty przemiany materii. Największą sieć naczyń włosowatych mają narządy, w których zachodzą intensywne procesy przemiany materii i energii, np. wątroba.

W niektórych narządach naczynia włosowate mogą tworzyć specyficzne sieci **naczyń włosowatych** (ryc. I.12.4.).



Ryc. I.12.4. Rodzaje sieci naczyń włosowatych:
A. tętniczo-żylna – zaczynają się na końcach tętnic – tętniczek i łączą się z początkowymi odcinkami żył – żyłkami; są najczęściej występującymi połączeniami naczyniowymi w organizmie,
B. tętniczo-tętnicza (tzw. sieci dziwne) – łączą dwie tętniczki w nerkach,
C. żylna-żylna (tzw. układy wrotne) – sieć naczyń włosowatych dwóch narządów połączona jednym naczyniem (sieć jelita cienkiego łączy się żyłą wrotną z siecią wątroby).

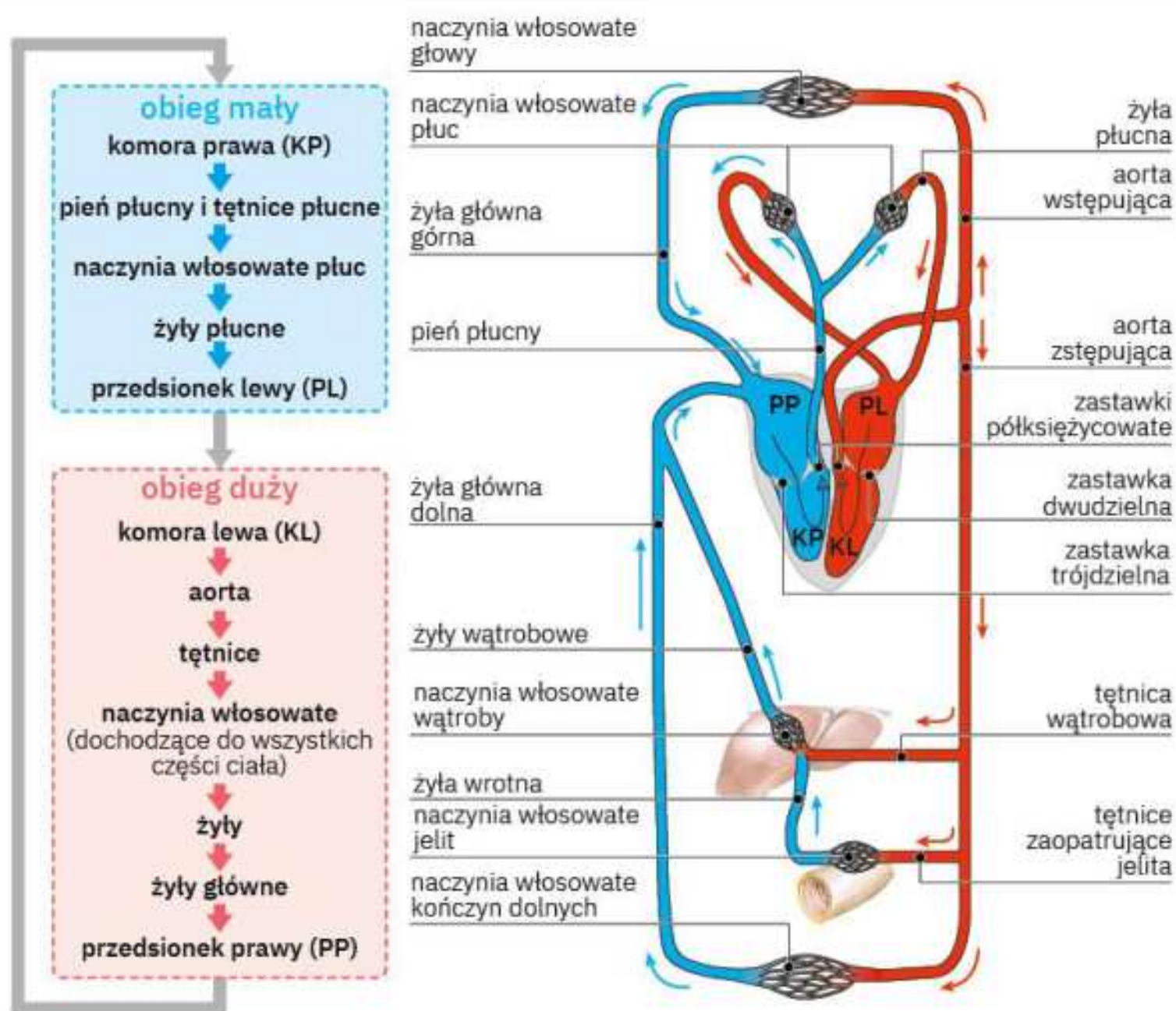
Krążenie krwi

krążenie krwi

W układzie krwionośnym wyróżnia się dwa krwiobiegi: duży (obwodowy) i mały (płucny) (ryc. I.12.5.).

W krwiobiegu dużym krew utlenowana tętnicami przepływa z serca do wszystkich komórek organizmu, a z powrotem odtlenowana wraca żyłami z tkanek do serca. Krwiobieg rozpoczyna się w lewej komorze serca, z której krew wtłaczana jest do aorty, przepływa przez wszystkie narządy i po wymianie gazowej (oddaje tlen, a pobiera dwutlenek węgla) w tkankach wraca do prawego przedsionka serca. Krwiobieg ten umożliwia dostarczenie do wszystkich komórek tlenu i usunięcie z nich dwutlenku węgla i produktów przemiany materii.

W krwiobiegu małym krew odtlenowana systemem tętnic płucnych dociera do płuc i po wymianie gazowej – utlenowana – wraca żyłami płucnymi z płuc do serca. Krwiobieg rozpoczyna się w prawej komorze serca, z której krew płynie do płuc, gdzie oddaje dwutlenek węgla, pobiera tlen i po wymianie gazowej wraca do lewego przedsionka serca. Krwiobieg mały umożliwia wymianę gazową w płucach i utlenowanie krwi.



Ryc. I.12.5. Schemat krążenia krwi w krwiobiegu dużym i małym.

Budowa serca

serce

Serce leży w środkowej części klatki piersiowej. U dorosłego człowieka to narząd o kształcie stożka i wielkości zaciśniętej pięści, o przeciętnej masie 0,5 kg. Serce jest otoczone przez **osierdzie** zbudowane z tkanki łącznej. Wnętrze serca składa się z czterech jam: prawego i lewego przedsionka oraz prawej i lewej komory (**ryc. I.12.6.**). Przedsionki oddziela od siebie przegroda międzyprzedsionkowa, a komory – przegroda międzykomorowa. W przegrodach nie ma otworów, co powoduje, że krew przepływająca przez część lewą i prawą serca się nie miesza.

Na granicy między komorami serca a wychodzącymi z nich naczyniami krwionośnymi znajdują się **zastawki**, które zapobiegają cofaniu się krwi w czasie rozkurczu do komór.

**Aorta**

– największa tętnica wychodząca z serca, która rozgałęzia się na mniejsze tętnice doprowadzające krew utlenowaną do głowy i reszty ciała

Żyła główna górna

– transportuje odtlenowaną krew z głowy i ciała do prawego przedsionka

Prawy przedsionek

– transportuje odtlenowaną krew z żył głównych do prawej komory serca

zastawka trójdzielna

Prawa komora

– transportuje odtlenowaną krew do pnia płucnego

Pień płucny

– rozdziela się na dwie tętnice płucne, którymi krew odtlenowana płynie do płuc

Żyły płucne lewe

– transportują krew z lewego płuca do lewego przedsionka

Lewy przedsionek

– tłoczy krew do lewej komory

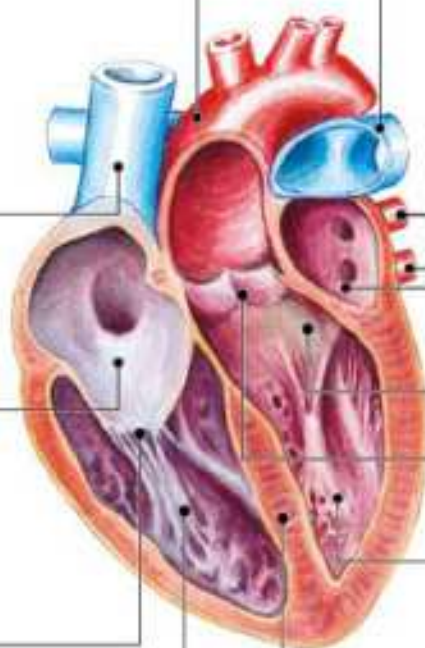
zastawka mitralna (dwudzielna)

zastawka aortalna

Lewa komora

– transportuje utlenowaną krew przez aortę do głowy i ciała pod bardzo dużym ciśnieniem i dlatego jej ściana jest trzy razy grubsza (ok. 15 mm) od ściany prawej komory

przegroda międzykomorowa

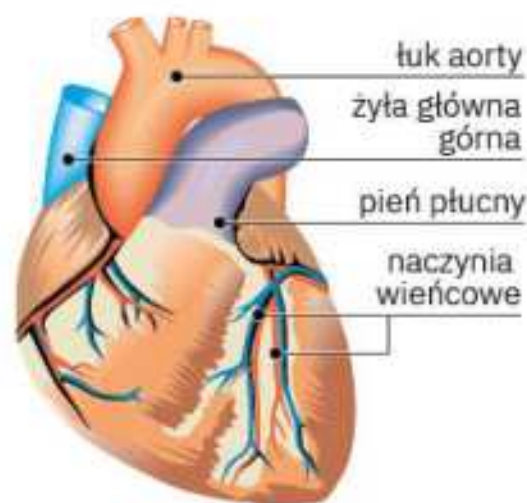


Ryc. I.12.6. Schemat budowy serca.

Serce ma własny system naczyń krwionośnych, tzw. **system naczyń wieńcowych** (ryc. I.12.7.). Zadaniem jest zaopatrzenie serca w krew. Tętnice wieńcowe odgałęziające się od aorty w postaci drobnych naczyń doprowadzają krew utlenowaną i substancje odżywcze w głąb mięśnia serca. Natomiast żyły wieńcowe odprowadzają krew odtlenowaną i zbędne produkty przemiany materii do prawego przedsionka serca.

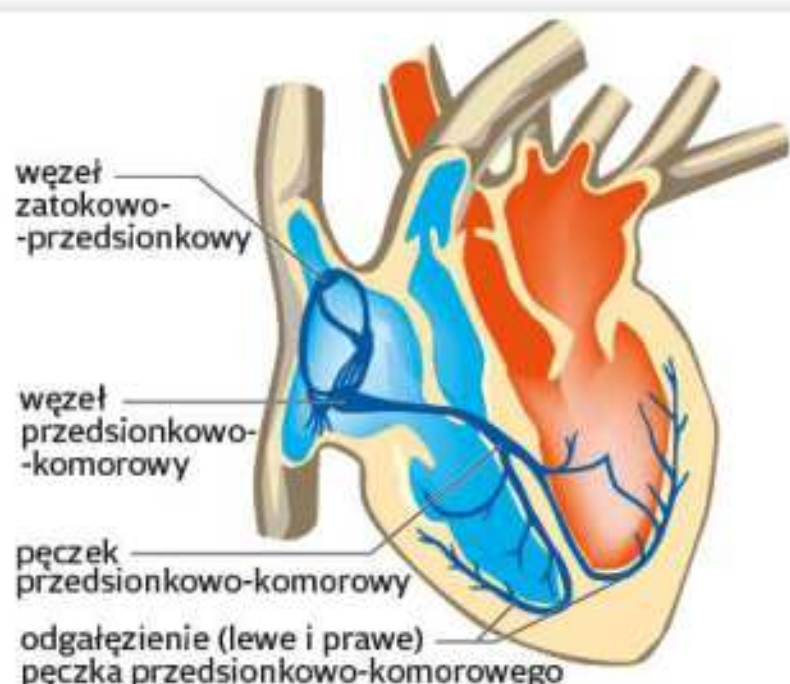
Układ przewodzący serca

Swoistą cechą serca jest zdolność do wykonywania samistnych, rytmicznych skurczów. Są one wynikiem powstających w sercu impulsów niezwiązanych z pobudzeniem nerwowym. Zjawisko to nosi nazwę **automatyzmu serca**. Jest ono możliwe dzięki układowi bodźco-przewodzącemu serca, który tworzą specjalnie zmodyfikowane włókna mięśniowe. Włókna tworzą ośrodki automatyzmu serca: **węzeł zatokowo-predsionkowy**, **węzeł przedsionkowo-komorowy** i **pęczek przedsionkowo-komorowy** (ryc. I.12.8.).



Ryc. I.12.7. Schemat naczyń wieńcowych serca.

ośrodki
automatyzmu
serca



Ryc. I.12.8. Rozmieszczenie ośrodków bodźco-przewodzących w sercu. Nadrzędną funkcję spełnia węzeł zatokowo-przedsionkowy, który określa rytm serca, w nim znajduje się rozrusznik serca. Wytworzone pobudzenie przechodzi do następnego węzła znajdującego się między prawym przedsionkiem a prawą komorą i dalej rozchodzi się do pęczka przedsionkowo-komorowego rozdzielającego się na prawą i lewą gałąź biegnącą wzdłuż przegrody międzykomórkowej do koniuszka serca. W ścianach komór gałęzie rozdzielają się na drobne włókna, które pobudzają komory do skurczu.

Węzeł zatokowo-przedsionkowy znajduje się pod kontrolą autonomicznego układu nerwowego i układu hormonalnego. W sytuacji stresu, wysiłku fizycznego, wzrostu temperatury ciała czy bardzo silnych emocji tempo pracy serca wzrasta, natomiast podczas snu czy relaksu serce spowalnia swoją pracę.

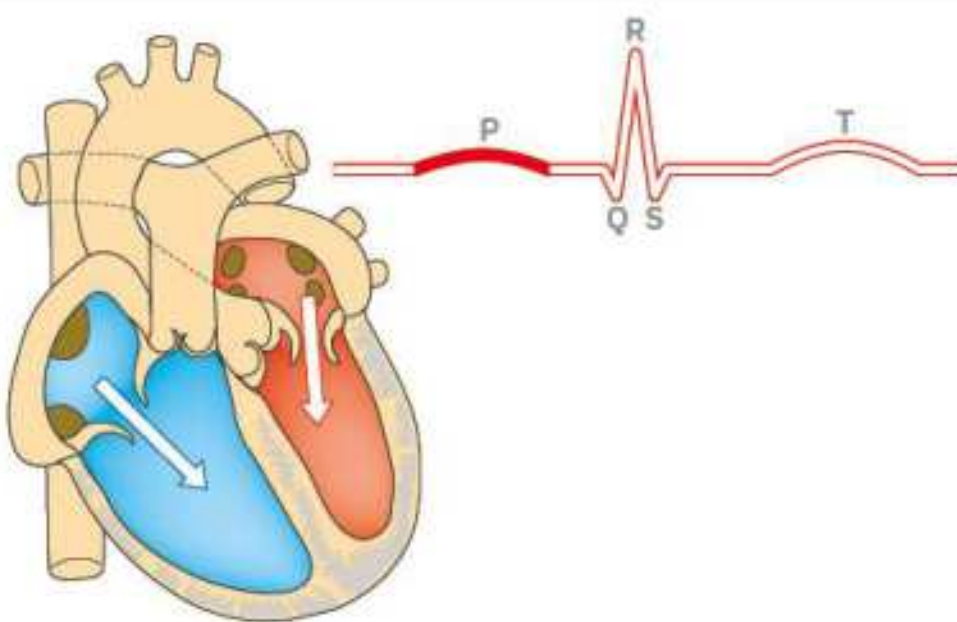
Uszkodzenia ośrodków automatyzmu lub ich zaburzenia można niwelować dzięki wszczepieniu **rozrusznika serca** (elektryczne urządzenie wszczepione pod skórę w klatkę piersiową).

cykl pracy serca

Cykl pracy serca

Cykl pracy serca to cyklicznie następujące skurcze i rozkurcze rozdzielone od siebie krótkim okresem spoczynku. U dorosłego człowieka w stanie spoczynku pojedynczy cykl trwa około 0,85 s i składa się z trzech etapów.

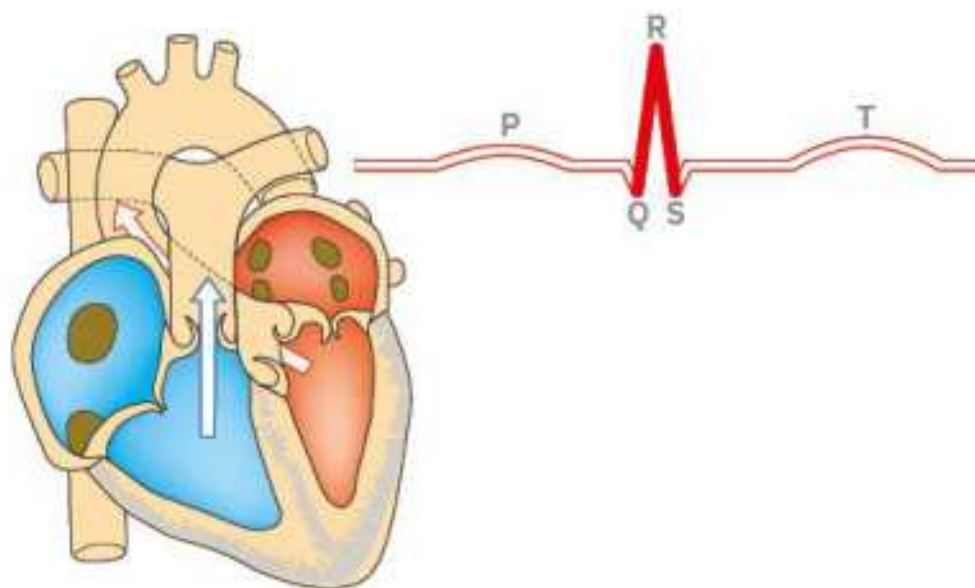
I etap skurczu przedsionków i rozkurczu komór (0,15 s) – podczas tego etapu krew z przedsionków przepływa do komór przez otwarte zastawki przedsionkowo-komorowe.



Ryc. I.12.9. I etap skurczu przedsionków i rozkurczu komór.

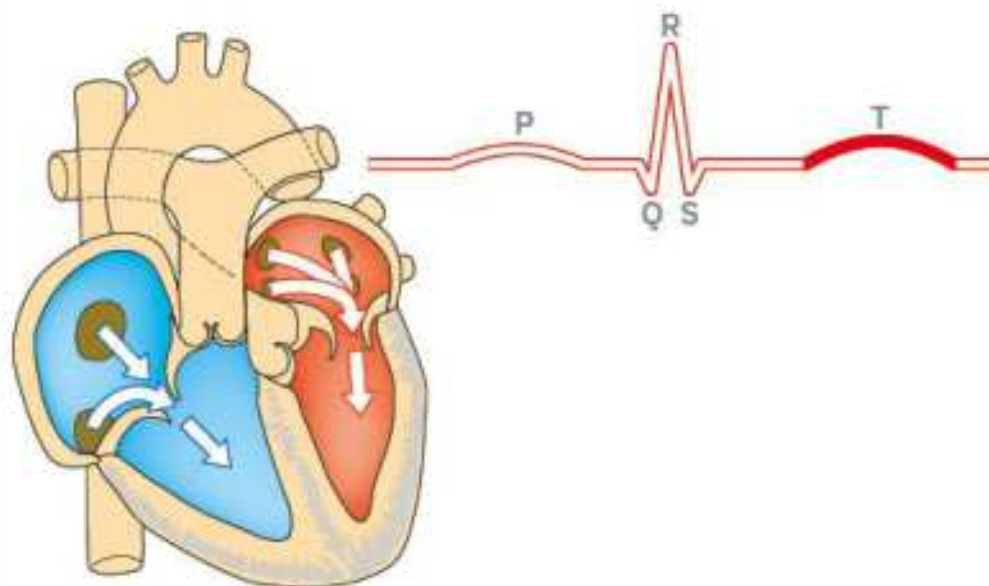


II etap skurczu komór i rozkurczu przedsionków (0,3 s) – wzrasta ciśnienie w komorach i zamykają się zastawki przedsionkowo-komorowe. Następstwem tego jest odgłos słyszany jako **pierwszy ton serca**. Kiedy ciśnienie krwi w komorach osiągnie większą wartość niż w tętnicach, otwierają się zastawki półksiężycowate i krew opuszcza serce. Komory rozkurczają się, a gdy ciśnienie spadnie poniżej wartości ciśnienia krwi w tętnicach, następuje zamykanie zastawek półksiężycowatych, co słyszymy jako **drugi ton serca**.



Ryc. I.12.10. II etap skurczu komór i rozkurczu przedsionków.

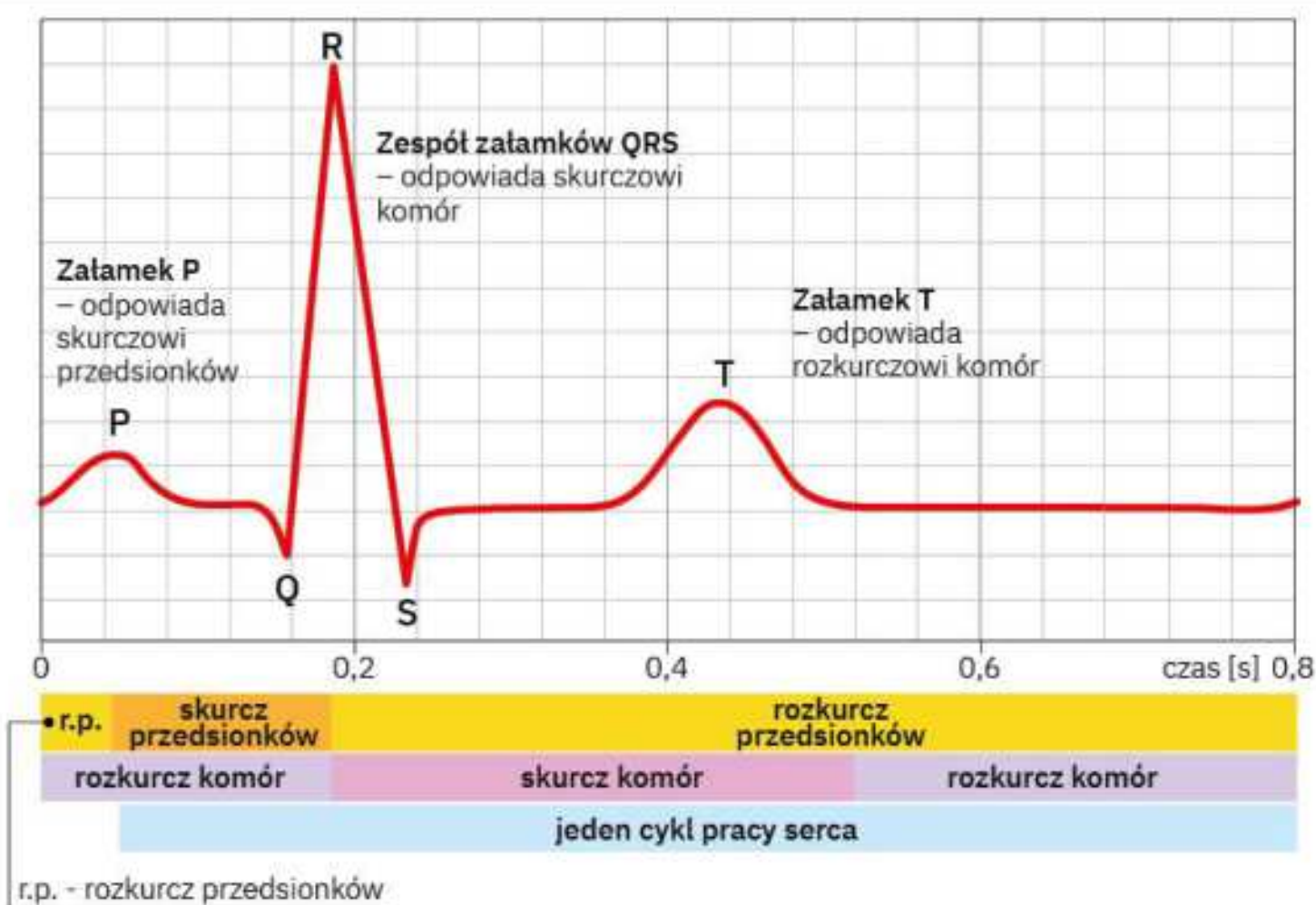
III etap rozkurczu serca (0,4 s), pauzy lub spoczynku – rozkurczają się przedsionki i komory. Zastawki przedsionkowo-komorowe otwierają się i krew napływa do przedsionków i komór. Szmer wywołany napływem krwi do serca nazywamy **trzecim tonem serca** (jest najłatwiej wyczuwalny).



Ryc. I.12.11. III etap rozkurczu serca.

Podczas pracy serca zachodzą zmiany potencjałów elektrycznych, które możemy wykryć w czasie badania **elektrokardiografem**. Otrzymany graficzny zapis nazywa się

elektrokardiogramem (EKG). Badanie jest nieinwazyjne – za pomocą elektrod przypiętych do ciała pacjenta określa się aktywność elektryczną serca. Wynik badania odczytuje się z wykresu, który pozwala na ocenę prawidłowości rytmu serca, wykrycie wad i uszkodzeń mięśnia serca u osób które przeszły lub przechodzą zawał serca (**ryc. I.12.12.**).



Ryc. I.12.12. Graficzny obraz elektrycznej aktywności mięśnia serca.

Bardzo prostym i niewymagającym aparatury badaniem pracy serca jest pomiar tętna (puls) (**ryc. I.12.13.**). Tętno powstaje przez rozciąganie ścian tętnic podczas ich wypełniania krwią wyrzucaną z serca w czasie skurczu jego komór. Badamy je na wszystkich wyczuwalnych tętnicach biegnących pod powierzchnią skóry – naj-



Ryc. I.12.13. Badania tętna dokonuje się poprzez ucisk czubkami dwóch palców (bez udziału kciuka) tętnicy i liczy się liczbę uderzeń przez 1 minutę.



częściej na tętnicy promieniowej (po wewnętrznej stronie nadgarstka). Na wzrost wartości tętna mają wpływ wysiłek lub stres. Wartość tego parametru zależy także od wieku, stylu życia czy obciążenia chorobami.

Siłę, z jaką krew uderza w naczynie krwionośne, przez które płynie, nazywamy **ciśnieniem krwi**. Wartość ciśnienia wyrażamy w milimetrach słupa rtęci (mm Hg).

Ciśnienie aortalne uzyskuje średnią wartość **około 120 mm Hg** w czasie skurczu lewej komory (**ciśnienie skurczowe**), a następnie spada stopniowo do **około 80 mm Hg** podczas rozkurczu komory (**ciśnienie rozkurczowe**). Jeśli przez dłuższy czas ciśnienie skurczowe utrzymuje się na poziomie ok. **140 mm Hg** i wyższym, a rozkurczowe przekracza 80 mm Hg, to może to świadczyć o **nadciśnieniu tętniczym**. Ciśnienie tętnicze krwi wzrasta wraz z wiekiem. U osób starszych ściany dużych naczyń krwionośnych stają się mniej elastyczne, co może spowodować fizjologiczną wyższą wartość ciśnienia. Nadciśnienie tętnicze zwiększa ryzyko wystąpienia zawału serca, udaru mózgu, zaburzeń pracy nerek i nieodwracalnych zmian wzroku prowadzących do ślepoty. W związku z tak poważnymi konsekwencjami nadciśnienia tętniczego należy regularnie wykonywać ćwiczenia fizyczne, nie palić papierosów, stosować dietę ubogą w sól kuchenną i unikać stresu. Pomiar ciśnienia krwi i tętna wykonujemy przy użyciu **ciśnieniomierza** (ryc. I.12.14.).

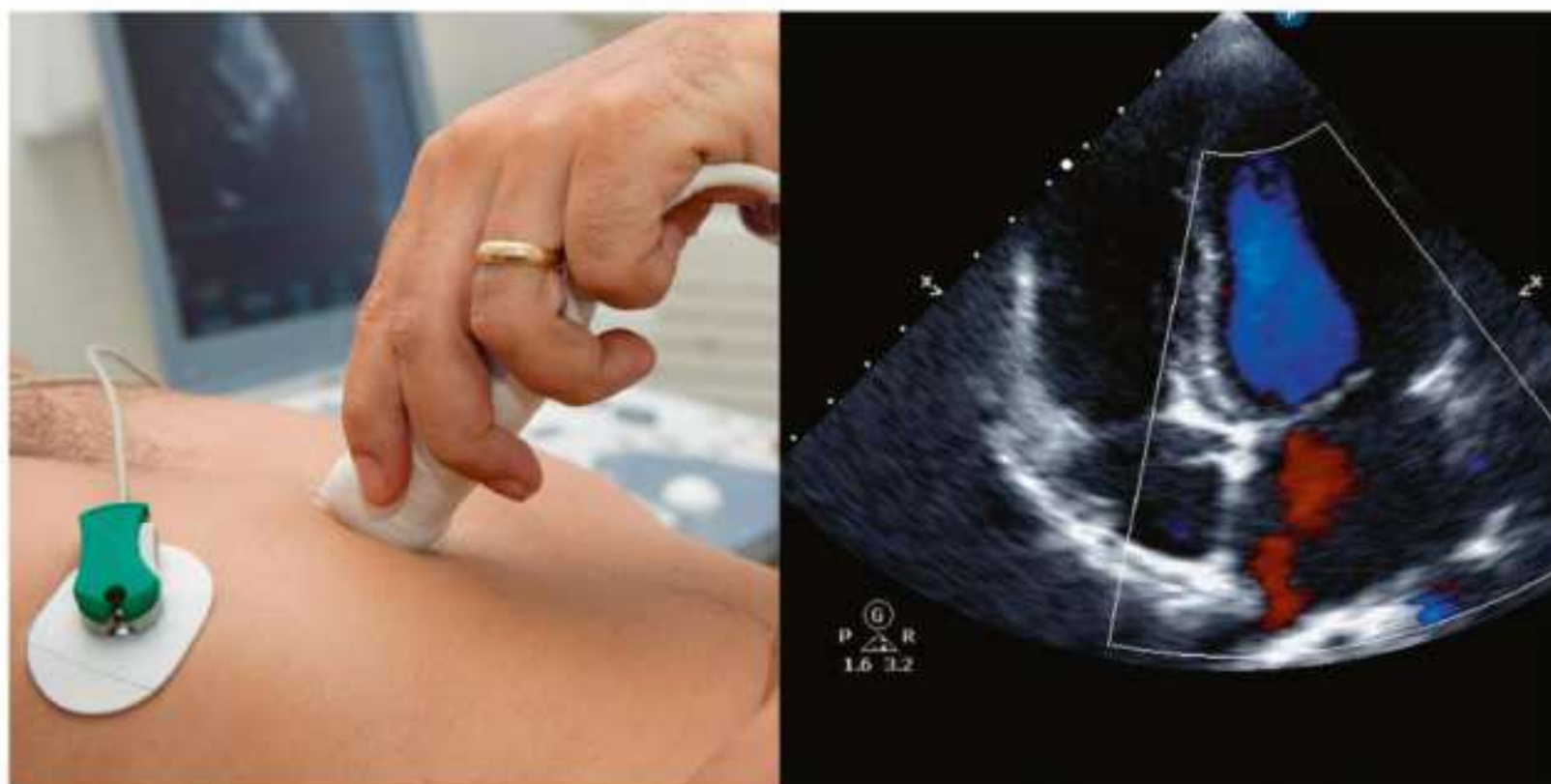
nadciśnienie krwi



Ryc. I.12.14. Pomiar ciśnienia krwi i tętna aparatem elektronicznym.

Obok EKG podstawowym badaniem serca jest **echokardiografia (echo serca)**. Jest to metoda nieinwazyjna badania serca wykorzystująca zjawisko echa ultradźwięków (USG). Umożliwia ocenę struktury anatomicznej serca, kurczliwości mięśnia sercowego, budowy i pracy zastawek, przepływu krwi w obrębie przedsionków i komór serca oraz dużych naczyń krwionośnych. Echo pozwala na wykrycie przebytego zawału, obecności skrzepliny i płynu w osierdziu. Często jest przeprowadzane u osób z podejrzeniem tętniczego nadciśnienia płucnego (ryc. I.12.15.).





Ryc. I.12.15. Podstawowym narzędziem diagnostycznym kardiologa jest echo serca.



Ryc. I.12.16. Badanie czynności serca metodą Holtera.

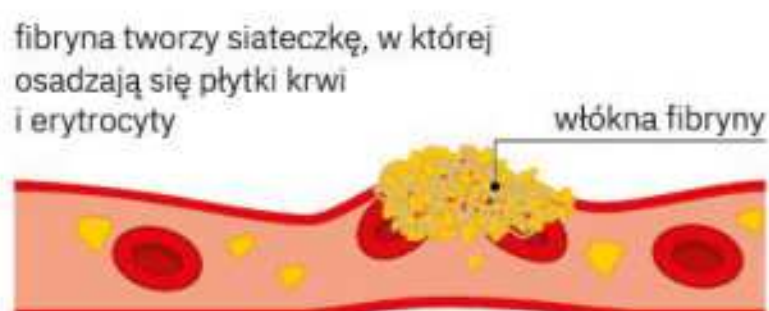
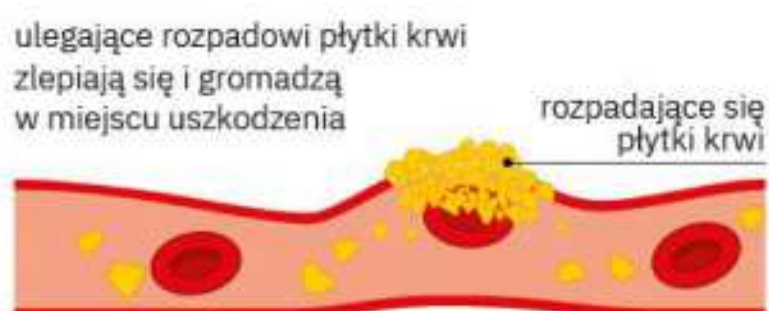
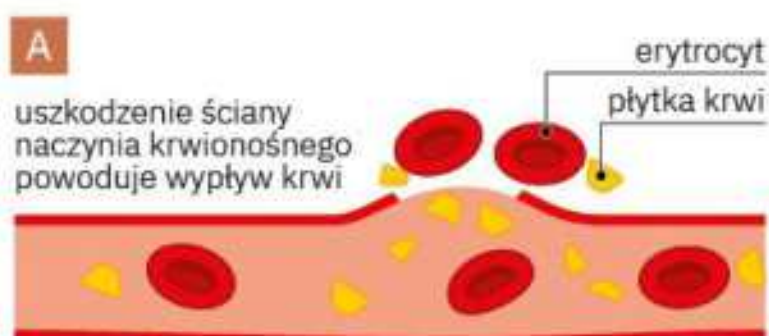
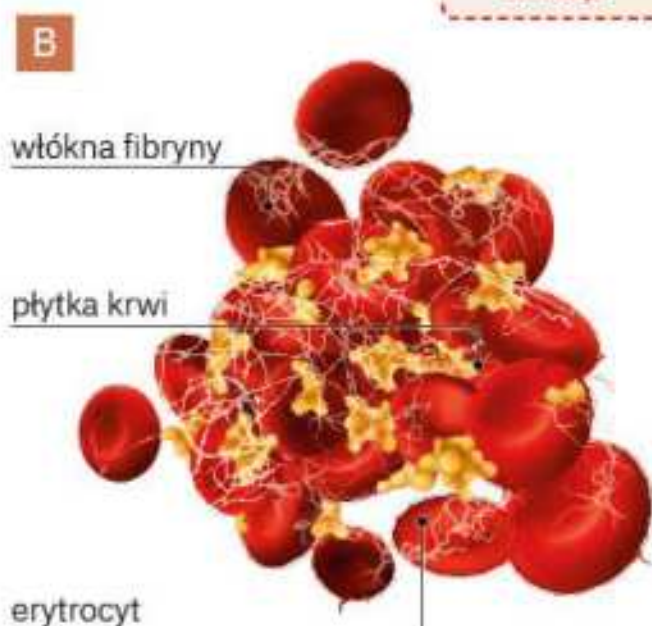
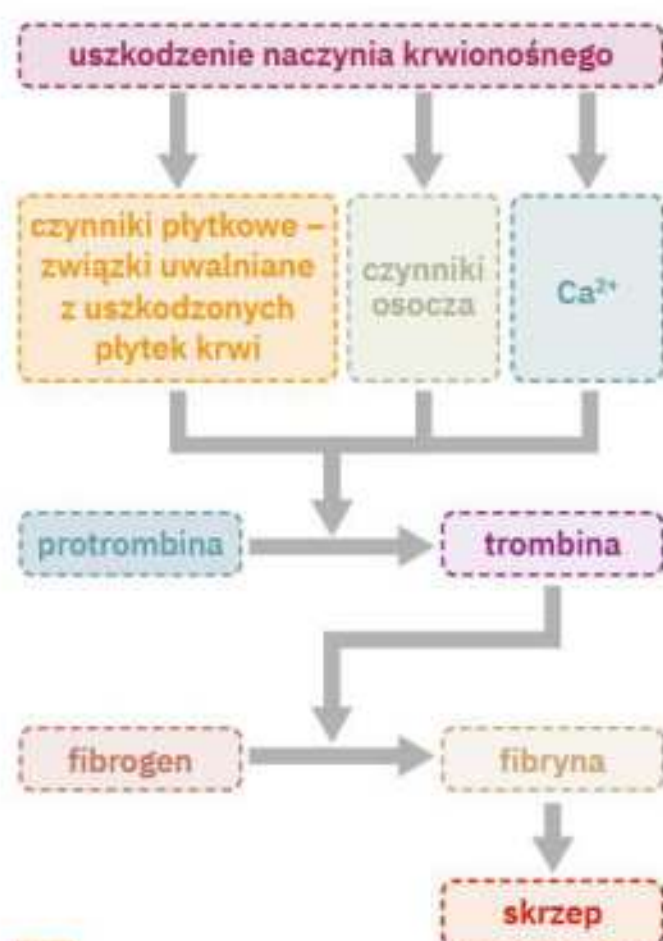
Aby zarejestrować pracę serca, przez całą dobę stosuje się **metodę Holtera**. Pozwala ona wykryć zaburzenia, których nie pokaże ani jednorazowo wykonany elektrokardiogram, ani echo serca. Aparat do badania przypomina wyglądem walkmana (czytaj: łokmena). Umieszcza się go na pasku w talii, a pięć odchodzących od niego elektrod przykleja się wokół serca na lewej piersi. Wskazaniem do badania metodą Holtera są zaburzenia rytmu serca (kołatania, szybkie lub nierówne bicie), choroba niedokrwienna serca, omdlenia i zapaść, a także sprawdzenie pracy wszczepionego rozrusznika serca (**ryc. I.12.16.**).

Badaniem inwazyjnym serca jest **angiokardiografia**. W tym badaniu wykorzystuje się promienie rentgenowskie i środek kontrastowy pochłaniający promienie RTG. Uzyskany obraz pozwala na ocenę kurczliwości mięśnia sercowego, zmian w tętnicach wieńcowych oraz stopień zaawansowania choroby niedokrwiennej serca. Dzięki temu badaniu można chorego skierować na zabieg **angioplastyki**, czyli poszerzania zwężonych przez blaszkę miażdżycową tętnic wieńcowych.



Krzepnięcie krwi

Ciągłość ścian naczyń krwionośnych umożliwia utrzymanie równowagi składu i objętości krwi. Uszkodzenie naczynia krwionośnego uruchamia proces krzepnięcia krwi. Proces ten składa się z szeregu reakcji, w których uczestniczą różne czynniki krzepnięcia krwi. W efekcie powstaje układ włókien zasklepiający ranę i zapobiegający wniknięciu drobnoustrojów chorobotwórczych oraz chroniący przed ewentualną infekcją (ryc. I.12.17.).



Ryc. I.12.17. Reakcje prowadzące do wytworzenia się fibryny, przebieg krzepnięcia krwi (A), tworzenie się skrzepu (B).



W wyniku przerwania ciągłości naczynia krwionośnego z uszkodzonych płytek krwi uwalniają się liczne białkowe czynniki krzepnięcia krwi, które aktywują nieaktywny enzym – **protrombinę** – w aktywną **trombinę** (ryc. I.12.17.). Proces ten zachodzi w obecności jonów wapnia. Aktywna trombina zmienia rozpuszczalny w osoczu **fibrynogen** w nierozpuszczalną **fibrynę**, która przyjmuje postać gęstej sieci. W tę sieć wpłatają się erytrocyty i płytki krwi. W efekcie w miejscu zranienia powstaje **skrzep**. Następnie nitki fibryny się skracają i brzegi rany zbliżają się do siebie, po kilku dniach skrzep ulega rozpuszczeniu, a na jego miejscu rozwija się odpowiedni typ tkanki.

układ limfatyczny

Układ limfatyczny

Układ limfatyczny pełni trzy ważne funkcje w organizmie – uczestniczy w utrzymaniu równowagi płynów ustrojowych ciała, gromadząc i zwracając do krwi płyn tkankowy w postaci limfy, pełni funkcje transportowe oraz odpornościowe. Limfa, krążąc w układzie limfatycznym, rozprowadza po organizmie substancje organiczne i mineralne oraz krwinki białe i białka osocza. Limfa odgrywa także istotną rolę w transporcie tłuszczów, które są wchłaniane z jelita cienkiego do limfy i za jej pośrednictwem transportowane do krwi.

Układ limfatyczny (chłonny) jest zbudowany z **narządów limfatycznych** i **naczyń limfatycznych**, w których płynie limfa. Do narządów limfatycznych należą: **grasica, śledziona, czerwony szpik kostny, migdałki** i **węzły chłonne** (ich funkcja i rozmieszczenie w organizmie są dokładnie omówione przy układzie odpornościowym). Sieć naczyń limfatycznych rozpoczyna się w przestrzeniach międzykomórkowych narządów i tkanek ciała. Następnie naczynia łączą się, tworząc żyły limfatyczne uchodzące do dwóch przewodów limfatycznych, którymi limfa wraca do obiegu krwi. Źródłem limfy jest przesącz osocza krwi – płyn tkankowy, wydzielina komórek i przewodu pokarmowego. W naczyniach limfatycznych występują zastawki, które są gęściej rozmieszczone niż zastawki w żyłach. Dzięki zastawkom limfa płynie tylko w jednym kierunku – od przestrzeni międzykomórkowej, przez włosowate naczynia limfatyczne, węzły chłonne, przewody limfatyczne do żył (szczegółowy opis funkcji narządów limfatycznych znajdziesz w układzie odpornościowym).

choroby układu krążenia

Choroby układu krążenia

Miażdżyca tętnic (arterioskleroza) jest spowodowana powstawaniem pokładów lipidów (zwłaszcza cholesterolu) i wapnia na wewnętrznych ścianach tętnic. Szczególnie niebezpieczny jest **cholesterol** – związek tłuszczowy produkowany przez organizm (wątroba wytwarza go ok. 2 gramów na dobę), ale w dużej ilości dostarczany także z pokarmem. Jeśli stężenie cholesterolu we krwi jest wysokie (zwłaszcza tego o niskiej gęstości, czyli LDL), to odkłada się on w ścianach tętnic w postaci tzw. złogów, inaczej nazywanych **blaszkami miażdżycowymi**. Blaszkami zwężają i usztywniają ściany tętnic, najczęściej wieńcowych serca, szyjnych zaopatrujących mózg w krew oraz doprowadzających krew do nóg. Proces ten jest nazywany miażdżycą (ryc. I.12.18.). Do powikłań wynikających z miażdżycy należy zawał mięśnia serca i udar mózgu.

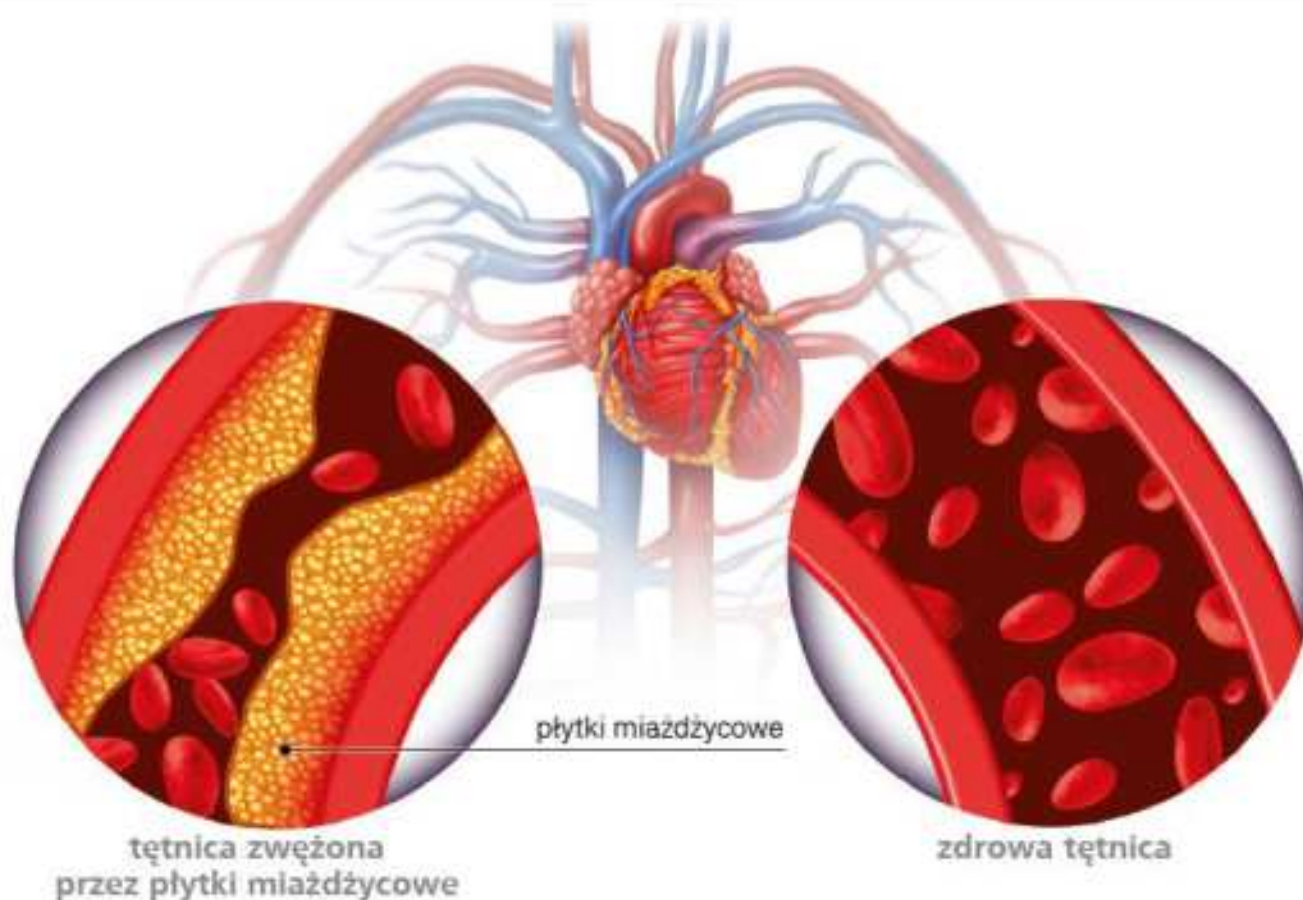
cholesterol



Czynnikami zwiększającymi ryzyko wystąpienia miażdżycy oprócz predyspozycji genetycznych są:

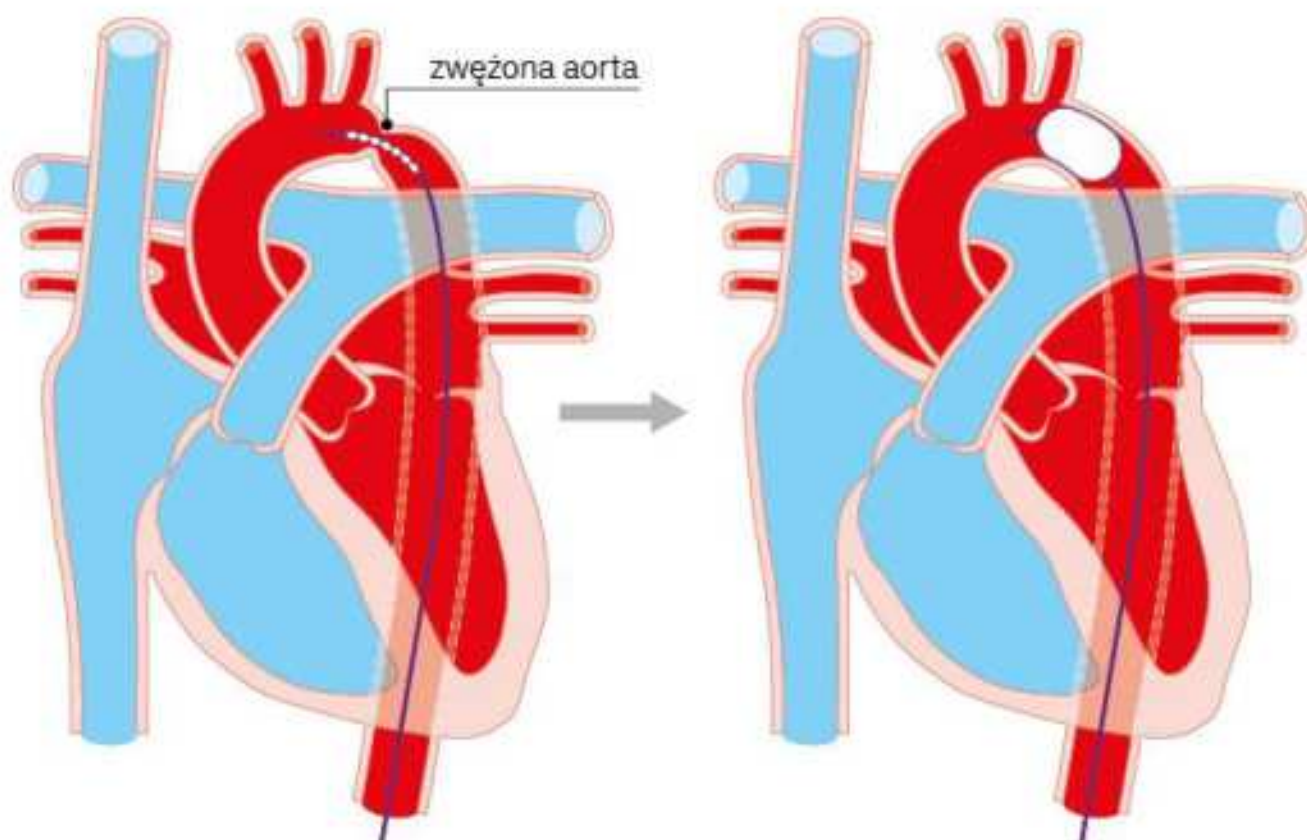
- dieta bogata w nasycone kwasy tłuszczowe i cukry,
- palenie tytoniu,
- starszy wiek,
- płeć męska,
- stres i niektóre choroby, takie jak cukrzyca, nadciśnienie tętnicze, otyłość.

Do najczęściej stosowanej diagnostyki miażdżycy należy badanie stężenia trójglicerydów i cholesterolu we krwi. Ponadto wykonuje się **tomografię komputerową serca**, **USG tętnic**, **koronarografię** (używany w tym badaniu kontrast pozwala oglądać zmienione tętnice wieńcowe za pomocą promieniowania rentgenowskiego) oraz **scyntygrafię** (badanie z wykorzystaniem izotopu, który przepływając z krwią przez tętnice wieńcowe, jest wychwytywany przez serce, a miejsca jego braku wskazują na nieprawidłowości).



Ryc. I.12.18. Porównanie światła zdrowej tętnicy i tętnicy zmienionej na skutek miażdżycy.

Leczenie miażdżycy polega przede wszystkim na stosowaniu leków obniżających ciśnienie i krzepliwość krwi oraz poziom cholesterolu we krwi. Przeprowadza się także zabiegi chirurgiczne, w tym **angioplastykę** (balonikowanie – rozpychanie i kruszenie złożeń cholesterolu balonikiem), **stenty** (umieszczanie we wnętrzu tętnicy krótkiej protezy naczyniowej w kształcie walca zapobiegającej odkładaniu się blaszki miażdżycowej) oraz **by-passy** (czyt. bajpasy; pomostowanie, wszczepienie fragmentu zdrowej żyły, np. z nogi pacjenta, aby w ten sposób utworzyć ominięcie zmiany miażdżycowej) (ryc. I.12.19.).



Ryc. I.12.19. Angioplastyka aorty przez balonikowanie.

W zwalczaniu miażdżycy bardzo ważna jest profilaktyka. Do najważniejszych zaleceń profilaktycznych należą:

- prowadzenie aktywnego trybu życia,
- ograniczenie spożywania nasyconych kwasów tłuszczowych i cukrów prostych (czerwone mięso, fast foody, słodyczne, smażone potrawy),
- zrównoważona dieta bogata w sole mineralne, aminokwasy i witaminy,
- niepalenie papierosów.

Jeśli przez zwężone tętnice wieńcowe nie doptywa odpowiednia ilość krwi do serca, następuje jego niedotlenienie i niedokrwienie. Prowadzi to do choroby niedokrwiennej serca, zwanej także **duszną bolesną** ze względu na silny ból w klatce piersiowej (za mostkiem) i duszności pojawiające się podczas wysiłku czy w sytuacji stresowej. Do mięśnia serca nie doptywa krew z tlenem i substancjami odżywczymi, przez co dochodzi do martwicy tkanek, czyli zawału. Jeśli martwica jest rozległa, to może skończyć się zgonem chorego. Inną przyczyną zawału serca jest oderwanie się blaszki miażdżycowej i przemieszczanie się jej fragmentu do naczynia wieńcowego. Powoduje to zamknięcie naczynia i pojawienie się niedokrwienia mięśnia serca.

Objawami zawału są:

- piekący lub kłujący ból w klatce piersiowej za mostkiem, czasami promieniujący do jednej z kończyn górnych lub żuchwy, nasilający się przy oddychaniu i trwający ponad 20 minut (nieustępujący po odpoczynku czy podaniu nitrogliceryny),
- kołatanie serca,
- duszności.



U kobiet nie zawsze występują typowe objawy zawału. Zawał u kobiet mogą poprzedzać:

- objawy sugerujące grypę lub przeziębienie,
- bóle brzucha z wymiotami,
- ból ramienia lub karku promieniujący do pleców lub żuchwy,
- nagłe poczucie osłabienia, duszności oraz nadmierna potliwość.

Bardzo często zawałowi serca towarzyszy nieuzasadniony niepokój i lęk przed śmiercią. Wszystkie wymienione objawy powinny być wskazaniem do wezwania pomocy lekarskiej. Im wcześniej zostanie rozpoznany zawał i rozpoczęte leczenie, tym większe prawdopodobieństwo uratowania chorego. Największe szanse mają pacjenci, u których rozpoczęto leczenie w ciągu pierwszej godziny od stwierdzenia objawów.

Miażdżyca, nadciśnienie tętnicze, zator jednej z tętnic mózgu (udar niedokrwieniny, zawał mózgu) czy wylew krwi z pękniętego naczynia krwionośnego (udar krwotoczny) mogą być przyczyną **udaru mózgu**. Objawami udaru są:

- nagłe, silne bóle głowy połączone z zaburzeniami równowagi, czucia i ruchu po jednej stronie ciała,
- zaburzenia mowy,
- wykrzywienie twarzy po jednej stronie,
- widoczne opadanie kącika ust.

Po stwierdzeniu tych objawów należy wezwać pomoc lekarską. Szybkie udzielenie pomocy pozwala na zahamowanie obumierania komórek mózgu, które – niedokrwione – obumierają w tempie 1,8 mln na minutę. Czynnikiem zwiększającym ryzyko wystąpienia udaru jest wiek powyżej 55 lat, płeć (częściej udar dotyka kobiety), cukrzyca, palenie papierosów, otyłość, nadużywanie alkoholu oraz czynniki genetyczne. Przyczyną chorób serca i naczyń krwionośnych mogą być zakażenia bakteryjne i wirusowe przenoszone z innych części ciała, np. stany zapalne zębów czy migdałków, infekcje dróg oddechowych, które prowadzą do stanów zapalnych mięśnia serca, jak również do uszkodzenia zastawek.

Bardzo istotne dla wczesnego wykrycia wielu chorób organizmu jest wykonanie **morfologii krwi**. Na morfologię składa się ocena m.in. liczby erytrocytów (krwinek czerwonych), leukocytów (krwinek białych), krwinek płytkowych w mm^3 krwi i hematokryt (czyli procentowy udział elementów upostaciowionych – poszczególnych rodzajów krwinek – w ogólnej masie krwi), stężenie hemoglobiny i procentowy udział poszczególnych rodzajów leukocytów na podstawie ogólnej ich liczby.

Analiza krwi pozwala również określić poziom cholesterolu, zawartość makroelementów i mikroelementów, a także hormonów czy enzymów. Uzyskane wyniki są porównywane z normami i ich interpretacja pozwala na ocenę stanu zdrowia pacjenta przez lekarza. Wartości poszczególnych parametrów zależą m.in. od wieku, płci, przyjmowanych leków.



ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Przedstaw podobieństwa i różnice w budowie i funkcjach naczyń krwionośnych: żył, tętnic i naczyń włosowatych.
2. Omów znaczenie zastawek w cyklu pracy serca.
3. Wyjaśnij znaczenie krążenia wieńcowego dla pracy serca.
4. Porównaj funkcje krwioobiegu małego i dużego w krążeniu krwi w organizmie.
5. Wytłumacz znaczenie procesu krzepnięcia krwi dla utrzymania homeostazy.
6. Wskaż podobieństwa i różnice w budowie i funkcjach układu krwionośnego i limfatycznego.
7. Wyjaśnij znaczenie nowoczesnej diagnostyki w wykrywaniu chorób serca.
8. Zaproponuj zasady, jakie należy stosować, aby zmniejszyć ryzyko wystąpienia nadciśnienia tętniczego.
9. Wytłumacz związek między miażdżycą a ryzykiem wystąpienia zawału serca.
10. Wykonaj jedno z doświadczeń opisanych na stronach 395–396 podręcznika.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- s. 102** **Układ krążenia** składa się z układu krwionośnego i limfatycznego. Układ krwionośny jest układem zamkniętym, zbudowanym z serca i naczyń krwionośnych. Tętnicami krew płynie z serca do tkanek, a żyłami – odwrotnie. Naczynia włosowate mają cienkie ściany i umożliwiają wymianę substancji i gazów oddechowych między krwią a komórkami ciała.
- s. 106** **Serce** jest narządem mięśniowym zaopatrywanym w tlen i substancje odżywcze przez układ wieńcowy. Składa się z dwóch przedsionków i dwóch komór oddzielonych całkowitą przegrodą. Przepływ krwi w sercu jest jednokierunkowy – od przedsionków do komór. Przed cofaniem się krwi zabezpieczają zastawki przedsionkowo-komorowe i półksiężycowate.
- s. 107** Serce ma zdolność do samodzielnego kurczenia się dzięki **ośrodkom automatyzmu**. Rozrusznikiem serca jest węzeł zatokowy, który generuje impulsy nerwowe.
- s. 108** Serce pracuje według schematu zwanego **cyklem pracy serca**, któremu towarzyszą zjawiska akustyczne – tzw. tony serca. Zapis elektrycznej pracy serca i ciśnienia krwi to EKG.
- s. 108** **Krew krąży w dwóch krwioobiegach**: dużym (natlenowana krew jest transportowana do wszystkich komórek ciała) i małym (natlenowanie krwi w płucach).
- s. 113** Utrzymanie homeostazy w organizmie zachodzi dzięki procesowi **krzepnięcia krwi**.
- s. 114** **Układ limfatyczny** to układ otwarty połączony z układem krwionośnym. Jest zbudowany z naczyń i narządów limfatycznych. W naczyniach płynie limfa, która oprócz funkcji transportowych spełnia funkcję odpornościową.
- s. 114** Najczęstsze **choroby układu krążenia** to nadciśnienie tętnicze krwi, miażdżycy, zawał i udar. W celu ich wykrycia stosuje się odpowiednią diagnostykę.
- s. 114** Podwyższony **poziom cholesterolu** we krwi może prowadzić do miażdżycy.
- s. 111** Czynnikiem sprzyjającym wystąpieniu **nadciśnienia tętniczego** są: spożywanie nadmiernej ilości soli, siedzący tryb życia, palenie tytoniu, nadużywanie alkoholu oraz zbyt tłuste i obfite posiłki.



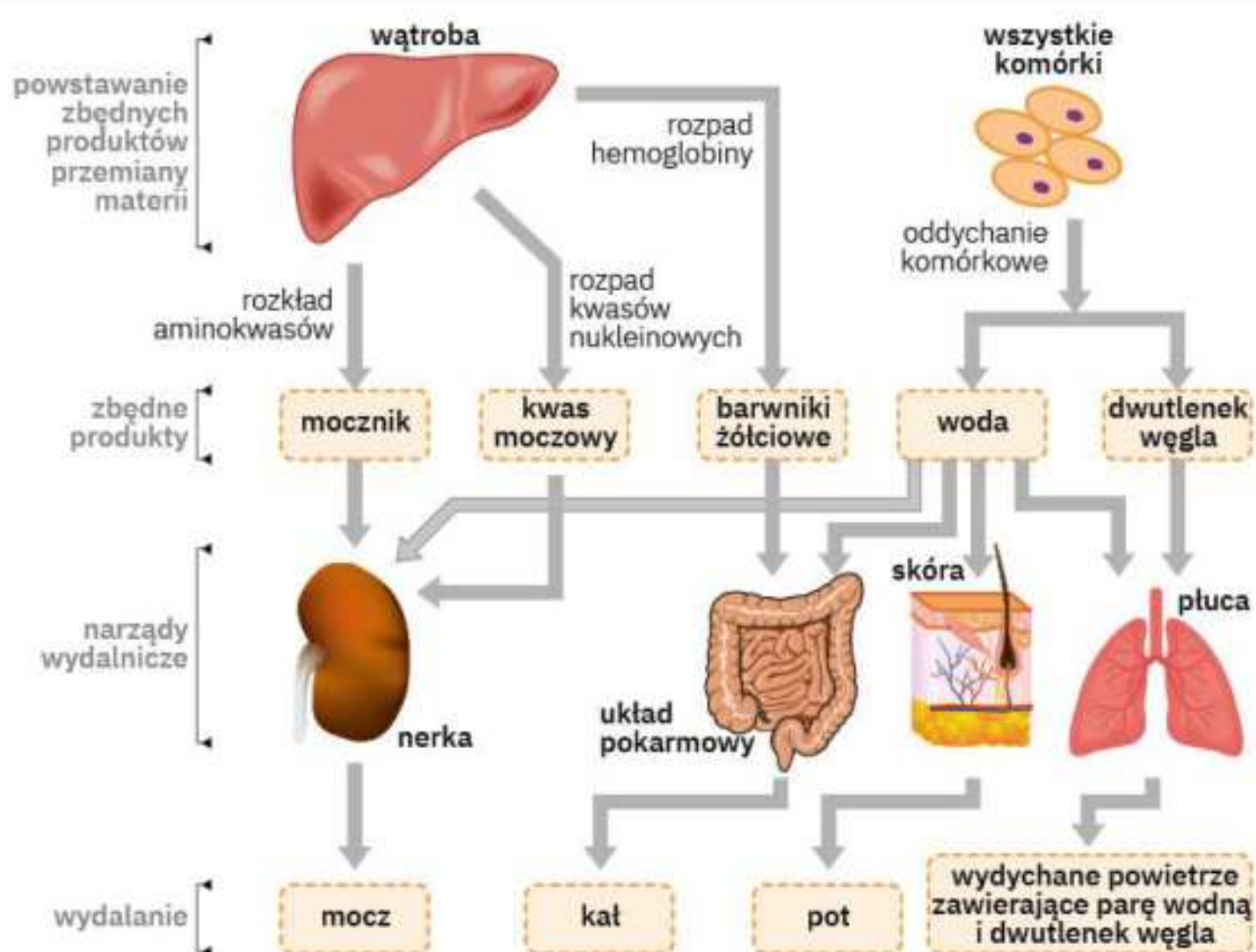
13. Osmoregulacja i wydalanie

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz związek między budową i funkcją układu moczowego;
- zrozumiesz istotę procesu wydalania;
- dowiesz się, jakie znaczenie mają badania diagnostyczne w profilaktyce chorób układu moczowego.

Zbędne produkty przemiany azotowej

W wyniku zachodzących procesów przemiany materii i energii w komórkach powstają zbędne produkty reakcji metabolicznych: woda z solami mineralnymi, dwutlenek węgla, związki azotowe (amoniak, mocznik, kwas moczowy). Nagromadzenie tych substancji w dużych ilościach może być przyczyną uszkodzenia komórek. W usuwaniu tych związków biorą udział: skóra, płuca, układ pokarmowy i wydalniczy (ryc. I.13.1.).

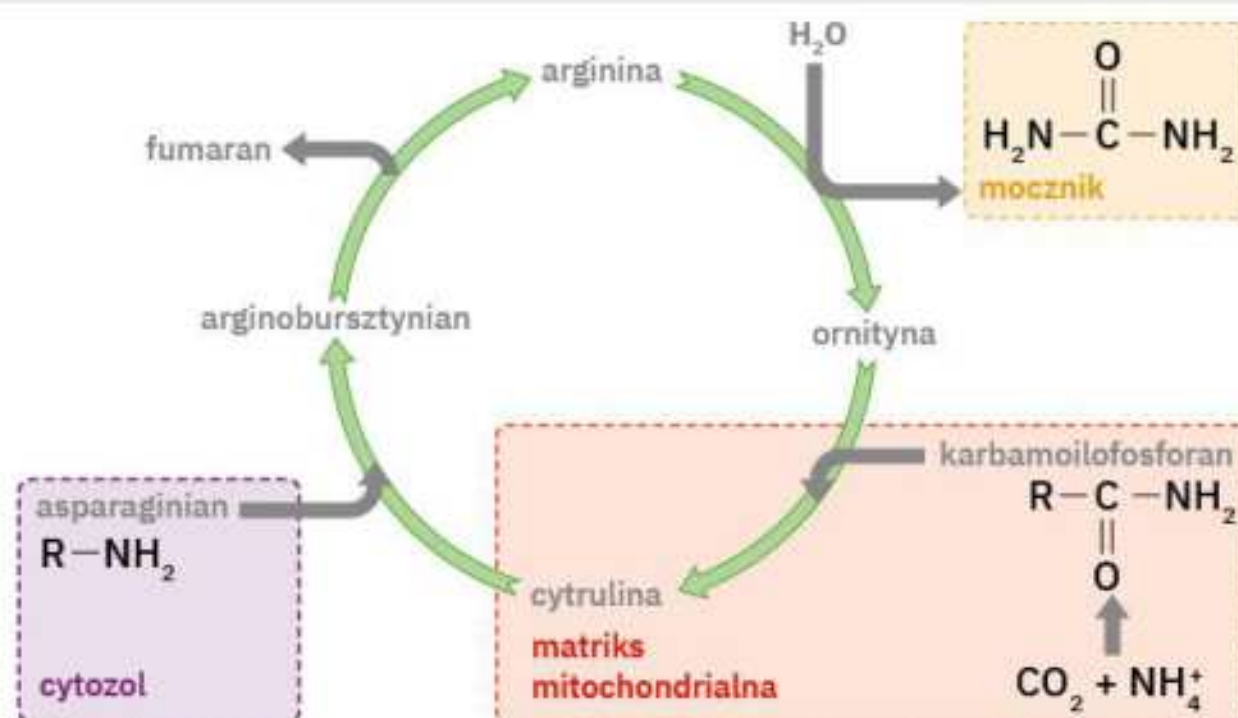


Ryc. I.13.1. Wydalanie zbędnych produktów przemiany materii.



wydalanie

Dwutlenek węgla powstający podczas utleniania związków organicznych dostaje się do płuc i jest usuwany z wydychanym powietrzem. Związki azotowe – kwas moczowy, amoniak, mocznik – wraz z wodą i solami mineralnymi zostają usunięte z organizmu przez układ wydalniczy w **procesie wydalania**. Kwas moczowy jest produktem przemian kwasów nukleinowych (zasad purynowych). Amoniak powstaje w procesie rozkładu aminokwasów i zostaje przekształcony w komórkach wątroby w cyklu mocznikowym w mniej toksyczny mocznik (**ryc. I.13.2.**).



Ryc. I.13.2. Cykl mocznikowy to cykl metaboliczny trzech aminokwasów: ornityny, cytruliny i argininy. W jego wyniku z amoniaku, dwutlenku węgla i asparaginianu powstaje mocznik. Mocznik z krwią wędruje do nerek, gdzie jest filtrowany i wydalany. W ten sposób organizm usuwa nadmiar azotu z aminokwasów.

Woda jako produkt oddychania komórkowego jest usuwana przez nerki, ale również przez układ oddechowy, pokarmowy i przez skórę.

Pojęcie *wydalanie* nie jest tożsame z **defekacją**, która oznacza usuwanie niestrawionych resztek pokarmowych.

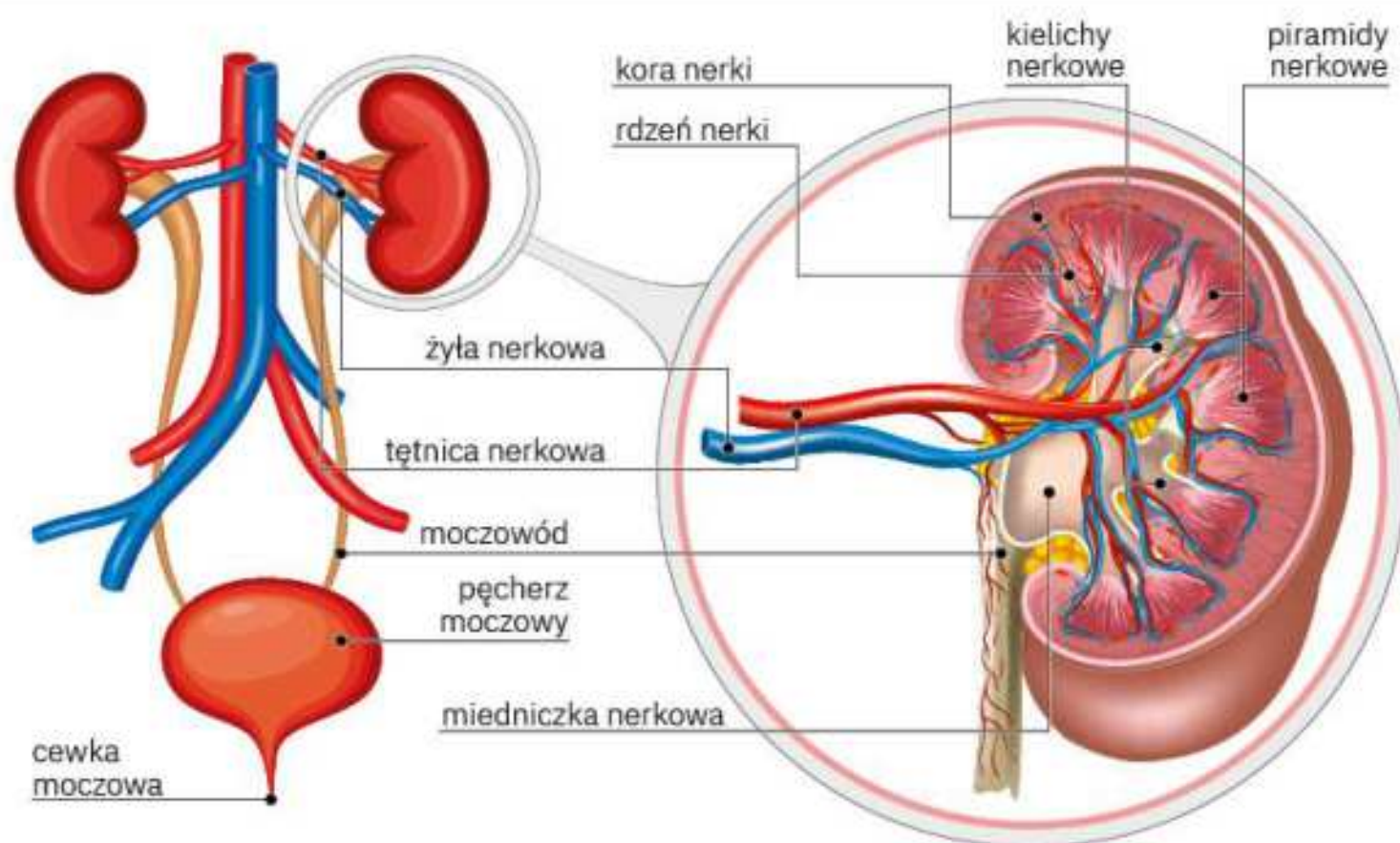
Budowa układu wydalniczego

Układ wydalniczy odpowiada za utrzymanie równowagi wodnej, mineralnej (osmoregulacji) i azotowej w organizmie człowieka. W jego skład wchodzi nerki oraz drogi wyprowadzające mocz: moczowody, pęcherz moczowy oraz cewka moczowa (**ryc. I.13.3.**).

Nerki są parzystymi narządami położonymi w jamie brzusznej po obu stronach kręgosłupa na wysokości odcinka lędźwiowego. Lewa nerka znajduje się nieco wyżej od prawej. Wielkość nerek jest zbliżona do pięści. Otacza je torebka zbudowana z tkanki łącznej. W nerce wyróżniamy dwie warstwy: powierzchnię – **korę nerki** – i położoną wewnątrz – **rdzeń nerki**. Rdzeń tworzą **piramidy nerkowe** o kształcie stożków, które podstawą są skierowane do kory, a wierzchołkami (brodawkami



nerkowymi) – do warstwy rdzenia. Z piramid nerkowych mocz spływa do **kielichów nerkowych** o kształcie lejkwatym, które zbierają się w **miedniczkę nerkową** – rozszerzony początek moczowodu. Od strony zagłębienia nerki (wnęki) miedniczka przechodzi w **moczowód, przewód długości ok. 20 cm**, którym mocz spływa do **pęcherza moczowego**. Ściany pęcherza moczowego zbudowane z mięśni gładkich są elastyczne i pod wpływem napętnienia moczem stopniowo się rozciągają. Pozwala to pomieścić od 400 do 700 cm³ moczu. Z pęcherza mocz jest usuwany na zewnątrz przez **cewkę moczową**. Cewka moczowa kobiet ma ok. 5 cm długości, natomiast u mężczyzn – ok. 20 cm długości, łączy się z nasieniowodem i służy do wyprowadzania moczu i nasienia.



Ryc. I.13.3. Budowa układu wydalniczego.

Budowa nefronu

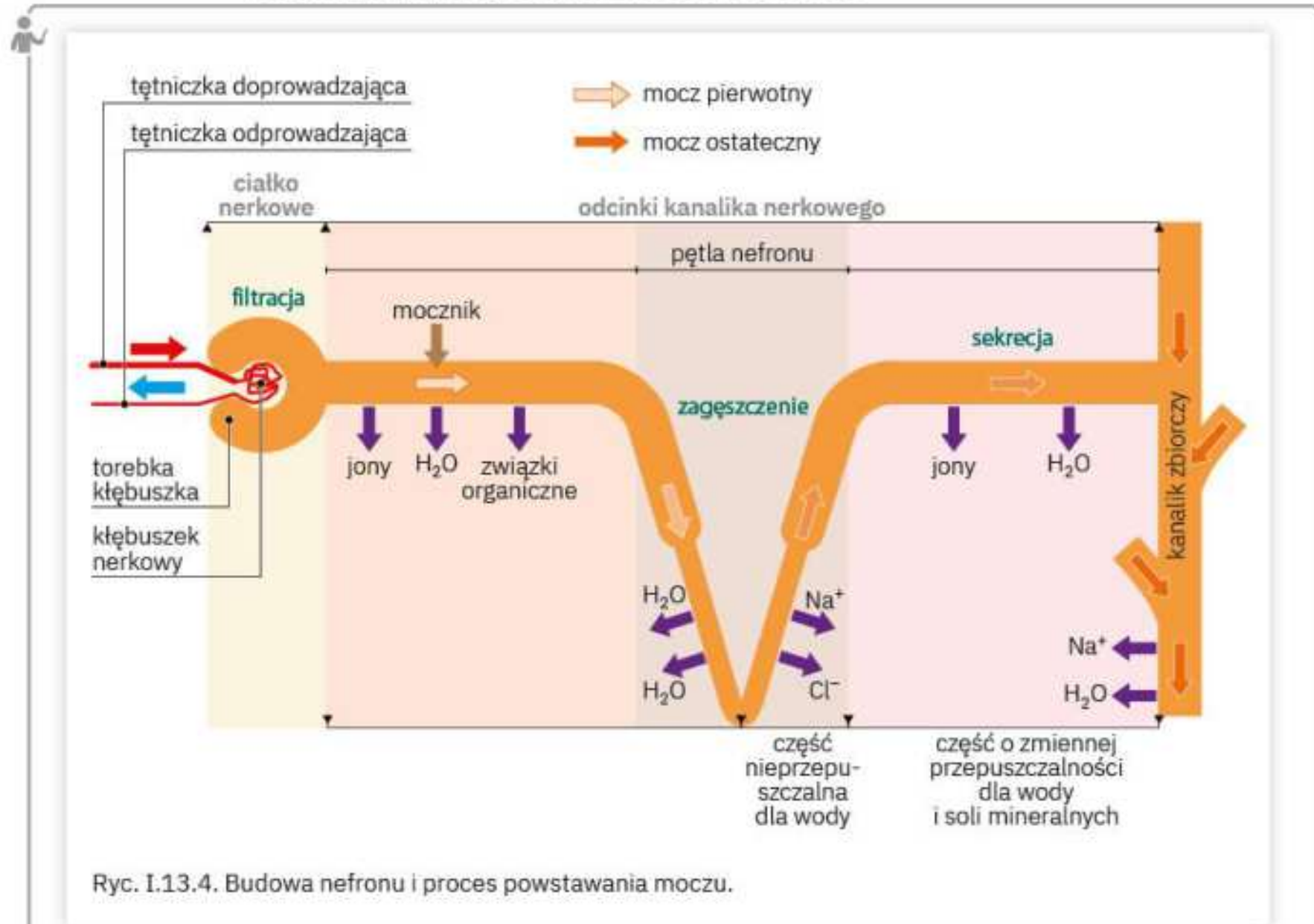
Podstawową jednostką funkcjonalną i strukturalną nerki jest **nefron**. W jednej nerce znajduje się ok. 1,5 mln nefronów (ryc. I.13.4.).

Nefron jest zbudowany z **ciałka nerkowego** (ciałka Malpighiego) oraz **kanalika nerkowego**. Ciało nerkowe to rozbudowana sieć włosowatych naczyń krwionośnych otoczonych **torebką kłębuszka** (torebka Bowmana), której ścianę tworzy nabłonek jednowarstwowy płaski o dużej przepuszczalności dla wody, jonów i innych substancji drobnocząsteczkowych. Od torebki nerkowej odchodzi kanalik nerkowy zbudowany z nabłonka jednowarstwowego sześciennego, którego komórki mają zdolność do aktywnego transportu jonów i są słabo przepuszczalne dla mocznika. Proste odcinki kanalika tworzą pętlę nefronu. Kanalik nerkowy oplatają

nefron



drobne naczynia krwionośne. Kanalik uchodzi do **kanalika zbiorczego**, a ten – do miedniczki nerkowej i ostatecznie do moczowodu.



Ryc. I.13.4. Budowa nefronu i proces powstawania moczu.

powstawanie moczu

Powstawanie i wydalenie moczu

Na proces powstania i wydalania moczu składają się trzy etapy: **filtracja**, **resorpcja** i **sekrekcja**.

Mocz pierwotny

Filtracja zachodzi w ciałkach nerkowych nefronu. Polega na przenikaniu z naczyń włosowatych kłębuszka do torebki niektórych substancji z osocza krwi. Jest to możliwe dzięki różnicy ciśnień – w kłębuszku ciśnienie ma wyższą wartość niż w torebce kłębuszka. Ponadto ściany naczyń włosowatych kłębuszka odznaczają się dużą przepuszczalnością dzięki obecności perforacji między komórkami. Przez mikroskopijne pory z krwi oprócz wody przedostają się także większe cząsteczki, jak aminokwasy, glukoza, witaminy, mocznik, kwas moczowy. Około 20% objętości osocza krwi przepływającego przez naczynia kłębuszka przechodzi do powstającego **moczu pierwotnego** (tzw. **ultraprzesączu**). Pozostała część jest odprowadzana tętniczką odprowadzającą. Skład tego płynu przypomina składem osocze krwi. Zawiera **wodę**, **jony**



soli mineralnych (np. sodu, potasu, chlorkowe, wodorowęglanowe), a także **drobno-cząsteczkowe związki organiczne** (np. aminokwasy, witaminy, glukozę, mocznik). W moczu pierwotnym nie ma substancji, które nie mogą się przedostać przez błonę kłębuszka, takich jak białka. Podczas doby w nerkach powstaje około **150–180 l mocz pierwotnego**. Tak duża ilość nie mogłaby przez człowieka zostać usunięta, a ponadto naraziłaby organizm na utratę wielu istotnych składników. Dlatego mocz pierwotny w kolejnych odcinkach nefronu podlega resorpcji, zagęszczaniu i sekrecji.

Mocz ostateczny

mocz ostateczny

Mocz pierwotny, przechodząc przez kolejne odcinki kanalik nerkowego, ulega obróbce, na którą się składa **wchłanianie zwrotne**, czyli **resorpcja**, oraz **sekrecja** (wydzielanie). Resorpcja polega na odzyskiwaniu potrzebnych organizmowi substancji. Zachodzi w kanaliku nerkowym, w którym z przepływającego mocz pierwotnego resorbowana jest woda, niektóre jony (np. sodu, potasu), glukoza i aminokwasy. W pętli nefronu zachodzi zagęszczanie mocz, które jest wynikiem różnej przepuszczalności dla wody i rozpuszczonych w niej substancji (jony sodowe i chlorkowe). Do światła kanalika następuje wydzielanie – sekrecja kanalikowa – różnych substancji, np. jonów wodorowych, barwników, hormonów steroidowych czy leków przyjmowanych podczas choroby, np. penicyliny. Przesącz po przejściu resorpcji i sekrecji spływa do kanalika zbiorczego, który otwiera się do kielicha nerkowego. Kielichy nerkowe łączą się w miedniczki nerkowe, którymi **mocz ostateczny** spływa moczowodem do pęcherza moczowego.

Skład mocz

Mocz zawiera ok. 96% wody, 1,5% soli mineralnych i 2,5% związków organicznych oraz śladowych ilości innych związków, np. barwników żółciowych, które mogą nadawać mu charakterystyczny kolor i zapach (**tab. I.13.1.**). Wśród związków mineralnych dominuje **chlorek sodu**, a wśród organicznych – **mocznik**, **kreatynina** (związek azotowy wytwarzany podczas procesów metabolicznych w mięśniach), **kwase moczowy** i **barwniki**, np. urobilinogen (związek powstający w świetle jelita w wyniku działania enzymów bakteryjnych). Zdrowy człowiek w ciągu doby wydala od 1 do 2 litrów mocz.

Tab. I.13.1. Porównanie wybranych składników mocz pierwotnego i ostatecznego

Składniki	Mocz pierwotny	Mocz ostateczny
woda	180 l	1,8 l
glukoza	180 g	–
mocznik	53 g	25 g
chlorki	630 g	5 g
białko	10–20 g	–



Ilość produkowanego moczu może się zmieniać. Zależy to od ilości pobranych płynów i utraconej wody, np. przez skórę podczas intensywnego wysiłku fizycznego czy choroby, a także od temperatury otoczenia, ciśnienia krwi i wieku.

Kiedy pęcherz moczowy jest wypełniony, rozciągnięcie jego ścian pobudza odpowiednie receptory i informacja dostaje się do ośrodka w części krzyżowej rdzenia kręgowego. Cewka moczowa w swojej ścianie zawiera dwa mięśnie zwieracze, które odpowiadają za jej zamykanie. Następuje rozluźnienie mięśnia zwieracza cewki, pęcherz się kurczy i mocz jest wydalany na zewnątrz. Na granicy z pęcherzem praca zwieracza pozostaje pod kontrolą woli człowieka, natomiast przy ujściu cewki moczowej może być do pewnego stopnia świadomie kontrolowana. U dzieci do 2.–3. roku życia ten odruch zachodzi bez udziału ośrodków kory mózgowej, która nie jest jeszcze dobrze rozwinięta.

Kontrola hormonalna pracy nerek

Ilość produkowanego moczu i jego skład są regulowane przez hormony. Wchłanianie wody reguluje **wazopresyna** produkowana przez podwzgórze.

Niedobór lub brak tego hormonu (przy zaburzeniach czynnościowych przysadki mózgowej) powoduje znaczne ograniczenie resorpcji wody w kanalikach nerkowych – moczówkę prostą, chorobę, która objawia się nadmierną produkcją moczu – **5–20 litrów** na dobę (najwięcej nocą). Utrata tak dużej ilości wody powoduje wzmożone pragnienie. Pomimo dostarczania dużej ilości płynów chory odczuwa oznaki odwodnienia. Za prawidłowe wchłanianie jonów sodu odpowiada hormon kory nadnerczy – **aldosteron**, a jonów wapnia – hormon wydzielany przez przytarczycę – **parathormon**.

W nerce znajduje się także **aparat przykłębuszkowy** będący narządem wydzielniczym i receptorowym nerki. Powstaje w nim enzym – **renina** – który reguluje równowagę jonową w organizmie oraz objętość i ciśnienie krwi. Sygnałem do wydzielania reniny jest spadek ciśnienia tętniczego krwi, co może spowodować niedokrwienie nerek. Renina rozpoczyna przekształcenie jednego z białek osocza krwi w aktywną postać wywołującą skurcze naczyń krwionośnych, co podnosi ciśnienie krwi i reguluje wydzielanie wazopresyny i aldosteronu. W nerkach jest produkowany hormon tkankowy – **erytropoetyna** – pobudzający proces wytwarzania krwinek czerwonych oraz pochodna witaminy D₃ regulująca gospodarkę wapniowo-fosforanową.

Choroby układu wydalniczego

Do podstawowych badań laboratoryjnych pozwalających na rozpoznanie wielu chorób należy **analiza moczu**. Podczas badania określa się właściwości fizyczne moczu: barwę, przejrzystość, pH oraz ciężar właściwy, a także obecność niektórych substancji, np.: białek, glukozy, ciał ketonowych, bilirubiny i urobilinogenu (**ryc. 1.13.5.**).

funkcja
wydzielnicza nerek

analiza składu
moczu



- barwa – różne odcienie żółci, najczęściej słomkowa
- przejrzystość – bez zmętnień
- odczyn – kwaśny (pH 4,8–6,4)
- ciężar właściwy – 1,005–1,025 g/l
- białko – brak
- glukoza – brak
- urobilinogen – 0,1 mg
- bilirubina – brak
- ciała ketonowe – brak
- osady – brak
- nabłonek płaski – nieliczne komórki
- krwinki białe – pojedyncze w polu widzenia (1–5)
- krwinki czerwone – do kilku w polu widzenia (0–3)
- bakterie – brak

Ryc. I.13.5. Prawidłowe wyniki badania moczu.

Mocz zdrowej osoby powinien być **przejrzysty** o barwie od jasnożółtej do słomkowej. **Zmętnienie moczu** jest sygnałem infekcji bakteryjnej. Barwa moczu wynika z obecności barwników. Intensywne zabarwienie wskazuje na duże zagęszczenie moczu, czyli spożywanie zbyt małej ilości płynów. **Barwa brązowa** może świadczyć o problemach z pęcherzykiem żółciowym lub o zapaleniu wątroby, czyli żółtaczce. Kolor moczu mogą zmienić barwniki ze spożywanych pokarmów czy składniki leków przechodzące do moczu, np. po zjedzeniu buraczków mocz staje się różowy. **Odczyn moczu** jest od lekko kwaśnego do lekko zasadowego i jego zmiana najczęściej wynika z rodzaju spożywanych pokarmów – dieta bogata w białko (pokarmy zwierzęce) podnosi odczyn, a bogata w pokarmy roślinne – obniża go. **Ciężar właściwy moczu** przez dłuższy czas niższy od 1005 g/l występuje u osób z przewlekłą niewydolnością nerek. W moczu zdrowej osoby nie stwierdza się występowania białka, glukozy, bilirubiny ani ciał ketonowych, ponieważ ich stężenia są bardzo niskie i trudne do wykrycia. Ilość białka u zdrowych ludzi wynosi ok. **100 mg/dobę**, a wzrost do **powyżej 300 mg/dobę** jest określany jako białkomocz patologiczny. Wskazuje on na choroby lub uszkodzenia nerek. Białkomocz czasami występuje u osób zdrowych, po wysiłku fizycznym lub u kobiet w ciąży i wówczas jest nazywany **białkomoczem fizjologicznym** (powyżej 250 mg/dobę).

niewydolność
nerek

Prawidłowe stężenie glukozy we krwi wynosi **3,9–6,1 mmol/l**. Jeśli ta wartość zostanie przekroczona powyżej **10–11 mmol/l** (tzw. **próg nerkowy**), wówczas glukoza nie zostaje wchłonięta zwrótnie w kanalikach nerkowych i pojawi się w moczu ostatecznym. Oznacza to **cukromocz (glikozuria)**, który najczęściej towarzyszy cukrzycy. Cukromocz może towarzyszyć nadciśnieniu, wysiłkowi fizycznemu i gorączce. **Bilirubina** powstaje w wyniku rozpadu barwnika krwi – hemu podczas rozkładu krwinek czerwonych. Jej obecność w moczu ostatecznym jest efektem niedrożno-



ści dróg żółciowych (żółtaczką mechaniczną) lub wirusowego uszkodzenia wątroby. Stężenie pochodnej bilirubiny, **urobilinogenu** (powstaje na skutek działania enzymów bakteryjnych w świetle przewodu pokarmowego), wynosi w moczu zdrowego człowieka **ok. 0,05–4,0 mg/dobę**. Wzrost wartości powyżej normy wskazuje na uszkodzenie wątroby. **Ciała ketonowe** są związkami chemicznymi powstającymi z przemian tłuszczów w wątrobie. Ich obecność w moczu świadczy o wykorzystaniu do wytworzenia energii tłuszczów zamiast cukrów, co towarzyszy cukrzycy, anoreksji czy bulimii.

Po odwirowaniu moczu w uzyskanym osadzie mogą występować pojedyncze złuszczone komórki nabłonka dróg moczowych, pojedyncze leukocyty lub erytrocyty. **Obecność licznych komórek nabłonka** wskazuje na zakażenia układu moczowego, a **leukocytów** – na stan zapalny dróg moczowych. Jeśli w moczu ostatecznym pojawiają się **świeże erytrocyty**, to świadczy to o **krwiomoczu**, co może być sygnałem uszkodzenia naczyń w obrębie układu moczowego. Osad zawierający **związki mineralne** w postaci kryształów szczawianów lub fosforanów wapnia sygnalizuje wystąpienie **kamicy nerkowej**. Rosnące kamienie mogą osiągać znaczne rozmiary i blokować przepływ moczu z pęcherza moczowego.

Kamica nerkowa objawia się napadami ostrego bólu – tzw. kolki nerkowej. W leczeniu tej choroby stosuje się dietę niskokaloryczną ubogą w sól, leki rozkurczające, a w cięższych przypadkach kamienie można rozkruszać mechanicznie lub za pomocą ultradźwięków. W diagnostyce kamicy nerkowej stosuje się także **USG nerek** (obrazowanie narządu za pomocą fal ultradźwiękowych) oraz **urografię**. Urografia jest badaniem radiologicznym z wykorzystaniem promieniowania rentgenowskiego oraz środka kontrastowego. Pozwala na obserwację pracy nerek i przepływu moczu przez moczowody, pęcherz i cewkę moczową. Urografię, USG jamy brzusznej oraz nerek stosuje się także w diagnostyce innych schorzeń układu moczowego.

Infekcje wirusowe i bakteryjne są częstą przyczyną **stanów zapalnych nerek** (odmiedniczkowych i kłębuszkowych), pęcherza moczowego i cewki moczowej. Najczęściej objawiają się bólem w okolicy lędźwiowej i częstym oddawaniem moczu. Aby uniknąć tych infekcji, należy przestrzegać zasad higieny osobistej.

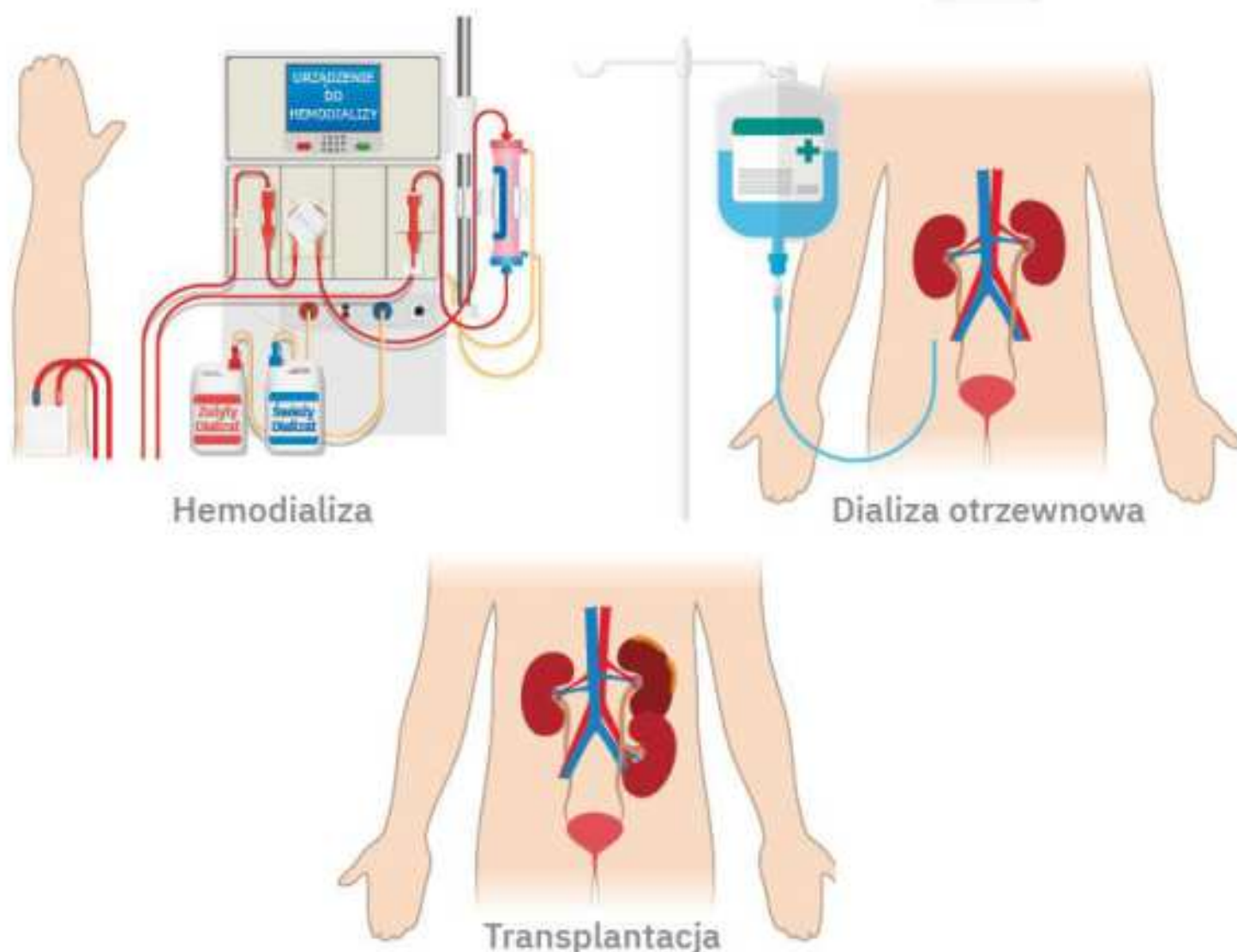
Szczególnie niebezpieczna jest **niewydolność nerek**, której objawami mogą być: zmiana ilości wydalanego moczu w ciągu doby, osłabienie, brak apetytu, niedokrwistość, skłonność do krwawień z przewodu pokarmowego. Przyczyną tego schorzenia są choroby nerek, a także nadciśnienie tętnicze i cukrzyca. Prowadzi to do zaburzeń gospodarki wodnej i mineralnej, zatrucia organizmu produktami przemiany materii i w konsekwencji do śmierci. **Ostry stan niewydolności nerki** wymaga interwencji medycznej – **przeszczepu nerki** lub **dializy** (ryc. I.13.6.).

Najczęściej stosuje się dwie metody dializy: hemodializę i dializę otrzewnową. **Hemodializa** polega na usuwaniu produktów przemiany materii i wody lub leków oraz toksyn z krwi pacjenta poprzez sztuczną błonę półprzepuszczalną. Krew jest wielokrotnie przepompowywana na zewnątrz ciała do dializatora (tzw. sztucznej nerki). Podczas dializy krew krąży pomiędzy dializatorem a pacjentem. Zostaje oczyszczona, a następnie wraca do organizmu chorego. W Polsce hemodializa jest wykonywana wyłącznie w warunkach szpitalnych i najczęściej odbywa się raz w tygodniu.



Dializa otrzewnowa przypomina hemodializę, jednak funkcję półprzepuszczalnej błony dializacyjnej pełni otrzewna, która wyściela jamę brzuszną i pokrywa znajdujące się w niej narządy.

Do jamy brzusznej pacjenta wprowadza się specjalnie przygotowany płyn dializacyjny (zawierający m.in. wodę, glukozę, NaCl, CaCl₂, MgCl₂, octan sodu) przez cewnik umieszczony na dnie jamy otrzewnej. Ten cewnik pozwala na swobodne wprowadzanie i wyprowadzanie płynu z otrzewnej. Szkodliwe produkty przemiany materii przechodzą z naczyń krwionośnych przez błonę otrzewnej do płynu dializacyjnego. Ten rodzaj dializy można przeprowadzać przez kilka godzin w ciągu doby w domu pacjenta.



Ryc. I.13.6. Metody leczenia ostrej niewydolności nerek.

Najskuteczniejszą metodą leczenia ostrej niewydolności nerek jest **przeszczep**. Jednak zabieg ten wymaga znalezienia odpowiedniego dawcy o takiej samej grupie krwi i zgodności tkankowej. Czas oczekiwania jest dość długi, pacjent po przeszczepie musi przyjmować leki immunosupresyjne, zapobiegające odrzuceniu przeszczepu, a niekiedy po wielu latach mimo stosowania takiej terapii organizm sam odrzuca przeszczepioną nerkę i następuje powrót do dializoterapii.

Do najważniejszych działań profilaktycznych w zapobieganiu chorobom układu wydalniczego należą:

- przestrzeganie higieny osobistej w celu ochrony przed zakażeniami drobnoustrojami,



- regularne opróżnianie pęcherza moczowego,
- dieta uboga w sól, gdyż sól w wysokim stężeniu utrudnia wchłanianie wody w nefronach,
- picie codziennie ok. 2 litrów płynów, dzięki którym nie tworzy się w nerkach zagęszczony mocz,
- kontrolne badanie moczu przynajmniej raz w roku i po przebytych infekcjach bakteryjnych migdałków, zapaleniach zatok i stanach zapalnych zębów.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wyjaśnij różnice między wydalaniem a defekacją.
2. Przedstaw rolę, jaką odgrywają nerki w utrzymaniu procesu homeostazy.
3. Wykaż związek hormonalnej regulacji pracy nerek z utrzymaniem homeostazy organizmu.
4. Przeanalizuj wyniki badania dwóch pacjentów (zamieszczone w tabeli) i wykonaj polecenia w zeszycie.

Cechy	Pacjent I	Pacjent II
barwa	żółta	jasnożółta
odczyn	kwaśny	kwaśny
białko	0,3 mg	brak
cukier	brak	brak
krwinki czerwone	50 w polu widzenia	2–3 w polu widzenia
krwinki białe	40 w polu widzenia	2–5 w polu widzenia
bakterie	brak	nieliczne

- a) Podaj, który z pacjentów ma nieprawidłowy wynik badania moczu.
 - b) Wskaż nieprawidłowe parametry analizy moczu i podaj, o jakich schorzeniach mogą świadczyć.
5. Wyjaśnij, jakie znaczenie dla pacjentów z ostrą niewydolnością nerek ma przeszczep tego narządu.
 6. Wykonaj obserwację opisaną na stronie 396 podręcznika.

PODSUMOWANIE LEKCJI

s. 120

Na utrzymanie równowagi w organizmie człowieka składają się osmoregulacja oraz **wydalanie produktów przemiany materii** – głównie mocznika. Taką funkcję pełnią nerki, skóra, płuca i układ pokarmowy.

s. 121

Jednostką strukturalną i funkcjonalną nerek jest **nefron** zbudowany z ciałka nerkowego i kanalików nerkowych.

s. 122

Powstanie moczu jest złożonym procesem, na który składa się filtracja, resorpcja i sekrecja.

s. 123

Mocz ostateczny to roztwór mocznika, barwników i niektórych soli mineralnych.

s. 124

Nerki oprócz funkcji wydalniczej pełnią **funkcję wydzielniczą**.

s. 124

Analiza składu moczu pozwala na rozpoznanie wielu chorób, które mogą być niebezpieczne dla zdrowia, a nawet dla życia człowieka.

s. 125

Dializa i przeszczep nerek to metody leczenia **niewydolności nerek**.



14. Budowa i funkcje układu hormonalnego

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz rodzaje gruczołów dokrewnych i hormonów przez nie wydzielanych;
- dowiesz się, w jaki sposób zachodzi regulacja wydzielania i działania hormonów.

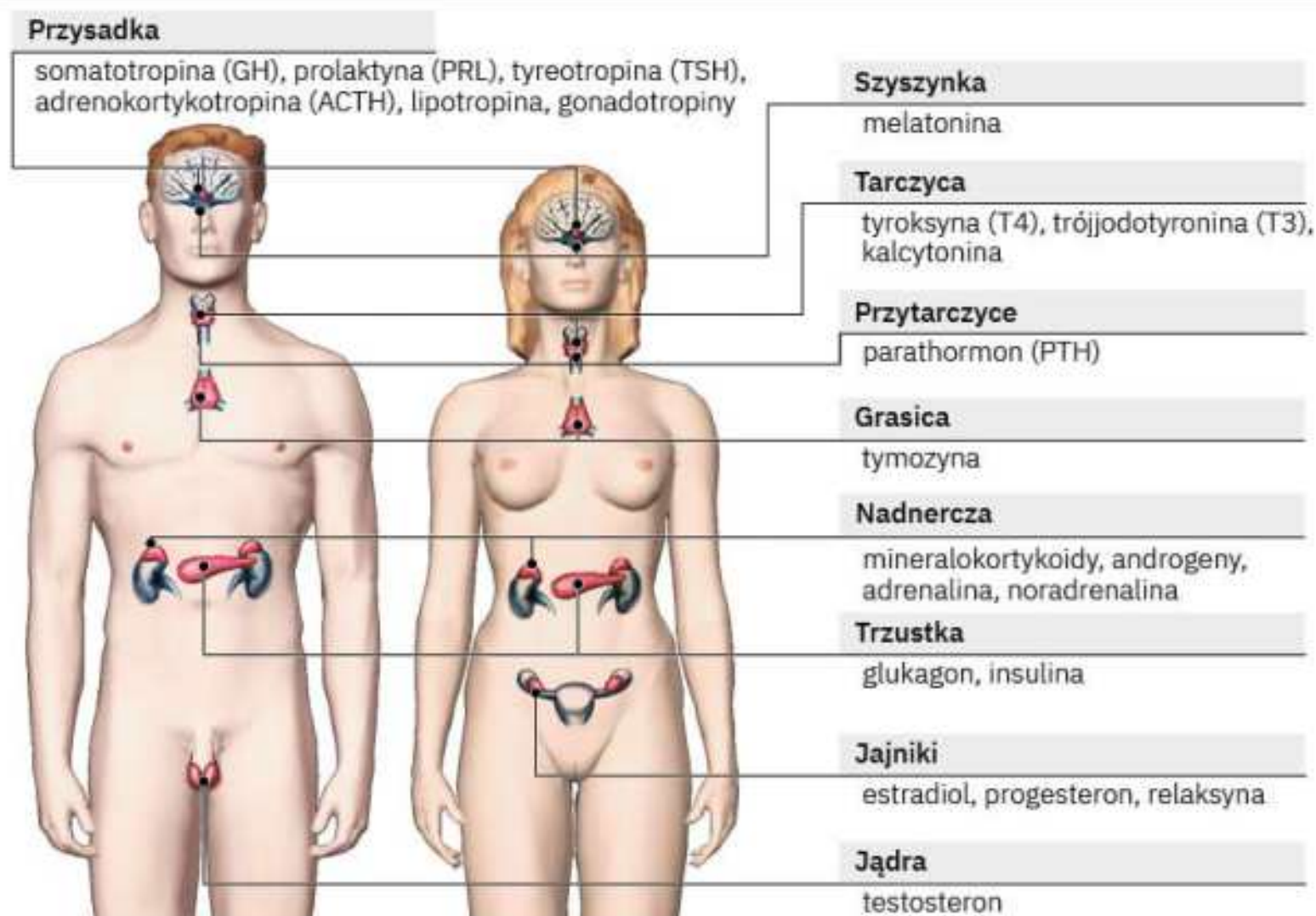
Precyzyjna regulacja i koordynacja działania organizmu jest zapewniona dzięki współpracy autonomicznego układu nerwowego oraz **układu hormonalnego (dokrewnego, układu wydzielania wewnętrznego)**. Na układ wydzielania wewnętrznego składają się gruczoły zlokalizowane w różnych częściach organizmu i fizycznie ze sobą niepowiązane. Układ ten działa za pośrednictwem **hormonów** wydzielanych przez gruczoły bezpośrednio do krwi lub limfy. Po dotarciu do tkanek i komórek docelowych hormony wpływają na ich wzrost i metabolizm. Badaniem funkcjonowania hormonów zajmuje się **endokrynologia**.

układ dokrewny

Gruczoły dokrewne i hormony przez nie wydzielane

gruczoły dokrewne

Gruczoły dokrewne są rozrzucone po całym organizmie (ryc. I.14.1.).



Ryc. I.14.1. Gruczoły układu hormonalnego są zlokalizowane w różnych częściach organizmu. Każdy z gruczołów wydziela określony typ hormonów.



Budowa i podział hormonów

hormony



Pod względem chemicznym **hormony** są związkami organicznymi. Uwzględniając ich budowę chemiczną, dzielimy je na:

- **hormony pochodne aminokwasów** (np. adrenalina, tyroksyna, melatonina);
- **hormony polipeptydowe** (np. hormon wzrostu, insulina);
- **hormony steroidowe** – pochodne cholesterolu; hormony te są rozpuszczalne w tłuszczach i łatwo przenikają przez błony lipidowe (hormony kory nadnerczy i gonad).

Hormony są wydzielane do płynów ustrojowych (krew, limfa, płyn tkankowy) i wraz z nimi docierają do miejsc docelowych, gdzie wiążą się z odpowiednimi receptorami. Wpływają one na reakcje biochemiczne i fizjologiczne zachodzące w komórce w celu utrzymania homeostazy. Hormony ze względu na zakres i miejsce działania dzielimy na:

- **hormony o działaniu ogólnym** – wpływają na komórki docelowe za pośrednictwem układu krwionośnego (hormony przysadki, nadnerczy, tarczycy, jajników, jąder, przytarczyc, trzustki i łożyska);
- **hormony o działaniu miejscowym** – działają w bezpośrednim sąsiedztwie miejsca ich wytwarzania (np. histamina, serotonina).

hormony tkankowe

Hormony tkankowe są wytwarzane przez komórki lub grupy komórek inne niż gruczoły dokrewne. Wpływają na czynność innych narządów albo w miejscu swojego uwalniania, albo poprzez układ krążenia. Do hormonów tkankowych należą m.in. erytropoetyna, gastryna i histamina (**tab. I.14.1.**).

Tab. I.14.1. Wybrane hormony tkankowe

Hormon tkankowy	Miejsce wytwarzania	Funkcja
erytropoetyna	nerki i wątroba	namnażanie i dojrzewanie erytrocytów
gastryna	żołądek i dwunastnica	stymulacja wydzielania kwasu żołądkowego; odpowiada za prawidłowy stan błony śluzowej żołądka
histamina	płuca, skóra, błona śluzowa nosa i żołądka	udział w procesach zapalnych i w odczynie alergicznym; pobudza wydzielanie kwasu żołądkowego; neuroprzebieżnik

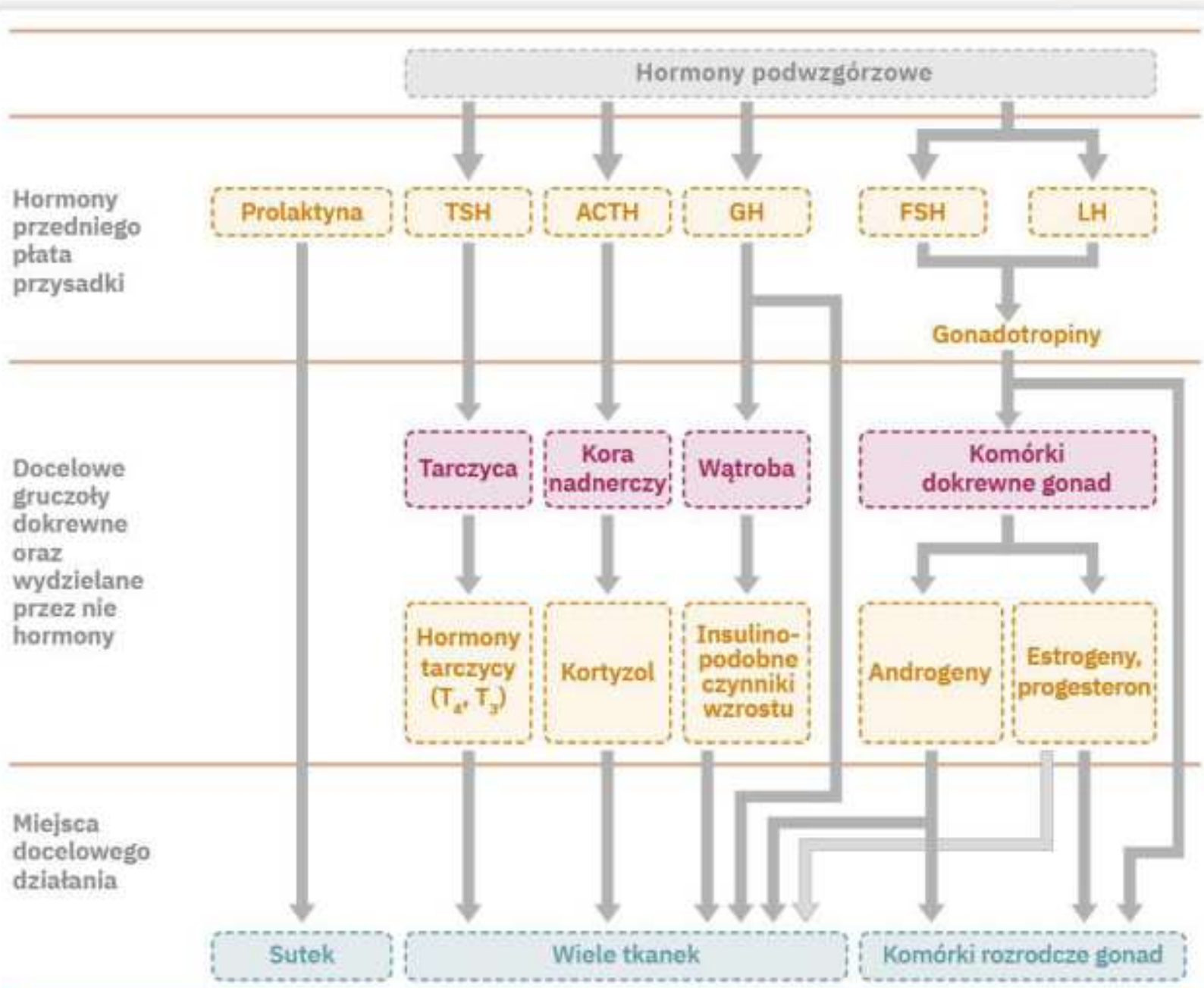
Regulacja wydzielania hormonów

Prawidłowe działanie hormonów zależy od właściwego ich stężenia, gdyż każde odchylenie od normy prowadzi do poważnych zaburzeń w funkcjonowaniu organizmu. Niebezpieczny jest zarówno niedobór hormonów, jak i ich nadmiar (**tab. I.14.1.**). Regulacja stężenia hormonów w płynach ustrojowych podlega bardzo precyzyjnej kontroli.



Aktywność wydzielniczą organizmu reguluje **podwzgórze**, czyli część mózgu odgrywająca rolę strukturalno-funkcjonalnego „łącznika” między układami nerwowym i hormonalnym (ryc. I.14.2.). Podwzgórze jest połączone naczyniami krwionośnymi z **przysadką mózgową** i za pośrednictwem krwi reguluje jej aktywność. W odpowiedzi na określony bodziec podwzgórze produkuje **hormony pobudzające** lub **hamujące**, które wpływają na produkcję hormonów w przysadce. Przysadkę budują trzy płaty: tylny, środkowy i przedni (ryc. I.14.2.). Wydzielane w podwzgórze hormony docierają do przedniego i środkowego płata przysadki, która pod ich wpływem uwalnia **hormony tropowe** regulujące aktywność innych gruczołów dokrewnych, np. tarczycy, kory nadnerczy czy gonad. Tylne płat magazynuje i uwalnia hormony produkowane w podwzgórze: oksytocynę i wazopresynę. Ze względu na swoją funkcję przysadka jest nazwana **nadrzędnym gruczołem wydzielniczym**, a opisany układ – **osią podwzgórzowo-przysadkową** (ryc. I.14.2.).

oś podwzgórzowo-przysadkowa



Ryc. I.14.2. Oś podwzgórzowo-przysadkowa.



Tab. I.14.2. Hormony osi podwzgórzowo-przysadkowej

Hormony przedniego płata przysadki	Podwzgórzowe hormony uwalniające	Podwzgórzowe hormony hamujące
prolaktyna		dopamina
tyreotropina, hormon tyreotropowy (TSH)	hormon uwalniający tyreotropinę (TRH)	
hormon adrenokortykotropowy (ACTH)	hormon uwalniający kortykotropinę (CRH)	
hormon wzrostu (GH), somatotropina	hormon uwalniający hormon wzrostu (GHRH)	somatostatyna, hormon hamujący hormon wzrostu
gonadotropiny: hormon folikulotropowy (FSH), hormon luteinizujący (LH)	hormon uwalniający gonadotropinę (GnRH)	

ujemne
sprzężenie zwrotne

Ujemne sprzężenie zwrotne



Ryc. I.14.3. Regulacja działania kortyzolu odbywa się na zasadzie ujemnego sprzężenia zwrotnego.

Utrzymanie homeostazy organizmu zależy od właściwego stężenia hormonów. Ponieważ ich działanie dotyczy całego organizmu, wymaga koordynacji na wielu etapach. Przykładem jest mechanizm **sprzężenia zwrotnego ujemnego** działający na zasadzie pętli, w której końcowa odpowiedź (uwolnienie hormonu) stanowi informację zwrotną dla bodźca wyjściowego (przysadki). Pozwala to na utrzymanie stabilności całego układu oraz stężenia hormonów na żądanym poziomie. Mechanizm sprzężenia zwrotnego ujemnego dotyczy wielu hormonów, m.in. kory nadnerczy, tarczycy czy gonad. Zasada działania zostanie przedstawiona na przykładzie kortyzolu – najważniejszego hormonu kory nadnerczy. Jego główną rolą jest ochrona przed spadkiem glukozy we krwi (hipoglikemią), która odbywa się przez regulację pracy glukagonu, a ponadto pobudzanie glukoneogenezy, rozpadu tłuszczów i białek w mięśniach szkieletowych. Wydzielanie kortyzolu spada w nocy, a wzrasta rano oraz w czasie stresu. Szlak kontroli jego wydzielania na osi podwzgórzowo-przysadkowo-nadnerczowej rozpoczyna się od hormonu pobudzającego produkowanego przez podwzgórze (CRH) i uwalnianego do przedniego płata przysadki. Hormon ten pobudza uwalnianie z przysadki kortykotropiny (ACTH), która z kolei pobudza syntezę i wydzielanie kortyzolu. Jego wydzielanie działa jak sygnał zwrotny dla ujemnego sprzężenia zwrotnego, który hamuje wydzielanie odpowiednich hormonów – podwzgórzowego i przysadkowego (**ryc. I.14.3.**). Kontrola wydzielania hormonów tarczycy oraz hormonów gonad przebiega według tego samego wzorca: podwzgórze – przysadka – gruczoł dokrewny (tarczyca, jajniki lub jądra).



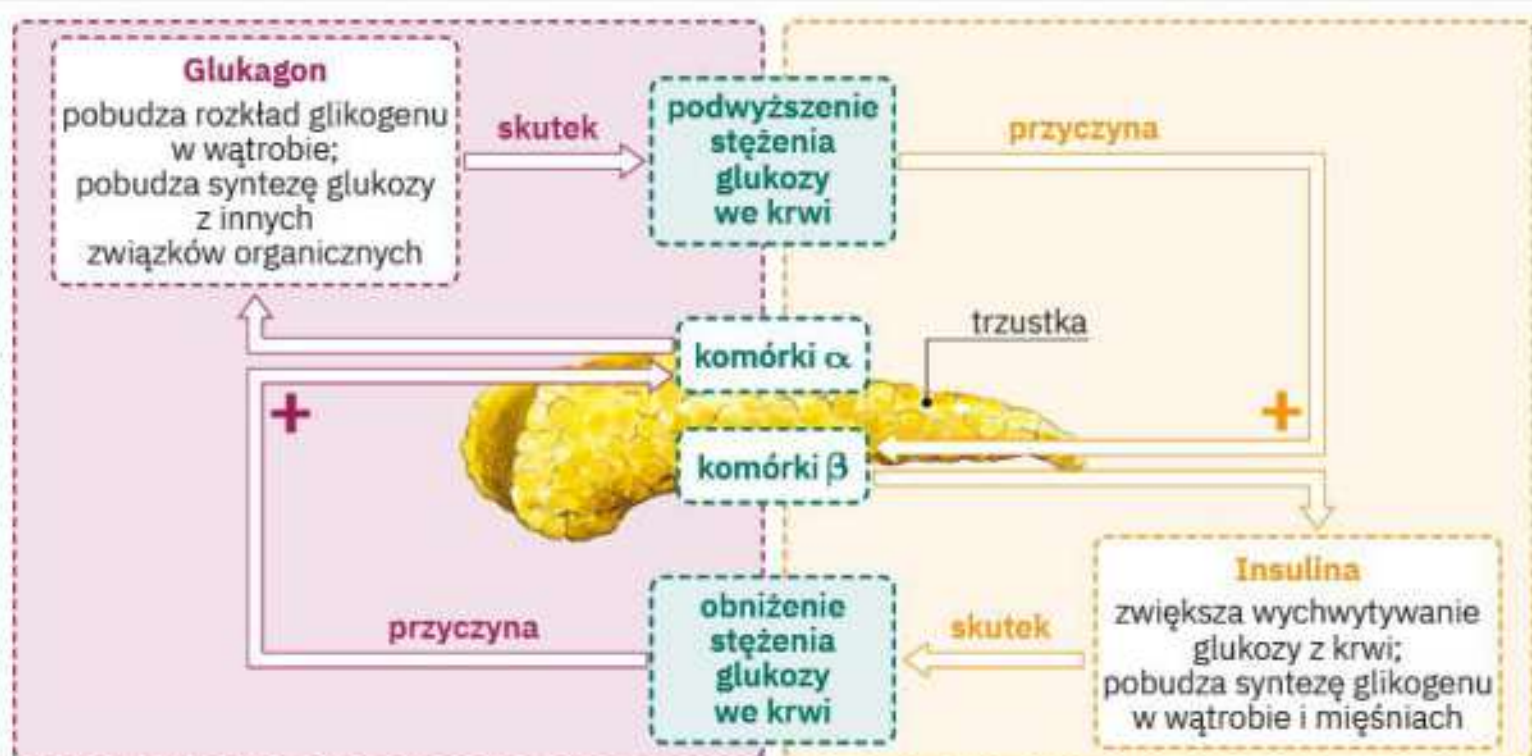
antagonistyczne
działanie
hormonów

Antagonistyczne działanie hormonów

Działanie niektórych hormonów jest przeciwstawne (antagonistyczne). W taki sposób działają na przykład hormony wydzielane przez komórki wysp trzustki: insulina i glukagon oraz hormony regulujące gospodarkę wapniową organizmu.

Większość wapnia w organizmie (aż 99%) znajduje się w kościach. Reszta wapnia pełni kilka ważnych funkcji fizjologicznych, m.in. w procesie krzepnięcia krwi, w szlakach sygnałowych czy w regulacji pobudliwości komórek nerwowych. Obrót jonami Ca^{2+} w organizmie jest regulowany przez dwa hormony: **parathormon** wydzielany przez przytarczycę oraz **kalcytoninę** produkowaną przez tarczycę. Główną funkcją parathormonu jest podnoszenie poziomu Ca^{2+} w osoczu, m.in. poprzez zwiększenie jego uwalniania z kości lub zwiększenie wchłaniania w jelitach. Z kolei kiedy poziom Ca^{2+} w osoczu wzrasta, zostaje uwolniona kalcytonina, która obniża jego poziom. Hormon ten wpływa na zmniejszenie uwalniania Ca^{2+} z kości i zwiększenie wydalania wapnia przez nerki. Oprócz wymienionych hormonów gospodarkę wapniową reguluje także **kalcytriol**, czyli **witamina D₃**. Zwiększa on wchłanianie wapnia w jelitach.

Utrzymywanie stałego poziomu glukozy we krwi zależy od przeciwstawnego działania dwóch hormonów: **insuliny** i **glukagonu** (ryc. I.14.4.). Insulina obniża stężenie glukozy we krwi, a glukagon je podnosi. Wzrost stężenia glukozy (np. po posiłku) stymuluje wydzielanie insuliny. Spadek stężenia glukozy następuje m.in. w wyniku pobudzania przez insulinę transportu glukozy do komórek oraz wzmacniania syntezy glikogenu. Z kolei podwyższanie stężenia glukozy we krwi przez glukagon odbywa się np. poprzez stymulację rozkładu glikogenu do glukozy. Jego wydzielanie wzrasta w okresach między posiłkami, w czasie głodówki oraz w trakcie wzmożonego wysiłku fizycznego (ryc. I.14.4.).



Ryc. I.14.4. Antagonistyczne działanie insuliny i glukagonu zapewnia utrzymanie prawidłowego stężenia glukozy we krwi.



cukrzyca

Cukrzyca – przewlekłe podwyższenie poziomu glukozy we krwi

Cukrzyca objawia się wysokim poziomem glukozy we krwi. Jest to choroba cywilizacyjna, która dotyka coraz więcej ludzi na całym świecie (dane z 2019 r. mówią o prawie 430 mln ludzi na świecie, w Polsce ponad 2 mln). Cukrzyca prowadzi do zaburzeń kardiologicznych, neurologicznych, obniżenia odporności, utraty wzroku czy chorób nerek, a tym samym zwiększa ryzyko przedwczesnej śmierci.

cukrzyca
typu I i II

Przyczyny cukrzycy są dwójakiego rodzaju. W przypadku **cukrzycy typu I** stwierdza się niedobór insuliny będący efektem niszczenia przez organizm własnych komórek trzustki (autoagresja). W **cukrzycy typu II** insulina występuje w prawidłowej ilości, ale komórki mają upośledzoną zdolność do jej wiązania i wykorzystania. Porównanie obu typów cukrzycy przedstawiono w **tabeli I.14.3**. Znaczny wzrost zachorowań na cukrzycę typu II jest związany z otyłością i siedzącym trybem życia. Dlatego profilaktyka cukrzycy polega na racjonalnym odżywianiu, utrzymywaniu właściwej masy ciała, zwiększeniu aktywności fizycznej oraz regularnym kontrolowaniu poziomu glukozy we krwi. Leczenie cukrzycy typu II rozpoczyna się poprzez modyfikację diety i wzmożenie aktywności fizycznej. Jeśli to nie przynosi skutków, stosuje się insulinoterapię (podawanie insuliny w zastrzykach) (**ryc. I.14.5**). W przypadku cukrzycy typu I chorym podaje się insulinę.

A



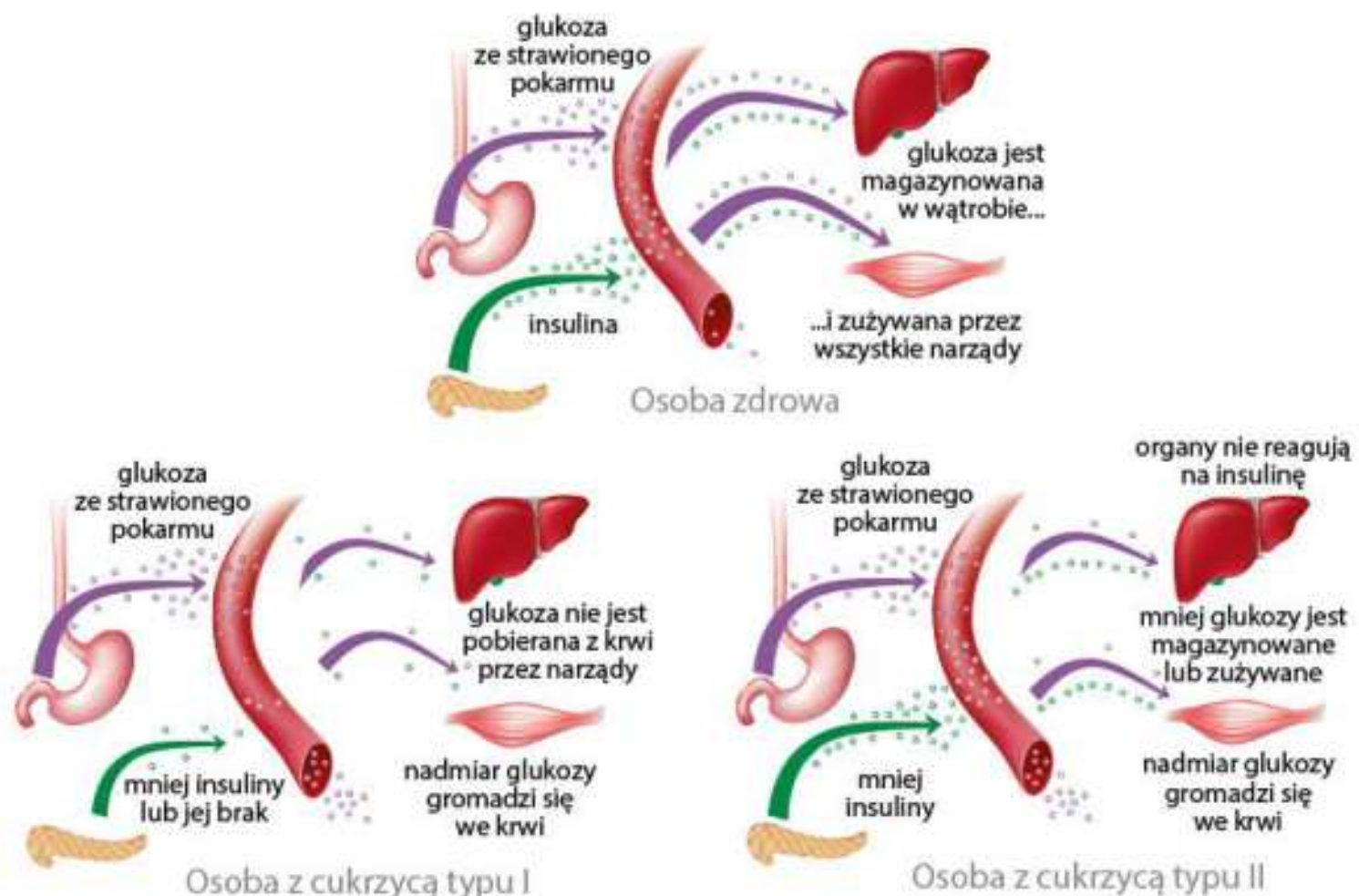
B



Ryc. I.14.5. Dobbowe pomiary poziomu glukozy we krwi wykonuje się za pomocą glukometru (A). Leczenie cukrzycy często wymaga podawania insuliny w zastrzykach (B).

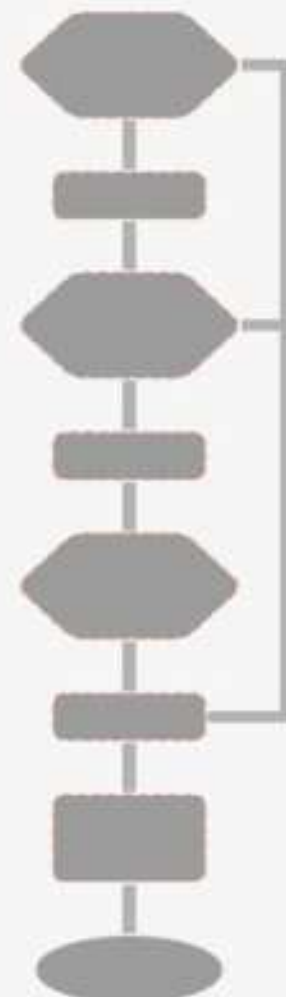
Tab. I.14.3. Porównanie cukrzycy typu I i II

Cecha	Cukrzyca typu I	Cukrzyca typu II
Przyczyna	niedobór insuliny w organizmie (choroba autoimmunizacyjna)	upośledzona zdolność wiązania insuliny (choroba cywilizacyjna)
Wiek zachorowania	6. miesiąc życia – wczesna dorosłość	okres dojrzewania lub później
Objawy	ostre, gwałtowne (nagłe chudnięcie, częstomocz, silne pragnienie)	powoli narastające w czasie, początkowo niezauważalne (senność, zmęczenie, sucha skóra)
Częstotliwość badania poziomu cukru we krwi	kilka razy w ciągu doby	raz na jakiś czas
Leczenie	zawsze insuliną	dieta, rzadziej insulina
Częstość występowania	ok. 10% zachorowań na cukrzycę	ok. 90% wszystkich zachorowań na cukrzycę



ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

- Narysuj w zeszycie tabelę dotyczącą rodzajów hormonów, które wyróżnia się na podstawie ich budowy, a następnie zaklasyfikuj wymienione poniżej hormony do jednej z trzech grup.
adrenalina, melatonina, insulina, kortyzol, testosteron, hormon wzrostu, tyroksyna, progesteron
- Przerysuj schemat do zeszytu. Dorysuj groty strzałek, tak aby schemat obrazował szlak kontroli i mechanizm sprzężenia zwrotnego wydzielania kortyzolu. Podpisz następujące elementy: *podwzgórze, przysadka, nadnercze*.
- Wyjaśnij mechanizm hormonalnej regulacji gospodarki wapniowej w organizmie.
- Wytłumacz, czym różnią się przyczyny i objawy cukrzycy typu I i II.
- W dostępnych źródłach znajdź aktualne informacje dotyczące liczby zachorowań na oba typy cukrzycy oraz liczbę zgonów będących wynikiem tej choroby. Sporządź wykresy w zeszycie.
- Wykonaj obserwację opisaną na stronie 397 podręcznika.





PODSUMOWANIE LEKCJI

- s. 129 **Układ dokrewny** działa za pośrednictwem hormonów wydzielanych do krwi.
- s. 129 **Gruzoły dokrewne** znajdują się w różnych miejscach organizmu: przysadka, tarczyca, przytarczyce, szyszynka, nadnercza, trzustka, jajniki, jądra.
- s. 130 **Hormony** są pochodnymi aminokwasów (np. adrenalina), polipeptydami (np. insulina), steroidami (kortyzol, testosteron, estrogeny).
- s. 130 **Hormony** mogą działać ogólnoustrojowo (np. hormony tarczycy, przysadki) i lokalnie (np. gastryna).
- s. 130 Do **hormonów tkankowych** zaliczamy erytropoetynę, gastrynę czy histaminę.
- s. 131 Aktywność wydzielnicza gruczołów dokrewnych jest regulowana na **osi podwzgórze–przysadka–gruczoł dokrewny**. Podwzgórze uwalnia hormony pobudzające lub hamujące, które wpływają na produkcję hormonów tropowych w przysadce, a te z kolei regulują wydzielanie hormonów w gruczole docelowym (np. w nadnerczach).
- s. 132 Wydzielanie hormonów jest regulowane m.in. poprzez mechanizm **ujemnego sprzężenia zwrotnego** – uwolnienie hormonu stanowi informację zwrotną dla przysadki i podwzgórza w celu zahamowania jego dalszego wydzielania.
- s. 132 Na zasadzie **ujemnego sprzężenia zwrotnego** jest regulowane wydzielanie m.in. kortyzolu, hormonów tarczycy czy hormonów gonad.
- s. 133 Działanie niektórych hormonów jest **przeciwstawne (antagonistyczne)**, np. insulina obniża poziom glukozy we krwi, a glukagon go podnosi, parathormon podnosi poziom wapnia w osoczu, a kalcytonina go obniża.
- s. 134 **Cukrzyca** to choroba cywilizacyjna, która objawia się wysokim poziomem glukozy we krwi.
- s. 134 Przyczyną **cukrzycy typu I** jest niedobór insuliny będący efektem niszczenia przez organizm własnych komórek trzustki. W **cukrzycy typu II** występuje upośledzenie wiązania i wykorzystania insuliny.
- s. 134 Ryzyko zachorowania na **cukrzycę typu II** jest większe u osób z otyłością i prowadzących siedzący tryb życia. Nieleczona cukrzyca przyczynia się do powstawania poważnych powikłań zdrowotnych.

15. Fizjologiczna rola hormonów

NA TEJ LEKCJI:

- dowiesz się, w jaki sposób hormony regulują wzrost i tempo metabolizmu;
- poznasz rolę hormonów w reakcjach na stres;
- zapoznasz się ze skutkami niedoboru lub nadmiaru hormonów w organizmie.

Hormony wydzielane przez gruczoły dokrewne wpływają na szereg funkcji fizjologicznych w naszym organizmie. Do najważniejszych z nich należy regulacja wzrostu i tempa metabolizmu. Hormony odgrywają także kluczową rolę w reakcjach na stres.



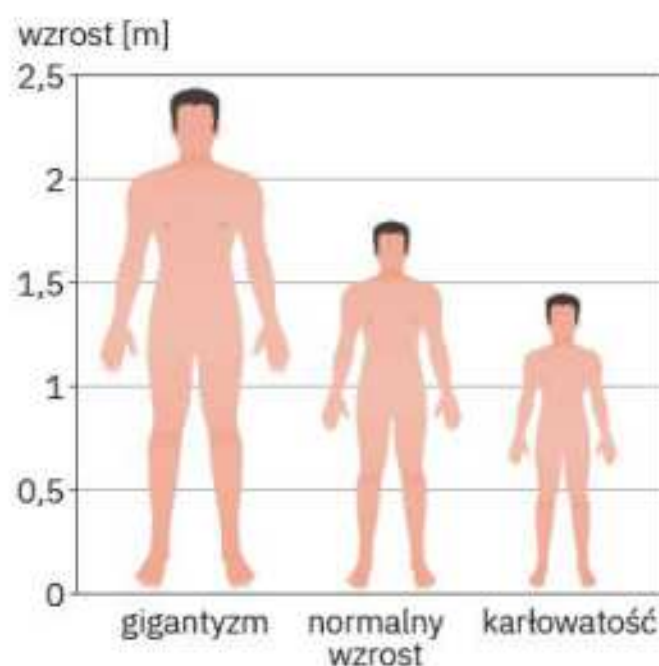
Hormonalna kontrola metabolizmu i rozwoju

Wzrost człowieka jest procesem ciągłym, ale nie stałym. Szybkość rozwoju jest najwyższa w pierwszych dwóch latach życia i w okresie dojrzewania. Prawidłowy wzrost jest uzależniony od wielu czynników, takich jak: dieta, brak przewlekłego stresu, uwarunkowania genetyczne, oraz od hormonów, głównie tarczycy, hormonu wzrostu, insuliny i hormonów płciowych.

wzrost człowieka

U człowieka przemiany metaboliczne są regulowane przez hormony tarczycy. Tarczyca jest zbudowana z dwóch typów komórek. Jedne z nich wydzielają kalcytoninę (omówiona wyżej), a drugie – **hormony tarczycy**, czyli **trójiodotyroninę** (T_3 , FT_3) oraz **tyroksynę** (T_4 , FT_4). Hormony te zawierają jod, dlatego prawidłowe funkcjonowanie tarczycy zależy od wystarczającej ilości tego pierwiastka w diecie. Hormony tarczycy są niezbędne do prawidłowego wzrostu i rozwoju u dzieci, gdyż wpływają na prawidłowe działanie hormonu wzrostu oraz są istotne dla rozwoju kości. Niemowlęta z niedoborem tych hormonów wymagają natychmiastowego leczenia, bez którego będą opóźnione w rozwoju. U dorosłych główną funkcją hormonów tarczycy jest dostarczanie substratów (przede wszystkim glukozy) do metabolizmu tlenowego i zwiększanie zużycia tlenu w tkankach. Nasilenie przemian dostarczających energii zachodzi m.in. w wyniku pobudzania przez te hormony rozkładu glikogenu w wątrobie, a także przez stymulację rozkładu tłuszczów w tkankach. Hormony te odpowiadają także za utrzymanie prawidłowego ciśnienia krwi, tętna i napięcia mięśniowego. Zmiany poziomu hormonów tarczycy (nadczynność i niedoczynność tarczycy) prowadzą do poważnych zaburzeń metabolicznych (**tab. I.15.1.**).

hormony tarczycy



Ryc. I.15.1. Niedobór hormonu wzrostu prowadzi do karłowatości, a jego nadmiar – do gigantyzmu.

Hormon wzrostu (GH, z ang. *growth hormone*, czytaj: grołt hormon) jest wydzielany przez całe życie, ale największe znaczenie ma u dzieci. Uwalnia go przedni płat przysadki, a najintensywniejsze jego wydzielanie zachodzi w pierwszych godzinach snu. Hormon wzrostu pobudza syntezę białek, co stymuluje wzrost tkanek, kości i chrząstki. Ponadto hormon wzrostu pobudza rozpad tłuszczów i uwalnianie glukozy z wątroby. Niedobór hormonu wzrostu w dzieciństwie prowadzi do **karłowatości**, z kolei jego nadmierne wydzielanie – do **gigantyzmu** (**ryc. I.15.1.**). U dorosłych wysoki poziom GH powoduje **akromegalię**.

hormon wzrostu

Hormonalna kontrola reakcji na stres

reakcja na stres

Główną rolę w reakcjach na stres odgrywają hormony nadnerczy. Nadnercza są zbudowane z zewnętrznej warstwy, czyli **kory**, oraz centralnie położonego **rdzenia**. Zmianami fizjologicznymi zachodzącymi pod wpływem stresu (przyspieszony od-



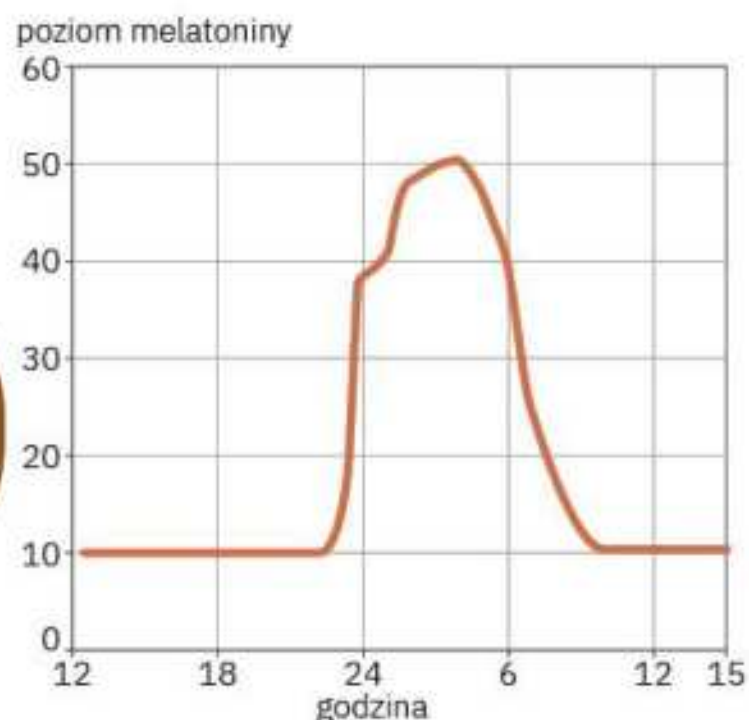
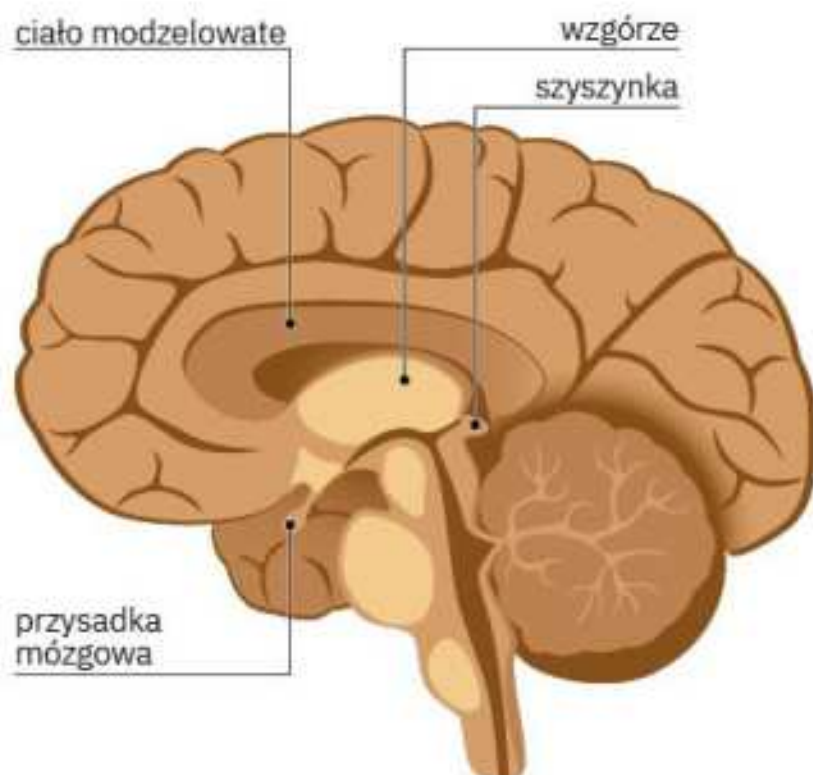
dech i tętno, tężenie mięśni) sterują hormony rdzenia nadnerczy: **adrenalina** oraz **noradrenalina**. Ich głównym zadaniem jest zmobilizowanie organizmu do wyzwolenia dużych ilości energii możliwej do natychmiastowego wykorzystania. Hormony te stymulują rozpad glikogenu w wątrobie i w mięśniach szkieletowych oraz rozkład tłuszczów w tkance tłuszczowej. Produkty tych reakcji – glukoza oraz kwasy tłuszczowe – stanowią źródło energii dla komórek uczestniczących w reakcjach „walcz lub uciekaj”. Dodatkowo adrenalina i noradrenalina powodują wzrost częstotliwości skurczów serca oraz rozszerzenie oskrzelików, co zwiększa ilość tlenu dostarczanego do tkanek. To działanie adrenaliny jest także wykorzystywane u chorych na astmę. W razie ataku astmy adrenalina rozszerza drogi oddechowe i pobudza czynność serca. W reakcji na stres oprócz rdzenia nadnerczy bierze udział także kora tego gruczołu. Wydziela dwa typy gruczołów: glikokortykosteroidy oraz mineralokortykosteroidy. Do glikokortykosteroidów należy kortyzol, którego udział w reakcjach na stres opisano wcześniej. Mineralokortykosteroidy, do których zalicza się **aldosteron**, uczestniczą głównie w utrzymaniu równowagi jonowej i wodnej m.in. krwi. Stymulowane przez aldosteron w reakcji na silny stres, wzmożone wchłanianie jonów sodu i wody prowadzi do wzrostu objętości oraz ciśnienia krwi.



melatonina

Hormonalna kontrola rytmu dobowego

Funkcje organizmu związane z długością dnia i nocy (zmianami natężenia światła w różnych porach roku) reguluje **melatonina**. Jest to hormon wydzielany przez **szyszynkę**, niewielki gruczoł znajdujący się w mózgu ssaków (**ryc. I.15.2.**). Melatonina uwalnia się w nocy, a jej ilość zależy od długości nocy – im dłuższa noc, tym większa ilość wydzielonego hormonu (tak jest m.in. w zimie). Jest przekaźnikiem, który przesyła informacje o cyklu światło–ciemność do ośrodka w mózgu, który kieruje zegarem biologicznym. Melatonina reguluje cykl sen–czuwanie, a ponadto jest silnym antyoksydantem.



Ryc. I.15.2. Szyszynka wydziela melatoninę w godzinach nocnych.



nadmiar lub
niedobór
hormonów

Choroby układu dokrewnego

Zachowanie zdrowia zależy od równowagi pomiędzy hormonami, ponieważ w przypadku jej zaburzenia rozwijają się choroby. Do najważniejszych przyczyn chorób endokrynologicznych należy **nadmiar** lub **niedobór hormonów**. Dodatkowo zaburzenia czynności hormonów mogą także być związane z niewłaściwą odpowiedzią tkanek docelowych na te substancje. Nadmiar hormonów wynika ze zwiększonego ich wydzielania (hipersekrecji), a jego przyczyną mogą być m.in. guzy, nowotwory, uszkodzenia czy zanik gruczołu dokrewnego. Podobnie objawy niedoboru hormonu pojawiają się na skutek zbyt małej jego ilości (hiposekrecji). Zaburzenia pracy gruczołów dokrewnych prowadzące do nadmiernego ich uwalniania nazywamy **nadczynnością gruczołu**. W przypadku niedoboru hormonów mówimy o **niedoczynności gruczołu**. W tabeli I.15.1. przedstawiono najważniejsze skutki niedoboru i nadmiaru hormonów.

Tab. I.15.1. Skutki niedoboru i nadmiaru najważniejszych hormonów

Gruczoł	Hormony	Skutki niedoboru (niedoczynności gruczołu)	Skutki nadmiaru (nadczynności gruczołu)
Przysadka	hormony tropowe	zbliżone do zaburzeń gruczołów, na które działają	
	hormon wzrostu	niedobór w dzieciństwie – karłowatość (właściwe proporcje ciała, ale niski wzrost)	w okresie wzrostu – gigantyzm (olbrzymi, ale proporcjonalny wzrost), po zakończeniu wzrostu – akromegalia (powiększanie się części ciała – dłoni, stóp, serca)
Szyszynka	melatonina	przyspieszone dojrzewanie	obniżenie płodności, opóźnienie dojrzewania
Tarczycza	tyroksyna (T_4) trójjodotyronina (T_3)	powiększenie tarczycy (wole endemiczne), u dorosłych obrzęk śluzowaty (sucha szorstka skóra, nalana twarz), u dzieci ogólny niedorozwój umysłowy i fizyczny	choroba Gravesa–Basedowa (autoimmunologiczna) – utrata masy ciała, szybka przemiana materii, wole, zwiększona pobudliwość nerwowa, drżenie rąk, wytrzeszcz oczu
Przytarczycze	parathormon	zwiększona pobudliwość nerwowa (mrowienie, skurcze mięśni szkieletowych lub oddechowych)	demineralizacja kości, bóle kostne, utrudnione chodzenie; złogi wapnia w nerkach
Nadnercza	adrenalina noradrenalina (rdzeń nadnerczy)	–	skoki nadciśnienia, utrata masy ciała, wysoki poziom glukozy we krwi (hiperglikemia)
	kortyzol (kora nadnerczy)	choroba Addisona: brak łaknienia, wymioty, bóle brzucha, spadek masy ciała, przebarwienia skóry	zespół Cushinga: odkładanie tłuszczu na twarzy i karku, zaburzenia metabolizmu lipidowego i węglowodanowego, spadek odporności



Gruzoł	Hormony	Skutki niedoboru (niedoczynności gruczolu)	Skutki nadmiaru (nadczynności gruczolu)
Trzustka	insulina (komórki B trzustki)	związany z cukrzycą typu I	hipoglikemia – zmniejszenie poziomu cukru we krwi, utrata przytomności, ryzyko śmierci
	glukagon (komórki A trzustki)	–	–
Jądra	testosteron	sylwetka męska nabiera kobiecych kształtów, zaokrąglone biodra, pojawienie się piersi, łysienie, obniżone libido, zmęczenie, depresja	infekcje, stany zapalne, depresja
Jajniki	estrogeny	zaburzenia miesiączkowania, niepłodność, zanik II-rzędowych cech płciowych (męska sylwetka), nadmierne owłosienie, obniżenie barwy głosu, osteoporoza	zaburzenia miesiączkowania, wzrost ryzyka zakrzepów i zatorów, obrzęki i zastój wody, przyrost masy ciała, powiększenie piersi, migrena, wymioty, złe samopoczucie
	progesteron	zaburzenia miesiączkowania, poronienia, niepłodność, sucha skóra, wypadanie włosów	obrzęki, zastój wody, żylaki

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

- Skonstruuj w zeszycie tabelę, w której porównasz wpływ kortyzolu, hormonów tarczycy i hormonu wzrostu na metabolizm białek, węglowodanów oraz lipidów.
- Przeczytaj informację dotyczącą wskazań do stosowania pewnego leku, który jest naturalnie występującym hormonem, a następnie wykonaj polecenia w zeszycie.

[...] Wspomagająco w zaburzeniach rytmu dobowego snu i czuwania u niewidomych, zaburzeniach snu związanych z szybką zmianą stref czasowych w czasie podróży międzykontynentalnych (jet lag), zaburzeniach snu związanych z zaburzeniami rytmu snu i czuwania, np. w związku z pracą na zmiany. Monoterapia w krótkotrwałym leczeniu pierwotnej bezsenności, charakteryzującej się niską jakością snu, u pacjentów ≥ 55. r.ż. [...]

 - Podaj, jakiego hormonu dotyczy opis.
 - Wskaż gruczoł dokrewny, który produkuje ten hormon.
- Wytłumacz, jaką wspólną cechę mają pojęcia: *akromegalia*, *karłowatość* i *gigantyzm*. Wyjaśnij różnice między nimi.



4. Wydzielanie hormonów tarczycy (FT_3 , FT_4) jest regulowane na osi podwzgórze–przysadka–tarczyca. Podwzgórzowe hormony uwalniające stymulują wydzielanie hormonu tyreotropowego (TSH) przez przysadkę, który pobudza tarczycę do uwalniania FT_3 i FT_4 .

Poniżej przedstawiono wynik badania pewnego pacjenta.

Wyniki badań laboratoryjnych		
Oznaczenie (jednostka)	Wynik	Norma*
TSH (mU/ml)	<0,005	0,27–4,2
FT_4 (ng/ml)	1,79	0,93–1,7
FT_3 (pg/ml)	4,64	2,57–4,43
przeciwciała anti-TSHR (U/l)	0,2	0–1
przeciwciała anti-TPO (U/ml)	33	0–50
przeciwciała anti-TG (U/ml)	358	0–100
* wartości referencyjne w laboratorium, w którym wykonano oznaczenie		

a) Określ, o czym świadczą przedstawione wyniki – o nadczynności czy niedoczynności tarczycy – u tego pacjenta.

b) W leczeniu niedoczynności tarczycy stosuje się lek będący syntetycznym odpowiednikiem tyroksyny (tzw. lewotyroksynę). Określ, dlaczego i jaki efekt wywołuje lewotyroksyna w niedoczynności.

PODSUMOWANIE LEKCJI

Prawidłowy **wzrost człowieka** na poziomie hormonalnym jest regulowany przez aktywność wydzielniczą przysadki (hormon wzrostu), tarczycy (trójiodotyronina i tyroksyna), trzustki (insulina) oraz gonad (estrogeny, androgeny).

s. 137

Hormony tarczycy są niezbędne do prawidłowego wzrostu i rozwoju u dzieci, gdyż regulują prawidłowe działanie hormonu wzrostu i odpowiadają za rozwój kości. U dorosłych hormony te pobudzają procesy przemiany materii i zwiększają zużycie tlenu w tkankach.

s. 137

Hormon wzrostu pobudza syntezę białek, przez co stymuluje wzrost tkanek i kości. Pobudza rozpad tłuszczów i uwolnienie glukozy z wątroby. Maksimum jego wydzielania przypada na okres nocy.

s. 137

W **reakcji na stres** biorą udział hormony nadnerczy: adrenalina, noradrenalina, kortyzol i aldosteron. Ich rolą jest rozkład makrocząsteczek komórkowych (glikogenu, tłuszczów) i wyzwolenie energii do natychmiastowego wykorzystania w reakcjach „walki lub ucieczki”.

s. 137

Melatonina wydzielana przez szyszynkę reguluje funkcje organizmu zależne od długości dnia i nocy.

s. 138

Niedobór hormonów wiąże się z niedoczynnością gruczołów dokrewnych i prowadzi do zaburzeń w funkcjonowaniu organizmu, np. niedobór hormonu wzrostu przyczynia się do karłowatości, a niedobór kortyzolu – do choroby Addisona.

s. 139

Nadmiar hormonów jest związany z nadczynnością gruczołów dokrewnych i prowadzi do poważnych chorób, np. choroby Gravesa–Basedowa w przypadku nadmiaru hormonów tarczycy.

s. 139



16. Regulacja nerwowa i budowa układu nerwowego

NA TEJ LEKCJI:

- zrozumiesz, w jaki sposób powstaje i jest przewodzony impuls nerwowy;
- porównasz działanie synapsy pobudzającej i hamującej;
- poznasz reakcje odruchowe oraz budowę i funkcje obwodowego i ośrodkowego układu nerwowego;
- przeanalizujesz budowę i funkcje autonomicznego układu nerwowego;
- dowiesz się, w jaki sposób emocje, stres i uzależnienia wpływają na organizm człowieka;
- poznasz choroby neurologiczne i metody ich rozpoznawania.

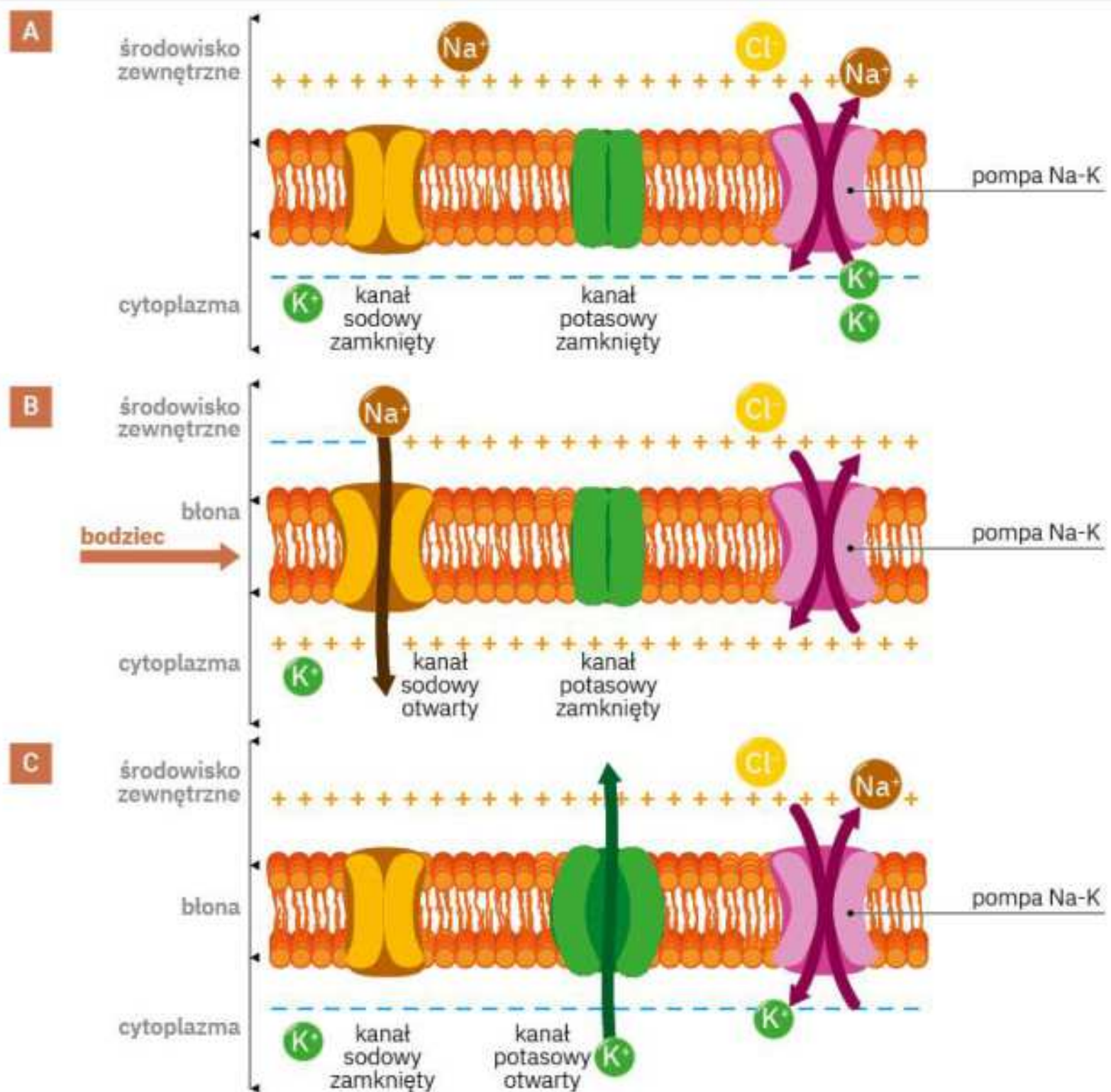
układ nerwowy

Układ nerwowy jest złożoną strukturą koordynującą pracę całego organizmu. Do głównych funkcji układu nerwowego należą **odbieranie, przekazywanie, przetwarzanie** oraz **przechowywanie informacji** docierających z zewnątrz, a także z wewnętrznego środowiska organizmu. Układ nerwowy adaptuje organizm do zmiennych warunków środowiska. Jego podstawową i funkcjonalną strukturą jest komórka nerwowa – **neuron**.

przewodzenie impulsów nerwowych

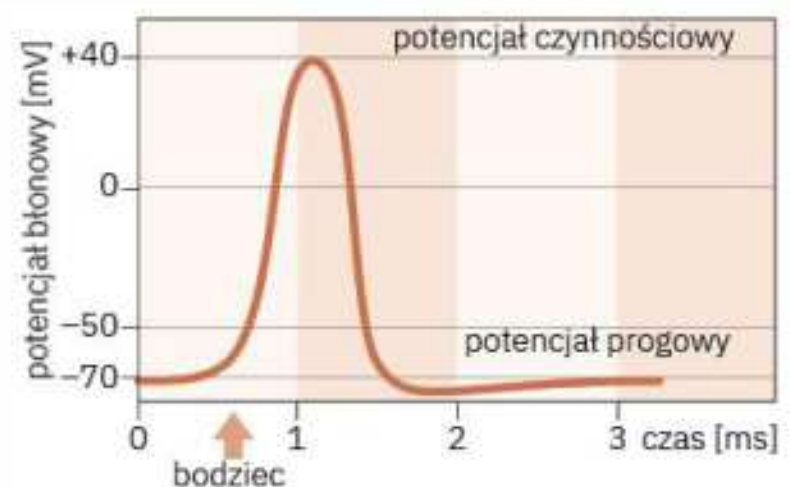
Impuls nerwowy

Błona komórkowa neuronów jest spolaryzowana, co oznacza nierównomierne rozmieszczenie ładunków elektrycznych w poprzek błony. Po jej wewnętrznej stronie znajduje się więcej ujemnych ładunków niż po stronie zewnętrznej. W efekcie zewnętrzna powierzchnia błony neuronu **jest naładowana dodatnio**, a wewnętrzna – ujemnie. Taki stan nazywa się polaryzacją błony. Nierównomierne rozmieszczenie jonów wokół błony komórkowej jest wynikiem zróżnicowanej przepuszczalności błony dla różnych jonów. W stanie spoczynku błona komórkowa jest dobrze przepuszczalna dla jonów potasu, a prawie nieprzepuszczalna dla jonów sodu. Jony potasu stale opuszczają komórkę, co zwiększa ładunek dodatni na powierzchni neuronu. Całkowitemu wypływowi jonów potasu z komórki zapobiega **pompa sodowo-potasowa**, która aktywnie transportuje jony potasu przez błonę komórkową do wnętrza neuronu i równocześnie jony sodu na zewnątrz neuronu. Pompa sodowo-potasowa pozwala na utrzymanie na powierzchni neuronu ładunku dodatniego, a we wnętrzu – ładunku ujemnego. Źródłem energii dla pompy sodowo-potasowej jest **ATP**. Różnica potencjałów między zewnętrzną a wewnętrzną powierzchnią błony wynosi **-70 mV**. Jest to **potencjał spoczynkowy, który warunkuje gotowość neuronu do odbioru bodźców (ryc. I.16.1.)**.



Ryc. I.16.1. Zjawiska elektrochemiczne w błonie neuronu: błona spolaryzowana (A), depolaryzacja błony (B), repolaryzacja błony (C).

Pod wpływem działania bodźca (elektrycznego, chemicznego lub mechanicznego) błona neuronu zwiększa przepuszczalność dla jonów sodu (Na^+), które wnikają do wnętrza komórki, powodując lokalne zmniejszenie wartości potencjału spoczynkowego, czyli **depolaryzację** małego obszaru błony. Depolaryzacja rozchodzi się w krótkim czasie (kilka milisekund) wzdłuż całego neuronu, co nazywa się **impulsem nerwowym** lub **potencjałem czynnościowym** (ryc. I.16.2.). W miejscu powstania potencjału



Ryc. I.16.2. Potencjał czynnościowy.



czynnościowego błona neuronu traci na kilka sekund wrażliwość. Po ustaniu działania bodźca na błonę powraca ona do stanu wyjściowego i odzyskuje pierwotny potencjał spoczynkowy, co nazywamy **repolaryzacją błony**.

synapsa**Synapsy**

Przekazywanie impulsu nerwowego następuje za pomocą synapsy. W zależności od rodzaju neuroprzekaźnika i efektu, jaki powoduje, wyróżniamy **synapsy pobudzające i hamujące**. W synapsach pobudzających neuroprzekaźnik powoduje przepływ kationów do wnętrza komórki, co wywołuje depolaryzację błony postsynaptycznej, dzięki czemu następuje generowanie potencjału czynnościowego błony neuronu.

W synapsach hamujących neuroprzekaźnik powoduje otwieranie kanałów chlorkowych, przez które jony chlorkowe przedostają się do wnętrza neuronu, obniżając potencjał błonowy, co wywołuje **hiperpolaryzację** – proces prowadzący do zmniejszenia wrażliwości błony. Dzięki synapsom hamującym bodźce o nieistotnym znaczeniu wygasają.

Używki, jak alkohol, kofeina, tytoń czy narkotyki, mają istotny wpływ na działanie synaps, powodując zaburzenia w wydzielaniu neuroprzekaźników. Prowadzi to do stanów lękowych, euforycznych, zaburzeń równowagi czy koordynacji ruchów. Synapsy pobudzające i hamujące regulują działanie komórek nerwowych.

Budowa układu nerwowego

Podział układu nerwowego przeprowadza się na podstawie **kryterium anatomicznego i czynnościowego**.

**ośrodkowy
i obwodowy
układ nerwowy**

W układzie nerwowym według kryterium anatomicznego wyróżniamy **ośrodkowy (centralny) układ nerwowy (OUN)** oraz **obwodowy układ nerwowy (tab. I.16.1.)**.

Tab. 16.I.1. Anatomiczny podział układu nerwowego

Ośrodkowy układ nerwowy (podział kliniczny)			Obwodowy układ nerwowy
Mózgowie	mózg	kresomózgowie	12 par nerwów czaszkowych
	pień mózgu	międzymózgowie (wzgórze, podwzgórze, przysadka, szyszynka) śródmózgowie tyłomózgowie wtórne (rdzeń przedłużony i most)	
	móżdżek	część tyłomózgowia	
Rdzeń kręgowy			31 par nerwów rdzeniowych zwoje nerwowe, sploty nerwowe receptory i zakończenia nerwowe



układ nerwowy
somatyczny
i autonomiczny

Ośrodkowy układ nerwowy jest zbudowany z **mózgowia** i **rdzenia kręgowego**. Obwodowy układ nerwowy tworzą **nerwy czaszkowe (12 par)** i **rdzeniowe (31 par)**, **zwoje i sploty nerwowe** oraz **zakończenia nerwowe odbierające bodźce (receptory)**. Według kryterium czynnościowego układ nerwowy dzielimy na **układ somatyczny** i **autonomiczny (wegetatywny; AUN)** (ryc. I.16.3.).

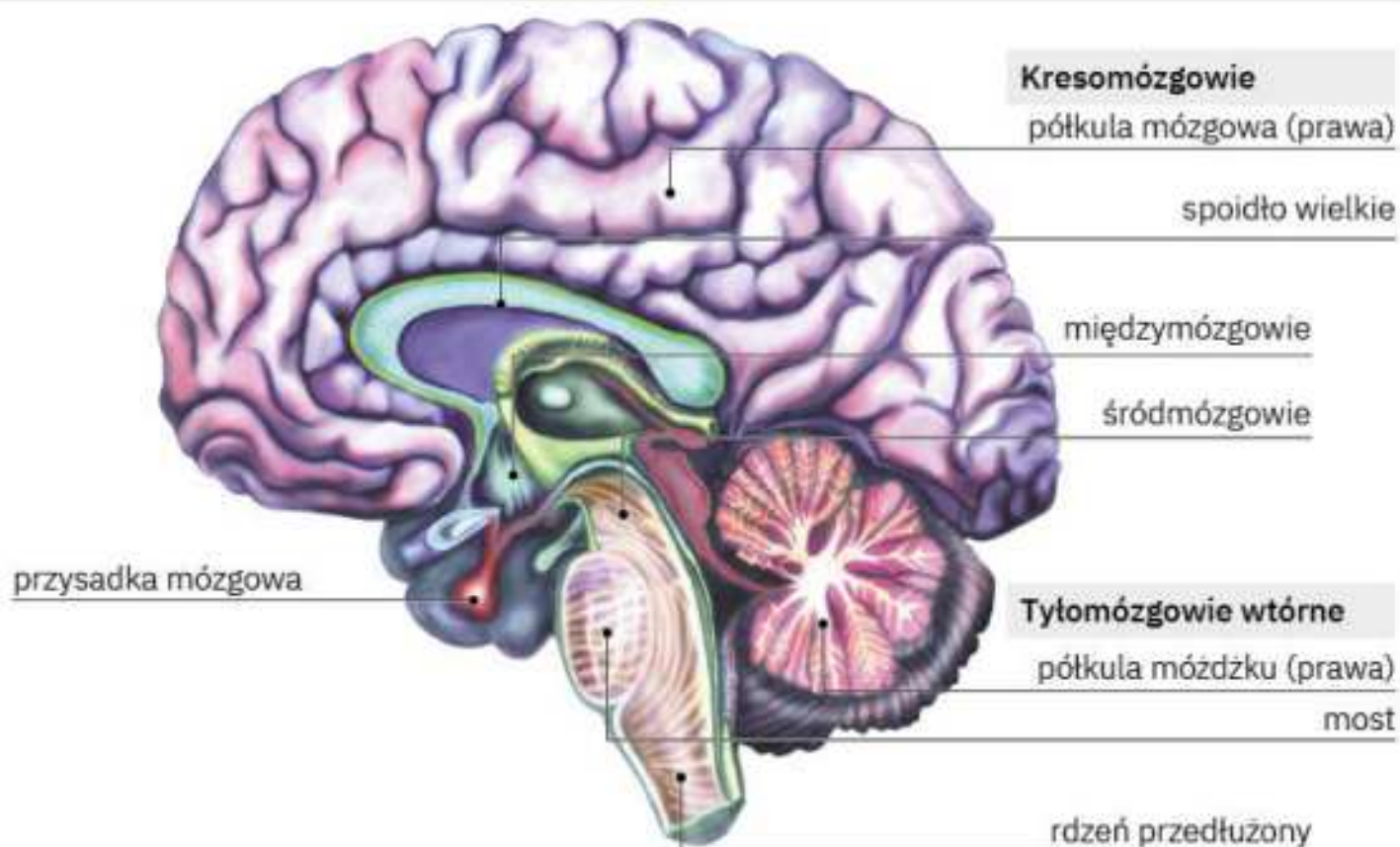


Ryc. I.16.3. Somatyczny i autonomiczny układ nerwowy.

Podział i budowa mózgowia

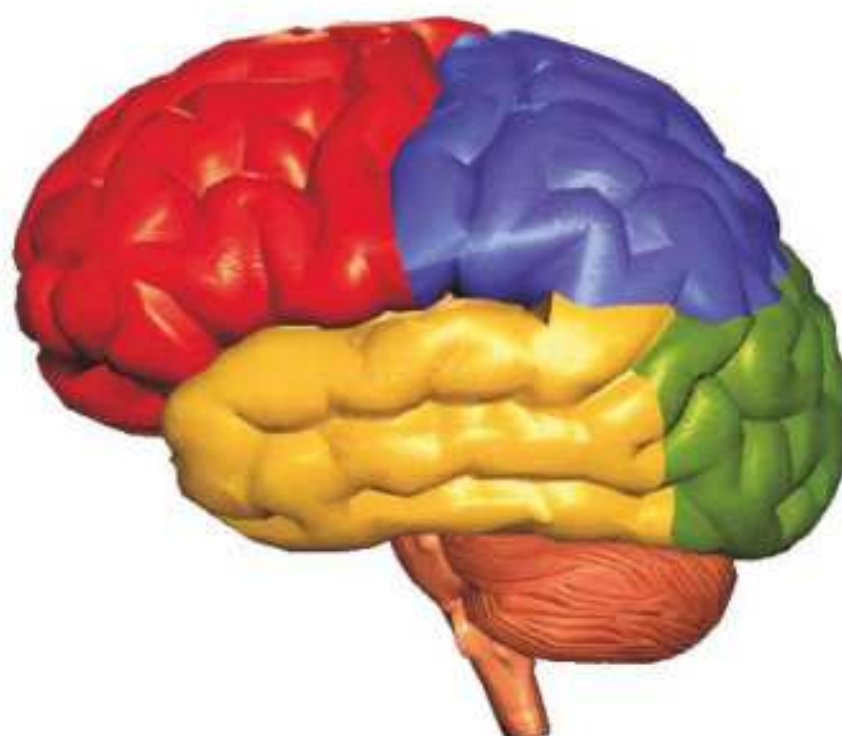
Mózgowie jest nadrzędną częścią ośrodkowego układu nerwowego. Waży około 1,4 kg, co stanowi zaledwie 2% całkowitej masy ciała. Wzrost mózgowia poprzez powiększanie wypustek neuronu i rozwoju tkanki glicyjowej zostaje zakończony ok. 20. roku życia. Mózgowie można podzielić na podstawie rozwoju mózgowia w czasie rozwoju zarodkowego oraz podziału stosowanego w medycynie (podział kliniczny). Według pierwszego kryterium ten narząd dzielimy na: **kresomózgowie**, **międzymózgowie**, **śródmózgowie**, **tyłomózgowie wtórne (móżdżek i most)** oraz **rdzeń przedłużony**. W podziale klinicznym kresomózgowie stanowi mózg, międzymózgowie, śródmózgowie. Most i rdzeń przedłużony określa się jako pień mózgu, a osobną część stanowi móżdżek (część tyłomózgowia wtórnego) (ryc. I.16.4.).

Największą częścią mózgowia jest **kresomózgowie**. Składa się ono z **dwóch półkul** połączonych **spoidłem wielkim**. Większą część kresomózgowia stanowi pokrywająca je z zewnątrz **kora mózgowa** – warstwa istoty szarej (ciała komórek nerwowych). Pod nią znajduje się istota biała (wypustki komórek nerwowych). Tworzą ją gęsto ułożone komórki nerwowe, których liczba wynosi ok. 10 milionów. Każda komórka nerwowa tworzy synapsy (ok. 6 tys.), co daje ogromne możliwości przekazywania impulsów nerwowych. Dodatkowo półkule są bardzo silnie pofałdowane, co znacznie zwiększa ich powierzchnię.



Ryc. I.16.4. Budowa mózgowia.

W każdej półkuli można wyróżnić **cztery płaty**: **czołowy**, **ciemieniowy**, **skroniowy** i **potyliczny** (ryc. I.16.5.). Grupy neuronów tworzą wyspecjalizowane w odbiorze i przekazywaniu impulsów **ośrodki nerwowe (korowe)** zlokalizowane w płatach. Do najważniejszych należą ośrodki słuchu i mowy w płacie skroniowym, wzroku w płacie potylicznym, ośrodek ruchu i ośrodki psychiczne w płacie czołowym oraz ośrodek czuciowy (dotyk, ból, ciepło, zimno) w płacie ciemieniowym.



■ płat czołowy ■ płat skroniowy ■ płat potyliczny ■ płat ciemieniowy

Ryc. I.16.5. Rozmieszczenie płatów w półkuli mózgowej.



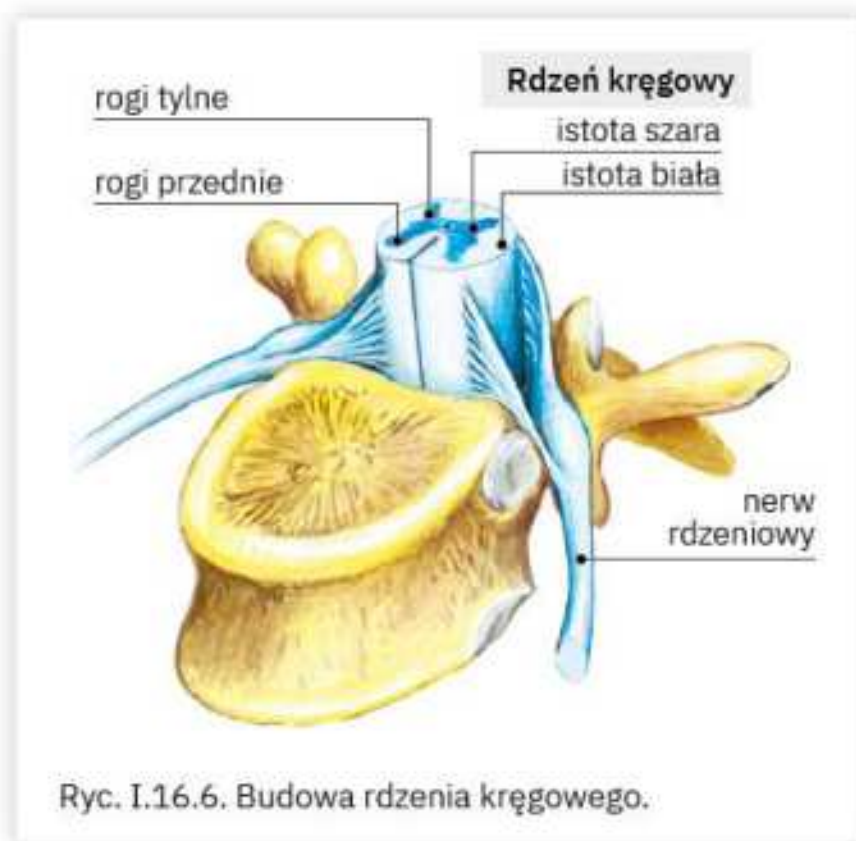
Międzymózgowie jest niewielką strukturą mózgowia, której istotną częścią jest podwzgórze. Mieszczą się tutaj ośrodki czynności wegetatywnych (niezależnych od naszej woli), np. termoregulacji, pragnienia, głodu i sytości. Międzymózgowie jest centrum koordynacji nerwowej i hormonalnej. Ośrodki w międzymózgowiu działają na stany motywacyjne – zdobywania (dążenie do zaspokojenia potrzeby) i unikania (dążenie do odrzucenia bodźca przez ucieczkę).

Śródmózgowie jest niewielką częścią pnia mózgu odpowiedzialną za koordynację pracy mięśni gałki ocznej.

Tyłomózgowie wtórne leży bezpośrednio za śródmózgowiem. Składa się z móżdżku i z mostu. **Móżdżek** jest zbudowany z dwóch półkul połączonych robakiem. Powierzchnię móżdżku pokrywa istota szara – kora móżdżku. Mieszczą się tu ośrodki regulujące napięcie mięśni szkieletowych (tzw. *tonus*), co wpływa na utrzymanie odpowiedniej postawy ciała i umożliwia poruszanie się. **Most** jest położony między śródmózgowiem a rdzeniem przedłużonym. Odpowiada za przekazywanie impulsów z mózgu do móżdżku, np. dostarcza informacje o sygnałach sterujących mięśniami.

Rdzeń przedłużony stanowi najbardziej pierwotną część mózgowia. Jest naturalnym przedłużeniem rdzenia kręgowego. Od góry przechodzi w most. Mieszczą się w nim ośrodki nerwowe kontrolujące takie podstawowe czynności życiowe, jak połykanie, żucie, ssanie, ruchy oddechowe i częściowo pracę serca. W rdzeniu przedłużonym krzyżują się także drogi nerwowe.

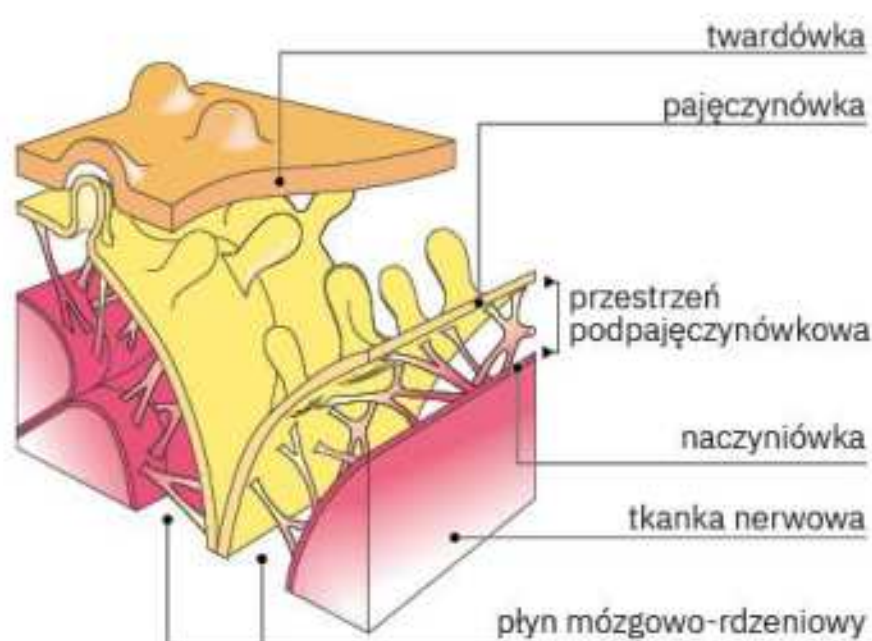
Rdzeń kręgowy przebiega przez kanał kręgowy kręgosłupa. Od zewnątrz rdzeń tworzy istota biała, a pod nią leży istota szara (odwrotnie niż w korze mózgowej), układając się na przekroju w kształt litery H. Istota szara tworzy rogi brzuszne (przednie) oraz rogi grzbietowe (tylne). Wnętrze rdzenia stanowi **kanał centralny** wypełniony płynem mózgowo-rdzeniowym (**ryc. I.16.6.**). Rdzeń kręgowy uczestniczy w przekazywaniu impulsów z mózgowia do narządów wykonawczych i uczestniczy w odruchach bezwarunkowych.





Ochrona ośrodkowego układu nerwowego

Ośrodkowy układ nerwowy jest chroniony przez **struktury kostne**: **czaszkę** (chroni mózgowie) i **kręgi kręgosłupa** (ochraniają rdzeń kręgowy) oraz dodatkowo przez trzy osłony łącznotkankowe zwane **oponami mózgowo-rdzeniowymi**. Najbardziej zewnętrzną wyściełającą jamę czaszki i kanał rdzenia kręgowego jest **opona twarda**, czyli twardówka (**ryc. I.16.7.**). Od strony zewnętrznej zrasta się z okostną, a od wewnątrz przylega do opony pajęczkiej. Opona środkowa – **pajęczynówka** (pajęczka) – to najcieńsza błona. Pomiędzy pajęczynówką a oponą miękką występuje jama podpajęczynówkowa wypełniona płynem mózgowo-rdzeniowym. Najbardziej wewnętrzną oponą jest **opona miękka** (naczyniówka), która bezpośrednio przylega do powierzchni mózgowia (wnika w jego bruzdy i zagłębienia) i rdzenia kręgowego. Zawiera liczne naczynia krwionośne i spełnia funkcje odżywcze. Przez naczynia krwionośne naczyniówki przenikają tylko woda, gazy oddechowe i glukoza, co chroni układ nerwowy przed dostaniem się szkodliwych substancji, np. leków (**bariera krew-mózg**).



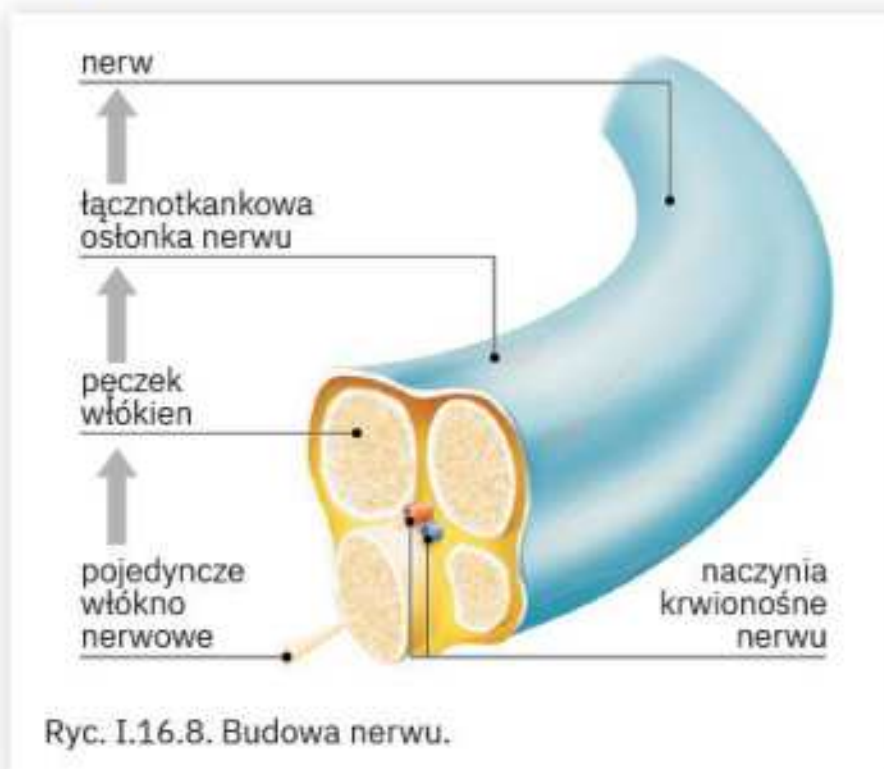
Ryc. I.16.7. Ochrona mózgu i rdzenia kręgowego.

Płyn mózgowo-rdzeniowy jest przesączem wody i niektórych składników osocza (glukozy, białek, jonów Cl^- , Mg^{2+}). Stanowi ochronę ośrodkowego układu nerwowego, zapewnia utrzymanie prawidłowego ciśnienia w jamie czaszki i odpowiada za odżywianie neuronów oraz usuwanie produktów metabolizmu.



Obwodowy układ nerwowy

Obwodowy układ nerwowy jest zbudowany z **nerwów czaszkowych** (odchodzących od mózgowia) i **rdzeniowych** – wychodzących z rdzenia kręgowego. Nerwy są utworzone z wielu biegnących równolegle do siebie włókien nerwowych (aksonów i dendrytów) otoczonych osłonką łącznotkankową. W każdym nerwie znajdują się naczynia krwionośne, które dostarczają substancji odżywczych i tlenu (**ryc. I.16.8.**).



Ryc. I.16.8. Budowa nerwu.

Nerwy ze względu na rodzaj aksonów dzielimy na **czuciowe**, zawierające włókna czuciowe przewodzące impulsy (np. dotyku, ciepła, bólu) do ośrodkowego układu nerwowego, **nerwy ruchowe**, mające włókna ruchowe wyprowadzające impulsy z ośrodkowego układu nerwowego do mięśni, gruczołów i innych narządów wykonawczych, oraz **nerwy mieszane**, zawierające włókna czuciowe i ruchowe przewodzące impulsy w obu kierunkach (do i z ośrodkowego układu nerwowego).

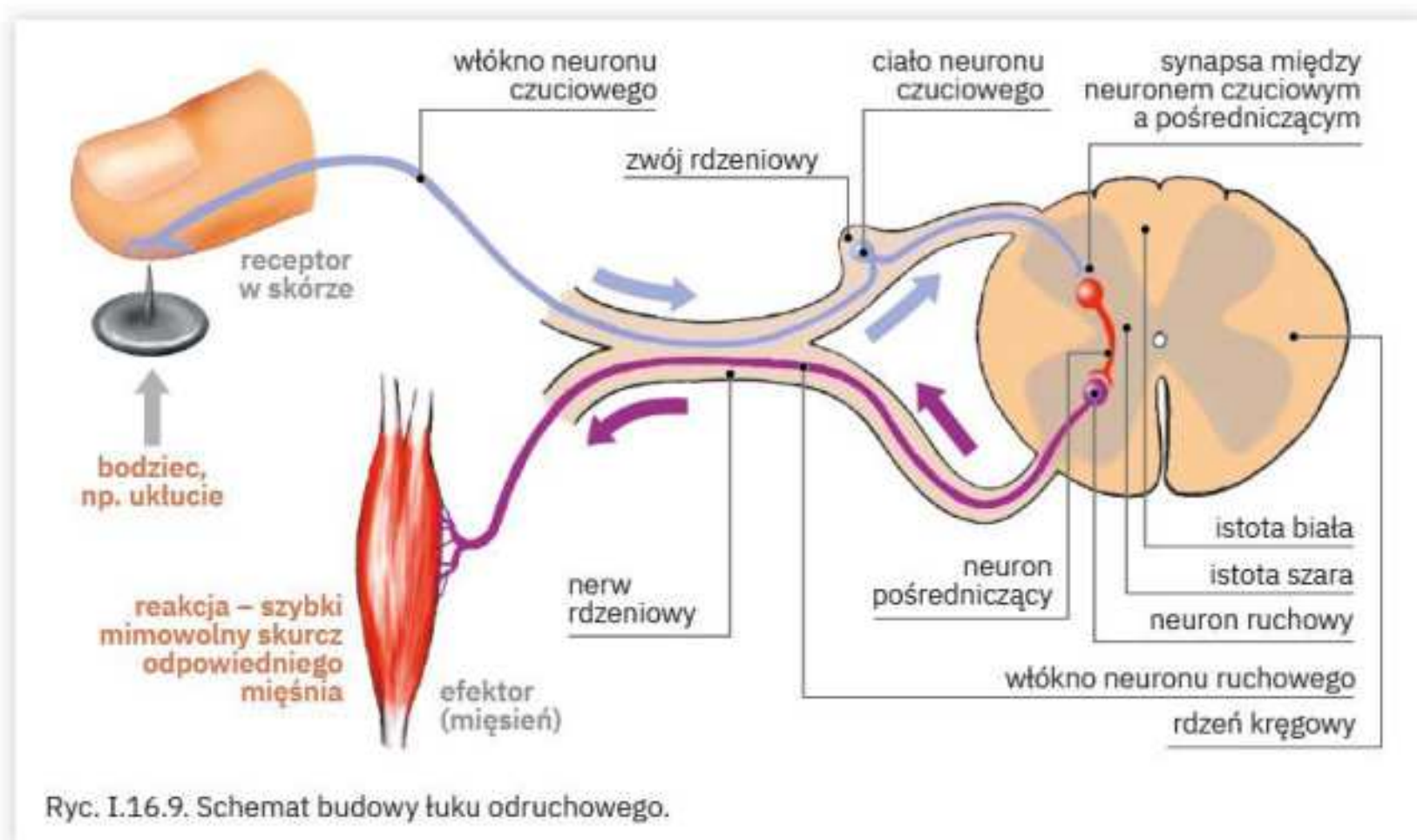
Nerwy czaszkowe unerwiają przede wszystkim głowę i jej okolice. Są to nerwy czuciowe, ruchowe i mieszane.

Natomiast nerwy rdzeniowe są nerwami mieszanymi. Dzielimy je na nerwy szyjne, piersiowe, lędźwiowe, krzyżowe i guziczne. Unerwiają skórę, mięśnie, narządy wewnętrzne i naczynia krwionośne. Uszkodzenie nerwów rdzeniowych może zakończyć się niedowładem lub porażeniem mięśni.

Łuk odruchowy

łuk odruchowy

Odruch jest prostą, mimowolną i powtarzającą się reakcją organizmu na bodźce, które docierają do organizmu ze środowiska zewnętrznego i wewnętrznego. Reakcja ta zachodzi w **łuku odruchowym**, czyli na drodze, jaką impulsy nerwowe przechodzą od **receptora** (odbiorcy bodźców) do **efektora** (narządu wykonawczego) przez **neurony** (elementy przewodzące). Łuk odruchowy składa się z następujących elementów: **receptora**, **drogi nerwowej dośrodkowej (czuciowej)**, **ośrodka nerwowego**, **drogi nerwowej odśrodkowej (ruchowej)** i **efektora** (**ryc. I.16.9.**).



Ryc. I.16.9. Schemat budowy łuku odruchowego.

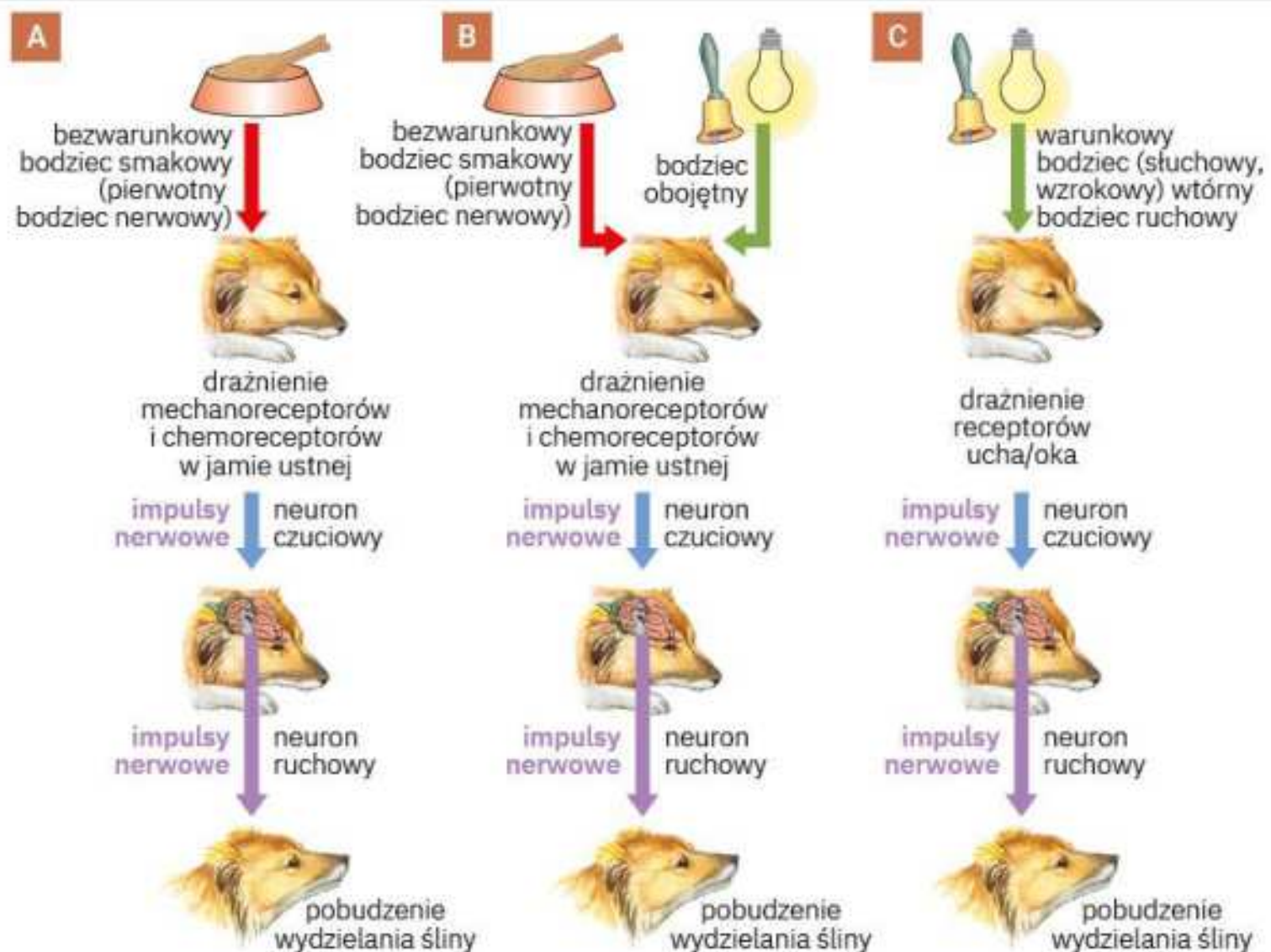
Receptorem są komórki nerwowe lub zakończenia nerwowe, w których na skutek działania bodźców powstaje pobudzenie nerwowe. Są one skupione w narządach zmysłów, np. wzroku, słuchu czy w zakończeniach nerwowych w skórze (np. receptory bólu). **Efektorem** jest narząd wykonawczy, w którym dochodzi do przekształcenia impulsów nerwowych w skurcz mięśnia szkieletowego, mięśnia gładkiego czy produkcji wydzieliny przez gruczoł. Droga pokonywana przez impuls nerwowy od receptora do ośrodka nerwowego to **droga czuciowa (afferentna)**, a droga od ośrodka nerwowego do narządu wykonawczego to **droga ruchowa (eferentna)**. **Ośrodek nerwowy** tworzą skupienia neuronów, w których informacja doływająca od receptora zostaje przetworzona i przekazana do efektora za pomocą neuronów ruchowych. W ośrodku nerwowym znajdują się neurony pośredniczące (czuciowo-ruchowe).

odruchy
warunkowe
i bezwarunkowe

Odruchy dzielimy na **odruchy bezwarunkowe** i **odruchy warunkowe** (osobnicze). **Odruchy bezwarunkowe** stanowią odruchy wrodzone, przekazywane dziedzicznie. Są one charakterystyczne wyłącznie dla danego gatunku. Reakcja na określony bodziec przebiega zawsze tak samo i nie zmienia się w ciągu życia człowieka. Odruchy bezwarunkowe mają ośrodki **w rdzeniu kręgowym i przedłużonym**. Przykładem takich odruchów są np. odruch źreniczny, odruchy obronne (odruch wymiotny, odruch zginania kończyny pod wpływem ułucia palca), odruch podszwowy (drażnienie mechaniczne stopy powoduje zginanie palców), odruch ssania (powstaje podczas dotykania ust noworodka), odruch wydzielania śliny na widok pokarmu. Natomiast **odruchy warunkowe** powstają podczas życia na bazie odruchów warunkowych. Mechanizm ich powstania po raz pierwszy opisał rosyjski fizjolog Iwan Pawłow, prowadząc badania nad odruchem wydzielania śliny u psów (**ryc. I.16.10.**).



Odruchy warunkowe nie są dziedziczne i stanowią indywidualną cechę każdego człowieka. Wykazują dużą zmienność w ciągu życia. Muszą być stale podtrzymywane, ponieważ bardzo szybko wygasają. W zależności od bodźca odruchy warunkowe mogą zanikać i ponownie się pojawiać, np. powtarzanie słówek z języka obcego utrwala je, a zaprzestanie tej czynności prowadzi do zapominania wyuczonych słówek. Podstawą do wykształcenia się odruchów warunkowych jest potrzeba dążenia do zaspokojenia swoich potrzeb. Ośrodki odruchów warunkowych znajdują się w korze mózgowej i dzięki temu są podstawą złożonych czynności, np. abstrakcyjnego myślenia czy świadomego porozumiewania się, których nie spotyka się u zwierząt.



Ryc. I.16.10. Mechanizm powstawania odruchu bezwarunkowego (A) i warunkowego (B, C). Bodziec obojętny, np. dzwonek, połączony z bodźcem bezwarunkowym (pokarmem) wywala wydzielanie śliny. Wielokrotnie powtórzona sytuacja powoduje, że dzwonek towarzyszący karmieniu – dotychczasowy bodziec obojętny – prowadzi do wydzielania śliny. Dzwonek nabył właściwości bodźca bezwarunkowego, chociaż nie przypomina pokarmu.

Odruchy warunkowe są podstawą **uczenia się**. Uczenie się to proces świadomego nabywania wiadomości i umiejętności, a następnie przechowywania tych informacji, które później zostają wykorzystane. Warunkiem uczenia się jest zdolność do zapamiętywania. Zapamiętywanie polega na gromadzeniu i wykorzystywaniu informacji o minionych doświadczeniach. Wiąże się to z aktywnością układu nerwowego – głównie ośrodków w korze mózgowej. Sam mechanizm zapamiętywania opiera się na zmianach w ilości i jakości połączeń synaptycznych, które tworzą tzw. **szlaki pamięci**. Pamięć klasyfikujemy na podstawie różnych kryteriów. Najprostszy podział obejmuje

uczenie się

pamięć



pamięć **sensoryczną**, **krótkotrwałą** i **długotrwałą** (ryc. I.16.11.). Pamięć **sensoryczna** (zmysłowa, ultrakrótka) jest związana z postrzeganiem za pomocą zmysłów, np. dotyku, zapachu. Informacje są przechowywane bardzo krótko (od 2 do 10 s).



Ryc. I.16.11. Schemat przepływu informacji przez różne rodzaje pamięci.

Pamięć krótkotrwała (operacyjna) pozwala na nieco dłuższe przechowywanie informacji, która została utrwalona podczas powtarzania w myśli, najczęściej od 6 do 8 pozycji, np. numeru telefonu. Jeśli informacja nie będzie powtarzana, następuje zapomnienie. Pamięć krótkotrwała ma ogromne znaczenie w życiu codziennym człowieka (scalanie myśli, komunikowanie się). Częste powtarzanie prowadzi do przeniesienia informacji do pamięci długotrwałej. **Pamięć długotrwała** opiera się nie tylko na przepływie impulsów elektrycznych, lecz także na tworzeniu nowych szlaków łączących neurony. Pamięć ta ma nieograniczoną pojemność. Kodowanie informacji w tej pamięci wymaga ich częstego powtarzania, co prowadzi do powstania nowych połączeń między neuronami. Odtworzenie informacji zapisanych w pamięci długotrwałej czasami wymaga przeniesienia ich na pewien czas do pamięci krótkotrwałej. Zapisywane są w niej tylko wyselekcjonowane informacje, których w porównaniu z tymi odebranymi przez receptory jest prawie stukrotnie mniej. Aby proces zapamiętywania był efektywny, należy:

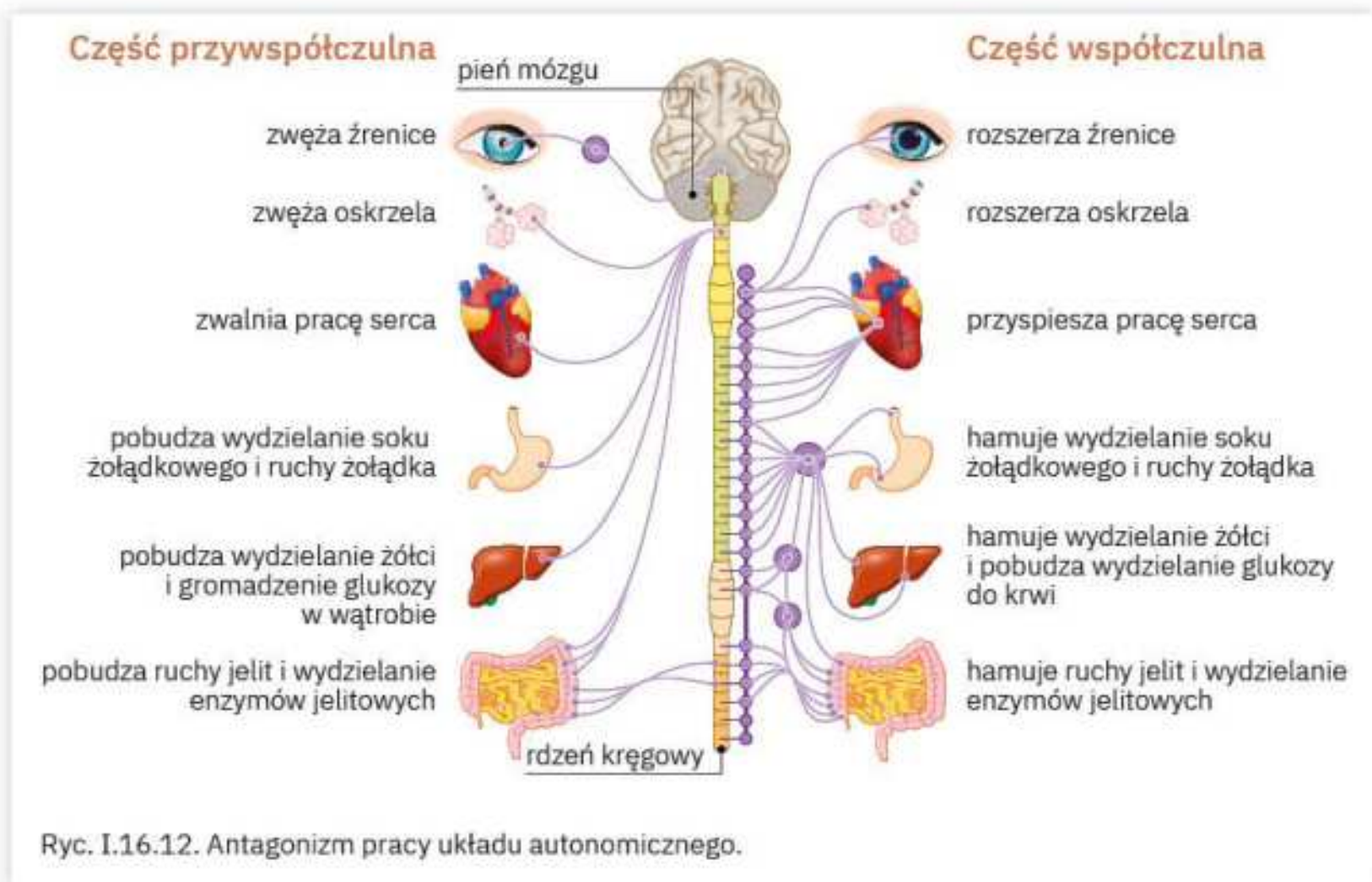
- rozłożyć materiał do nauczania na kilka mniejszych etapów, co będzie skuteczniejsze niż zapamiętywanie dużej partii materiału jednorazowo;
- logicznie uporządkować materiał, co zwiększy skuteczność jego zrozumienia i zapamiętywania;
- werbalizować treści, czyli głośno je powtarzać; w wielu przypadkach ułatwia to zapamiętywanie – szczególnie dotyczy to osób z rozwiniętą pamięcią słuchową;
- wykorzystać formy obrazową i słuchową przy przyswajaniu nowego materiału;
- rozłożyć w czasie kolejne powtórzenia materiału – nie powinny one następować bezpośrednio po sobie, ponieważ nie sprzyja to zapamiętywaniu;
- szukać pozytywnej motywacji, która zwiększa skuteczność zapamiętywania;
- stosować przerwy – np. sen lub inna forma wypoczynku zwiększa przenoszenie informacji do pamięci długotrwałej.

Autonomiczny układ nerwowy

Somatyczny układ nerwowy odbiera bodźce ze środowiska zewnętrznego oraz narządów ruchu. Jego praca w znacznej mierze zależy od woli człowieka. Natomiast **układ autonomiczny (AUN)** odbiera bodźce z wnętrza ciała i kieruje pracą narządów wewnętrznych (unerwia mięśnie gładkie, mięsień serca i gruczoły) i dla-



tego jego praca nie zależy od woli człowieka. Oba układy współpracują ze sobą w celu utrzymania równowagi w organizmie. Układ autonomiczny kontroluje takie funkcje, jak trawienie, oddychanie, tempo przemiany materii. Dzieli się na **układ współczulny**, inaczej sympatyczny (pobudzający), i **przywspółczulny**, inaczej parasympatyczny (hamujący). Oba układy unerwiają wszystkie narządy wewnętrzne organizmu, a ich działanie jest względem siebie **antagonistyczne** (ryc. I.16.12.).



Część współczulna pobudza pracę danego narządu, mobilizuje do aktywności, walki lub ucieczki, co wiąże się z wydatkowaniem energii. Takie pobudzanie następuje w sytuacjach stresowych i spowalnia procesy trawienne. W zakończeniach neuronów tego układu zostaje uwolniony neuroprzekaźnik – **noradrenalina**. Następuje wówczas dobre natlenienie i dostarczenie substancji odżywczych do organizmu. Z kolei drugi układ przywspółczulny powoduje zmniejszenie aktywności procesów fizjologicznych i wprowadza organizm w stan odprężenia, relaksu, wypoczynku, przyspiesza przebieg procesów trawienia, np. po obfitym posiłku z zakończeń neuronów zostaje uwolniona **acetylocholina** i organizm koncentruje się na trawieniu pokarmu. Oba układy wykazują zmienność aktywności dobowej. Układ współczulny dominuje w dzień, a osiąga szczyt aktywności w godzinach popołudniowych. Nocą kontrolę nad pracą narządów przyjmuje układ przywspółczulny, który jest najbardziej aktywny w godzinach nocnych i rannych.

Choroby układu nerwowego

Badaniem i rozpoznawaniem chorób układu nerwowego zajmuje się dział medycyny – **neurologia**. Na układ nerwowy mają istotny wpływ **emocje** – strach, gniew, przy-

emocje



jemność, nienawiść, agresja. Towarzyszą one powstawaniu i zaspokajaniu podstawowych potrzeb człowieka. Silne, trudne do kontrolowania emocje mogą prowadzić do powstania **lęków**, **fobii** czy **psychoz**. Czynnikiem sprzyjającym takim zaburzeniom jest stres. Do przyczyn stresu zalicza się m.in.: problemy w pracy i w związku, śmierć bliskiej osoby, rozwód, nadmierne tempo życia, natłok informacji, a także konieczność nieustannego współzawodnictwa.

Stres wywołuje uczucie lęku, niepokój oraz szereg zaburzeń somatycznych, objawiających się jako choroby i dolegliwości ze strony ciała. Objawy stresu ze strony psychiki to m.in.: lęk, depresja, drażliwość, huśtawka nastrojów, gniew, zwiększona nerwowość, obniżona samoocena, agresja, drżenie mięśni, tiki nerwowe, zwiększone spożycie kofeiny, alkoholu i pociąg do innych używek, zaburzenia snu, nieradzenie sobie, w skrajnych przypadkach nawet myśli samobójcze.

Ze strony fizjologii, czyli pracy ciała, długotrwały stres może objawiać się spadkiem odporności (częste infekcje, przeziębienia, grypa), kołataniem serca, kłopotami z oddychaniem, uciskiem w klatce piersiowej, bezsennością i częstym wybudzaniem się w nocy, omdleniami bez wyraźnej przyczyny, częstymi bólami migrenowymi i ciśnieniowymi głowy, bólami kręgosłupa (szczególnie w odcinku lędźwiowym – tzw. bóle w krzyżu), niestrawnością, biegunkami, zaparciami, problemami skórными i alergiami, astmą, drżeniem i lepkością rąk, zaburzeniami miesiączkowania oraz przyrostem bądź spadkiem wagi (**ryc. I.16.13.**).

Stres podnosi ciśnienie krwi, a także poziom glukozy. Wzrasta poziom adrenaliny i są hamowane procesy trawienia – organizm przygotowuje się do sytuacji, która może wymagać ucieczki. Stres jest najczęściej zjawiskiem krótkotrwałym, ale jeśli utrzymuje się przez dłuższy czas, może doprowadzić do bardzo poważnych chorób, jak nadciśnienie tętnicze krwi, miażdżyca, choroba wrzodowa żołądka oraz osłabienie odporności organizmu.

Długotrwały stres prowadzi do **nerwic**, czyli ciągłych napięć nerwowych, lęków, poczucia zagrożenia. Często lęki są nieuzasadnione i prowadzą do tzw. **fobii**, np. **arachnofobii** (lęk przed pajakami), **klaustrofobii** (lęk przed przebywaniem w zamkniętych pomieszczeniach), **agorafobii** (lęk przed przebywaniem na otwartej przestrzeni).

Brak snu oraz życie w nieustannym stresie przyczyniają się do występowania zaburzeń w przewodnictwie impulsów nerwowych i wydzielaniu neuroprzekaźników, co prowadzi do schorzeń ośrodkowego układu nerwowego.

Najczęściej spotykanym zaburzeniem układu nerwowego jest **depresja**, na którą choruje ok. 10% populacji świata (kobiety częściej niż mężczyźni). Przyczyną depresji mogą być obciążenia genetyczne (wrodzona skłonność), ciężkie i przewlekłe choroby, stosowanie leków, alkoholizm czy reakcje na wydarzenia traumatyczne (śmierć bliskiej osoby, rozwód, utrata pracy czy pozycji społecznej, kalectwo, kryzys rodzinny), a także niedobór serotoniny – nazywanej hormonem szczęścia lub dobrego samopoczucia. **Niedobór serotoniny** powoduje, że obszary mózgu odpowiedzialne za emocje nie zostają prawidłowo pobudzone i mogą pojawić się objawy depresji o podłożu psychologicznym lub somatycznym (**ryc. I.16.14.**).



Układ nerwowy

Współczulny układ nerwowy wysyła sygnał do nadnerczy, z których uwalniane są adrenalina i kortyzol. Hormony te powodują szybsze bicie serca, wzrost ciśnienia krwi, wzmożoną perystaltykę jelit i wzrost stężenia glukozy we krwi. To cechy tzw. reakcji „walcz albo uciekaj”.

Układ oddechowy

Szybsze i płytkie oddechy, niekiedy może nawet dojść do hiperwentylacji i ataku paniki.

Układ hormonalny

Następuje wyrzut z nadnerczy tzw. hormonów stresu – kortyzolu i adrenaliny. Z kolei wątroba w odpowiedzi na stres uwalnia duże ilości glukozy – źródła energii dla reakcji „walcz albo uciekaj”.

Układ krążenia

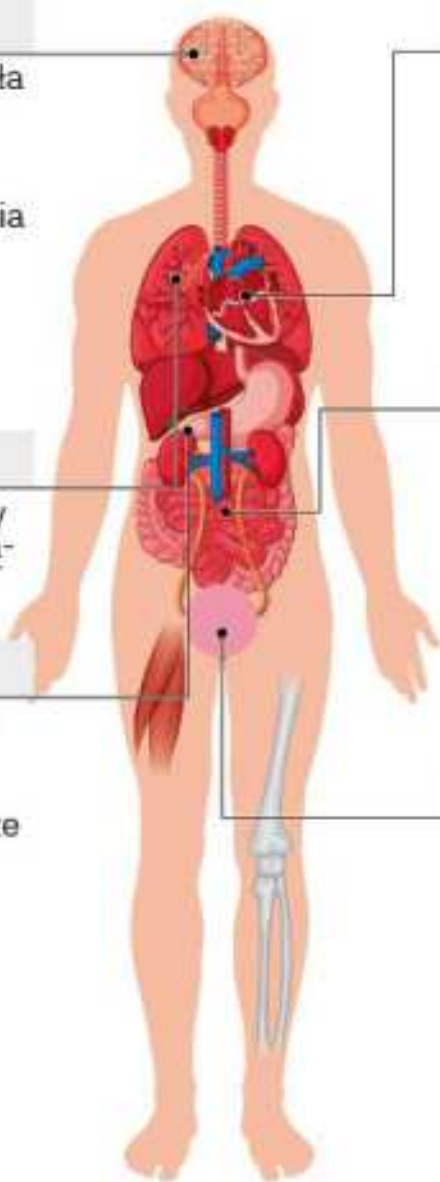
Szybsza praca i mocniejsze skurcze mięśnia sercowego. Powtarzające się okresy ostrego stresu sprzyjają również procesom zapalnym w tętnicach wieńcowych i w konsekwencji rozwojowi w nich miażdżycy.

Układ pokarmowy

Niektórzy w obliczu stresu jedzą więcej, inni wręcz przeciwnie – znacznie mniej. Zwiększone jedzenie, palenie papierosów i picie alkoholu mogą spowodować silny refluks żołądkowo-przetykowy i zgagę. Czasami stresowi towarzyszą: ból żołądka, nudności, wymioty, biegunka lub zaparcia.

Układ rozrodczy

U kobiet silny stres może spowodować zaburzenia miesiączkowania, bolesne miesiączki, przerost endometrium (błona macicy), kłopoty z płodnością i osłabiony popęd seksualny. U mężczyzn przewlekły stres może sprzyjać zmniejszonej produkcji testosteronu i plemników oraz powodować zaburzenia popędu płciowego.



Ryc. I.16.13. Skutki działania stresu na organizm człowieka.



Ryc. I.16.14. Schemat objawów depresji.



Depresja dotyka ludzi w różnym wieku, a często pojawia się u ludzi starszych. Przyczyną mogą być choroby oraz samotność. Leczenie depresji może wymagać zażywania środków farmakologicznych w powiązaniu z psychoterapią. Bardzo ważne w depresji jest stosowanie profilaktyki poprawiającej nastrój i funkcjonowanie układu nerwowego. Do takich działań należą:

- dbanie o wypoczynek w ciągu dnia,
- regularne wysypianie się,
- prowadzenie aktywnego trybu życia,
- prawidłowe odżywianie bogate w witaminy i minerały, z niskim poziomem tłuszczów i wysokim poziomem białka,
- utrzymywanie kontaktów z osobami bliskimi i przyjaciółmi,
- unikanie środków zmieniających nastrój, jak alkohol, narkotyki, leki uspokajające i środki pobudzające.

nałogi

Szczególnie niebezpieczne jest uleganie różnym przyzwyczajeniom, które wielokrotnie powtarzane przekształcają się w **nawyki**. Wśród złych nawyków można wymienić picie alkoholu, palenie papierosów, zażywanie narkotyków czy dopalaczy. Jeśli są silnie utrwalane, to prowadzą do **nałogu**. To negatywne i bardzo szkodliwe dla naszego zdrowia zjawisko prowadzi często do zakłócenia życia społecznego. Przyczyną popadania w nałogi mogą być porażki w szkole i pracy, brak akceptacji ze strony rówieśników, problemy rodzinne, brak perspektyw życiowych, zranione uczucia, nierzadko konflikty z innymi lub z samym sobą, a także chęć poprawienia swojego samopoczucia czy nadmiar wolnego czasu. W takich sytuacjach najczęściej następuje sięganie po środki psychoaktywne, m.in. alkaloidy, leki psychotropowe, narkotyki, alkohol, które działają na ośrodkowy układ nerwowy i powodują zmianę nastroju lub samopoczucia. Jeśli taki środek jest przyjmowany regularnie, to organizm się od niego uzależnia, a uzależnienie prowadzi do nałogu.

Lekomania oznacza uzależnienie od leków, w tym psychotropowych (leki przeciwdepresyjne, uspokajające, przeciwlękowe, nasenne). Nadużywanie leków prowadzi do niszczenia różnych organów, np. żołądka, serca, wątroby czy nerek. W związku z takim niebezpieczeństwem firmy farmaceutyczne mają obowiązek na opakowaniach leków umieszczać informacje dotyczące niepożądanych skutków stosowania farmaceutyków.

Alkoholizm jest uzależnieniem od alkoholu (piwa, wina czy wódki). Nałóg ten prowadzi do zapalenia błony śluzowej żołądka, zapalenia trzustki, osłabienia lub uszkodzenia mięśnia serca, choroby nerek, marskości wątroby, a także do nowotworów żołądka i trzustki.

Narkomania to wyjątkowo groźne uzależnienie od narkotyków, zarówno tzw. **twardych**, np. kokainy i heroiny, jak i **miękkich** – marihuany, ecstasy (czytaj: ekstazy) czy LSD. Pod ich wpływem dochodzi do silnych i długotrwałych zaburzeń percepcji, a w ostatniej fazie – do paranoi narkotycznych. Do głównych objawów tego nałogu należą zmiany w wyglądzie i zachowaniu, przekrwione białka oczu i rozszerzone



żrenice, nadpobudliwość przeplatana sennością i apatią, zamykanie się w sobie oraz agresywne zachowania. U osoby uzależnionej może dochodzić do wybuchów agresji, które mogą prowadzić do kłopotów z prawem.

Szczególnie niebezpiecznymi środkami psychoaktywnymi są **dopalacze**. Składniki zawarte w dopalaczach są tak samo szkodliwe, jak narkotyki. Główny z nich to BZN (benzylpiperazyna). Jego działanie jest podobne do amfetaminy – przyspiesza tętno, odwadnia organizm i prowadzi do uzależnienia. Do najczęstszych objawów stosowania dopalaczy należą: nudności, bóle i zawroty głowy, stany lękowe, bezsenność, drgawki, problemy z oddychaniem, urojenia, ataki szału, śpiączka czy brązowienie skóry. W środkach masowego przekazu coraz częściej pojawiają się informacje o przypadkach śmiertelnych po zażyciu dopalaczy (**ryc. I.16.15.**).



Ryc. I.16.15. Część chorych po zatruciu dopalaczami dostaje drgawek i torsji.

Narkomania i alkoholizm mogą prowadzić do trwałych uszkodzeń mózgu, a także płodu u kobiet w ciąży. Ponadto zaburzają czynności rozrodcze u mężczyzn (powodują impotencję).

Leczenie narkomanii i innych uzależnień polega na **detoksykacji** (odtruciu) organizmu uzależnionej osoby substancjami farmakologicznymi, a następnie indywidualnej lub grupowej psychoterapii chorego i jego rodziny. Leczenie często odbywa się w specjalistycznych zamkniętych ośrodkach lub poradniach. Po takiej terapii pacjenci pozostają pod stałą opieką i często uczestniczą w pracach tzw. grup wsparcia, jak Anonimowi Alkoholicy (AA).

Przyczyny powodujące uzależnienia od różnych środków psychoaktywnych wynikają z braku umiejętności radzenia sobie z negatywnymi emocjami i reakcjami. Sposoby, które mogą pomóc się od tego uwolnić, to m.in.:

- oderwanie myśli od emocji, zajęcie ich czynnościami przyjemnymi lub zupełnie neutralnymi,
- pozytywne myślenie,
- wyjście z domu,
- aktywność fizyczna,
- umiejętność relaksowania się,
- rozwijanie pasji, hobby,
- kontakty z bliskimi osobami,
- kontakty ze zwierzętami,
- częsty śmiech wyzwalający serotoninę (**ryc. I.16.16.**).



Ryc. I.16.16. Dobrym sposobem na radzenie sobie z negatywnymi emocjami jest aktywność fizyczna i częsty kontakt z przyrodą, który wpływa na pozytywne myślenie.

choroby
neurologiczne

Choroby neurologiczne

Choroba Alzheimerera jest wynikiem zanikania kory mózgowej. Występuje u osób po 65. roku życia. Przyczyny tej choroby nie zostały dotychczas poznane. Prowadzi ona do stopniowych kłopotów z pamięcią, problemów z koncentracją, snem i czynnościami ruchowymi, a w stadium zaawansowanym chory wymaga całodniowej opieki. Jest to choroba postępująca. Stosuje się leczenie farmakologiczne, które ma na celu spowolnienie jej rozwoju i łagodzenie objawów, oraz rehabilitację.

Przyczyną **choroby Parkinsona** jest uszkodzenie komórek nerwowych śródmózgowia, które produkują neuroprzekaźnik **dopaminę**. Niskie stężenie tego przekaźnika powoduje zaburzenia równowagi i trudności z wykonywaniem ruchów. Choroba najczęściej objawia się drżeniem jednej ręki, ograniczoną mimiką twarzy i zmienioną barwą głosu. Dotyka ona osób koło 60. roku życia. Stosuje się leczenie farmakologiczne łagodzące skutki choroby, a także rehabilitację lub operacje neurochirurgiczne.



Nie do końca poznaną chorobą jest **schizofrenia**. Do jej prawdopodobnych źródeł należą podłoże genetyczne, a także podatność na stres i urazy psychiczne. Ponadto za jedną z przyczyn uznaje się powikłania powstałe w okresie życia płodowego i okołoporodowego. Wśród najczęstszych objawów schizofrenii można wymienić zaburzenia emocjonalne, urojenia, omamy, bierność, apatię oraz zaburzenia w funkcjonowaniu w społeczeństwie. Leczenie polega na podawaniu środków farmakologicznych, stosowaniu psychoterapii czy terapii zajęciowej.



sen

Ryc. I.16.17. EEG mózgu pozwala na wykrycie m.in. padaczki (epilepsji), która jest spowodowana zaburzeniami czynności mózgu w wyniku przebytych urazów lub czynnikami genetycznymi. Objawia się atakami drgawek, utratą przytomności, a także bezdechem.

jest ponadto czasem relaksu dla mózgu. W tym czasie następuje porządkowanie i utrwalanie informacji, wiedzy i wspomnień. Sen wzmacnia skuteczność układu immunologicznego, dlatego w jego czasie skuteczniej są zwalczane infekcje wirusowe i bakteryjne. Również wydzielanie niektórych hormonów, np. hormonu wzrostu, odbywa się podczas snu. Z kolei poziom hormonów stresu w czasie snu wyraźnie spada.

Do rozpoznania wielu chorób układu nerwowego przeprowadza się **badanie elektroencefalograficzne (EEG)**, w którym za pomocą impulsów elektrycznych można zobrazować pracę mózgu (ryc. I.16.17.).

Prawidłowe funkcjonowanie organizmu zapewnia **sen**. Jego brak może doprowadzić do poważnych zaburzeń układu nerwowego. Przysypiamy ok. 1/3 naszego życia. Sen poprawia zdolność zapamiętywania, czynności ruchowe i koordynację, co tłumaczy większą liczbę godzin snu u dzieci niż u dorosłych. Sen



Podczas snu człowieka występują pewne cyklicznie powtarzające się zmiany, m.in. zmienia się szybkość ruchów gałek ocznych. Na tej podstawie wyróżnia się dwa rodzaje snu: **sen wolnofalowy** (NREM – wolne ruchy gałek ocznych) oraz **sen paradoksalny REM** (szybkie ruchy gałek ocznych), zwany snem z marzeniami sennymi. Po zaśnięciu zapadamy w sen wolnofalowy, podczas którego ustaje ruch gałek ocznych, zwalnia serce, spada temperatura ciała, obniża się ciśnienie krwi, następuje rozkurcz mięśni szkieletowych, szybciej goją się rany i oparzenia oraz spowalniają procesy trawienia. Mniej więcej co 90 minut człowiek śpiący wchodzi w fazę snu paradoksalnego trwającego ok. 20 minut. Podczas tej fazy następuje szybkie poruszanie się gałek ocznych pod zamkniętymi powiekami, oddech i puls stają się nieregularne, często zdarza się mówienie przez sen i lunatykowanie. Podczas tej fazy powstają marzenia sennie, które mają charakter wizualny, obejmują dźwięki, zapachy, smaki, a obrazy są czarno-białe lub kolorowe. Jeśli przebudzimy się w tej fazie, to jesteśmy w stanie opisać nasze sny. Sen kończy się zwykle fazą paradoksalną, z której łatwo się wybudzić. Do prawidłowego wypoczynku potrzeba obu faz snu w odpowiednich proporcjach.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wyjaśnij rolę pompy sodowo-potasowej w polaryzacji błony komórki nerwowej.
2. Podaj kryteria wyróżniania synaps i omów różnice między nimi.
3. Przedstaw wpływ środków psychotropowych na przekazywanie impulsów nerwowych.
4. Wyjaśnij na przykładach różnice w budowie oraz funkcjonowaniu układu współczulnego i przywspółczulnego.
5. Porównaj rolę odruchów warunkowych i bezwarunkowych w adaptacji organizmu do nowych warunków środowiska.
6. Przerysuj do zeszytu poniższą tabelę i ją uzupełnij. Przyporządkuj podanym przykładom reakcji odruchowej odpowiedni rodzaj odruchu: warunkowy lub bezwarunkowy.

Reakcja odruchowa	Rodzaj odruchu
odruch ssania noworodka	
wydzielanie śliny na widok pokarmu	
odruch chwytny noworodka	
wydzielanie śliny na widok cytryny	

7. Na wybranych przykładach przedstaw fizjologiczne skutki stresu.
8. Zaproponuj metody radzenia sobie z sytuacjami stresowymi.
9. Wykonaj jedno z doświadczeń opisanych na stronach 397–398 podręcznika.



PODSUMOWANIE LEKCJI

- s. 142 **Układ nerwowy** odpowiada za koordynację i regulację pracy wszystkich narządów w organizmie.
- s. 142 Podstawą **przewodzenia** jest zmienność polaryzacji błony komórkowej, co wymaga aktywnego transportu jonów sodu i potasu przez białka przenośnikowe tworzące pompę sodowo-potasową.
- s. 144 Przekazywanie impulsu nerwowego między neuronami i między neuronami a innymi komórkami odbywa się za pomocą **synaps**, które dzielimy na hamujące i pobudzające.
- s. 144 Pod względem budowy układ nerwowy dzielimy na **ośrodkowy** (mózgowie i rdzeń kręgowy) oraz **obwodowy** (nerwy czaszkowe i rdzeniowe). W kresomózgowiu znajdują się nadrzędne ośrodki zmysłowe i ruchowe.
- s. 145 Na podstawie kryterium czynnościowego wyróżnia się **autonomiczny i somatyczny układ nerwowy**. Autonomiczny reguluje pracę narządów wewnętrznych. Składa się z części współczulnej i przywspółczulnej, które działają antagonistycznie. Układ somatyczny unerwia mięśnie szkieletowe i skórę.
- s. 149 Podstawową czynnością układu nerwowego jest **luk odruchowy** składający się z receptora, neuronu czuciowego, ośrodka nerwowego, neuronu ruchowego i efektoru.
- s. 150 Odruchy dzielimy na **warunkowe i bezwarunkowe**. Odruchy bezwarunkowe są wrodzone i obejmują proste czynności fizjologiczne organizmu i reakcje obronne. Odruchy warunkowe są nabyte i mogą powstawać przez całe życie, umożliwiając przystosowanie się organizmu do zmian w środowisku.
- s. 151 **Uczenie się** to proces oparty na odruchach warunkowych.
- s. 151 **Pamięć** jest procesem gromadzenia informacji wcześniej zdobytych. Wyróżnia się pamięć krótkotrwałą i długotrwałą.
- s. 153 **Emocje** stanowią odpowiedź długotrwałą lub krótkotrwałą na bodźce środowiska. Stan silnego pobudzenia może być wywołany stresem, który prowadzi do wyniszczenia organizmu, jeśli długo się utrzymuje.
- s. 156 Silnie utrwalone nawyki prowadzą do **nałogów**, np. lekomanii, narkomanii czy alkoholizmu, które działają szkodliwie na układ nerwowy, a także na cały organizm.
- s. 158 **Chorobami neurologicznymi** są choroba Alzheimera, Parkinsona i schizofrenia.
- s. 158 **Sen** pozwala na uwolnienie organizmu od stresu, napięć i regeneruje siły.



17. Narządy zmysłów

NA TEJ LEKCJI:

- dowiesz się, jakie są rodzaje receptorów;
- poznasz budowę, mechanizm działania oraz wady i choroby narządu wzroku;
- poznasz budowę, mechanizm działania oraz choroby narządu słuchu i równowagi, narządu węchu oraz smaku.

Odbiór bodźców ze środowiska zewnętrznego i wewnętrznego odbywa się za pomocą **receptorów**. Receptorem może być pojedyncza komórka lub cały narząd zbudowany z wielu komórek. Receptory odbierają różne bodźce: optyczne, mechaniczne, akustyczne, chemiczne, a następnie przekazują je do odpowiednich ośrodków w rdzeniu kręgowym lub mózgu. Receptory ze względu na środowisko, z którego są odbierane bodźce, dzielimy na:

receptory

- **eksteroreceptory** – odbierające bodźce ze środowiska zewnętrznego (narząd wzroku, słuchu, kubki smakowe, błony węchowe, receptory dotyku, ucisku, zmian temperatury i bólu);
- **interoreceptory** – odbierające bodźce ze środowiska wewnętrznego (z jelit, żołądka czy płuc).

Eksteroreceptory są zlokalizowane w powierzchniowych obszarach ciała. Umożliwiają one poznawanie otoczenia i reagowanie na bodźce zewnętrzne.

Interoreceptory pomagają w utrzymaniu równowagi ustroju, tzw. homeostazy. Dzięki tym receptorom odczuwamy głód czy pragnienie. Do interoreceptorów zaliczamy **proprioreceptory** zlokalizowane w mięśniach i stawach. Receptory te przekazują informacje o położeniu naszego ciała, poszczególnych kończyn, głowy i innych jego części. Pozwalają na wykonywanie różnych czynności bez potrzeby patrzenia, np. jedzenie w zaciemnionych pomieszczeniach.

Receptory możemy podzielić również ze względu na rodzaj bodźca, na jaki są wrażliwe:

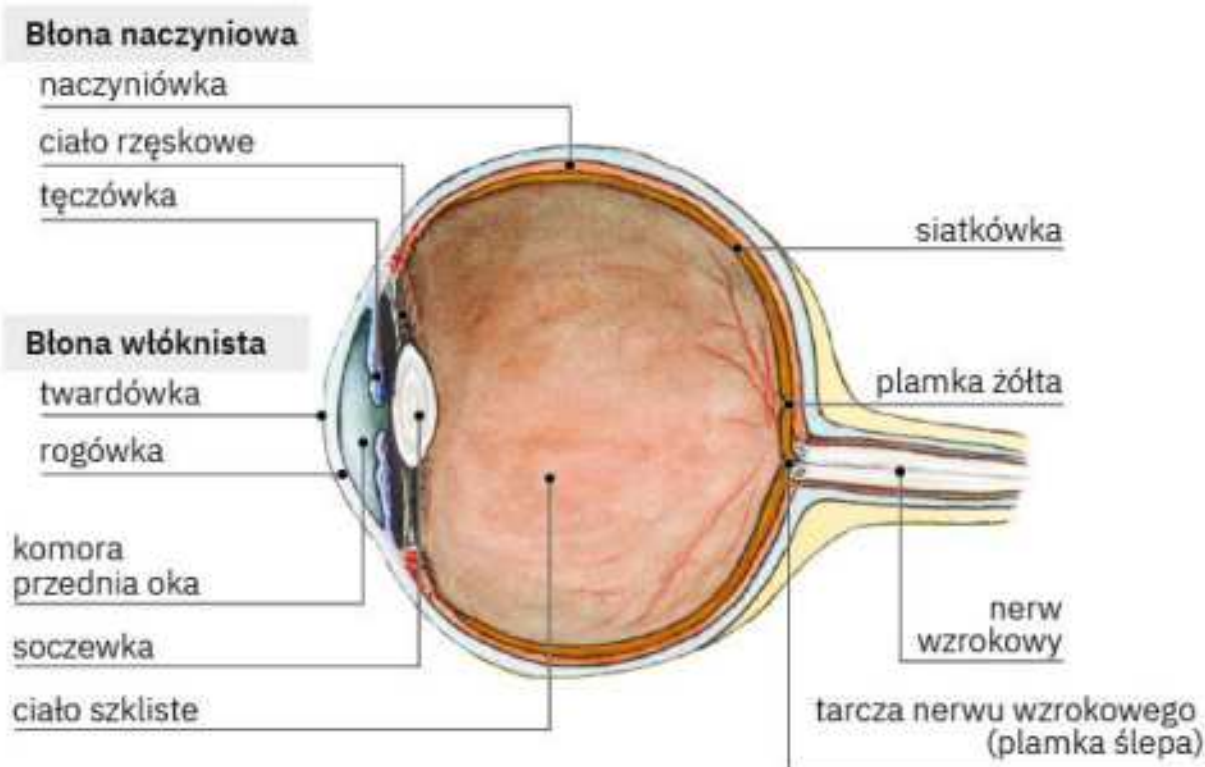
- **mechanoreceptory** – reagują na zmiany energii mechanicznej (receptory dotykowe, proprioreceptory, błędnik);
- **chemoreceptory** – reagują na bodźce chemiczne (kubki smakowe i nabłonek węchowy);
- **fotoreceptory** – reagują na zmiany energii świetlnej (receptory w siatkówce oka);
- **termoreceptory** – reagują na zmiany temperatury (zakończenia nerwowe w skórze).



Budowa i działanie narządu wzroku

narząd wzroku

Narząd wzroku tworzy **gałka oczna** oraz narządy dodatkowe oka. Do **narządów dodatkowych oka** zaliczamy brwi, powieki, spojówki, narząd łzowy oraz aparat ruchowy oka. Brwi i rzęsy zatrzymują zanieczyszczenia. Powieki stanowią ochronę gałki ocznej i ułatwiają rozprowadzanie łez. Ich wnętrze i część gałki ocznej pokrywa błona śluzowa – spojówka. Narząd łzowy produkuje łzy, które zawierają **lizozym** – substancję o właściwościach bakteriobójczych. Łzy nawilżają oraz oczyszczają spojówkę i rogówkę oka. Aparat ruchowy zbudowany z mięśni poprzecznie prążkowanych pozwala na poruszanie gałki ocznej w oczodole.



Ryc. I.17.1. Budowa gałki ocznej.

Gałka oczna to narząd o kształcie kulistym, położony w przedniej części oczodołu. W tylnej części jest wypełniona ciałem szklistym – substancją galaretowatą nadającą gałce kształt i amortyzującą wstrząsy.

Ściana gałki ocznej składa się z trzech błon: **naczyniowej, włóknistej i siatkówki**.

W skład błony naczyniowej wchodzi:

- **naczyniówka** – zawiera liczne naczynia krwionośne, nerwy, a także komórki barwnikowe i odpowiada za odżywianie pozostałych warstw oka;
- **ciało rzęskowe** – zawiera mięsień rzęskowy regulujący kształt soczewki, co wpływa na ostrość widzenia;
- **tęczówka** – przednia część błony naczyniowej, reguluje wielkość przekroju źrenicy, a tym samym ilość światła przechodzącą przez źrenicę;
- **źrenica** – otwór w tęczówce umożliwiający przejście promieni świetlnych do wnętrza oka.



Błona włóknista obejmuje:

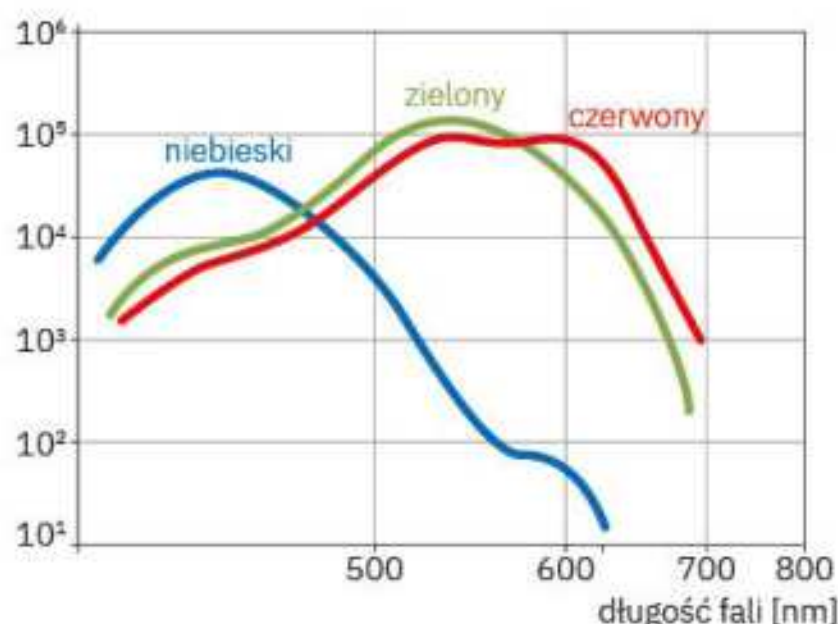
- przezroczystą rogówkę stanowiącą zewnętrzną część błony, chroni ona gałkę oczną przed urazami mechanicznymi oraz przepuszcza i załamuje światło;
- nieprzezroczystą twardówkę położoną w tylnej części gałki ocznej, która nadaje kształt gałce i chroni głębiej położone części oka przed urazami.

Siatkówka to błona bezpośrednio otaczająca gałkę oczną. Odpowiada za odbieranie bodźców świetlnych, ponieważ ma dwa rodzaje komórek receptorowych – **czopki** i **pręciki**. Miejsce największego skupienia czopków na siatkówce, najbardziej wrażliwe na światło i najlepiej rozróżniające kolory, nazywamy **plamką żółtą**. Natomiast miejsce, od którego odchodzi nerw wzrokowy, jest całkowicie pozbawione pręcików i czopków oraz niewrażliwe na bodźce świetlne.

czopki i pręciki

W siatkówce jest około 130 mln czopków i pręcików. Czopki są mniej liczne, zapewniają widzenie barwne (zawierają światłoczuły barwnik jodopsynę), ale są też mniej czułe na światło niż pręciki. W związku z tym ich udział w widzeniu nocnym jest bardzo mały. Najwięcej czopków znajduje się pośrodku, w centralnej części siatkówki (**ryc. I.17.2.**).

Ryc. I.17.2. Przybliżone krzywe czułości trzech receptorów barw w czopkach. Czopki różnią się od siebie wrażliwością na fale światła niebieskiego, czerwonego i zielonego. Pobudzenie różnych czopków daje pełne wrażenie odbioru barw, a równomiernie wszystkich – wrażenie bieli.



Pręciki leżą w obwodowych partiach siatkówki i zawierają barwnik rodopsynę. Są bardziej wrażliwe na światło od czopków, ale nie rozróżniają kolorów. Odpowiadają za widzenie kształtów i ruchów przedmiotów. Dzięki pręcikom widzimy w nocy – ale tylko w kolorach czarnym i białym. Światło widzialne dla człowieka mieści się pomiędzy **400 nm a 700 nm**. Oko ludzkie nie rejestruje ultrafioletu, podczerwieni, a także promieni X i promieni gamma.

Ważną częścią oka jest **soczewka** w kształcie dwuwypukłego, przezroczystego dysku pomiędzy ciałem szklanym a tęczówką. Odpowiada za ostrość widzenia, skupiając na sobie promienie świetlne.

Oko ludzkie przystosowuje się do obserwacji obiektów z różnej odległości. Taką zdolność nazywamy **akomodacją oka**. Mięsień rzęskowy, dostosowując kształt soczewki, zapewnia ostrość widzenia z bliska lub z daleka.

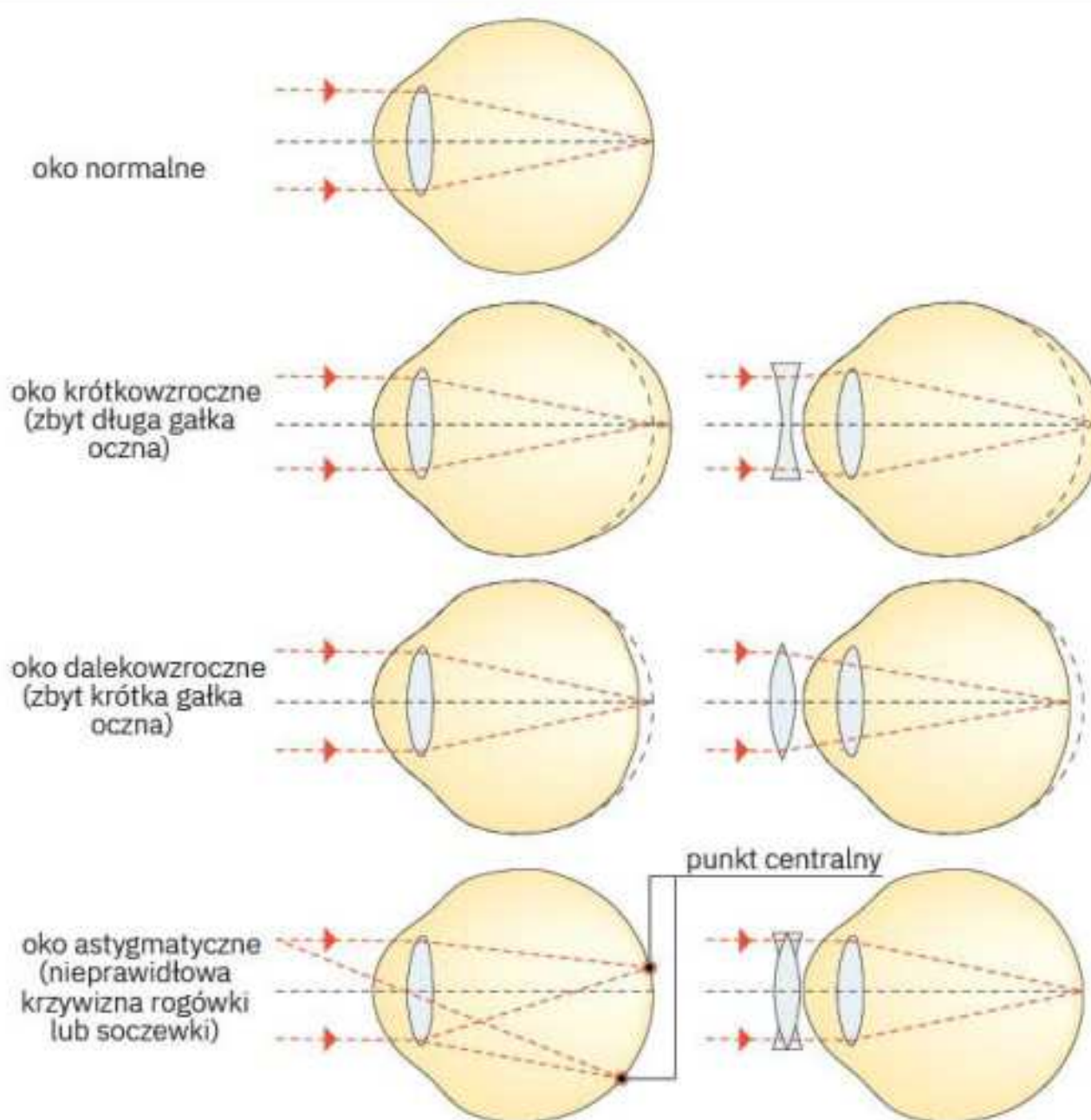


Wiązka światła przechodzi przez rogówkę, komorę przednią oka, źrenicę, soczewkę i ciało szkliste, a następnie pada na powierzchnię siatkówki, gdzie powstaje **obraz rzeczywisty, pomniejszony i odwrócony**.

wady wzroku

Wady wzroku

Zaburzenia w budowie gałki ocznej oraz zdolności akomodacyjnych soczewki są przyczyną wad wzroku. Wyróżniamy trzy podstawowe wady wzroku: krótkowzroczność, dalekowzroczność i astygmatyzm (**ryc. I.17.3.**).



Ryc. I.17.3. Wady wzroku i ich korekta.

Krótkowzroczność przejawia się niewyraźnym widzeniem obiektów położonych daleko od obserwatora. Gałka oczna jest zbyt długa i promienie są skupiane przed siatkówką. Powstały obraz jest rozmazany. Wadę korygujemy, używając okularów z soczewkami rozpraszającymi (dwuwklęsłymi) oznaczonymi znakiem (-). U osób dorosłych można zastosować laserowe modyfikowanie krzywizny oka. Z kolei **da-**



lekowzroczność, nazywana inaczej nadwzrocznością, polega na dobrym widzeniu obiektów leżących bardzo daleko przy jednoczesnych problemach z widzeniem znajdujących się blisko patrzącej osoby. Gałka oczna jest zbyt krótka i promienie świetlne skupiają się za siatkówką. Korekta tej wady polega na stosowaniu okularów z soczewkami skupiającymi (wypukłymi) oznaczonymi (+). U małych dzieci spotyka się nadwzroczność związaną z małym rozmiarem gałki ocznej dziecka. Wada ta zanika z wiekiem. Dalekowzroczność często występuje u osób starszych, u których z wiekiem soczewka traci swoją elastyczność i zdolność do akomodacji.

Astygmatyzm (niezborność oka) to wada widzenia wywołana nieprawidłową krzywizną rogówki lub soczewki oka. Zamiast kształtu kulistego rogówka przyjmuje kształty zbyt spłaszczone. Oko nieprawidłowo ogniskuje wiązki światła. Obraz jest wówczas zniekształcony i rozmyty. Astygmatyzmowi często towarzyszy krótko- lub dalekowzroczność. Wadę koryguje się soczewkami cylindrycznymi (wycinek walca) lub torycznymi (wycinek beczki).

Zez powstaje na skutek nieprawidłowego działania mięśni zewnętrznych oka, co powoduje zmianę kąta patrzenia jednego oka względem drugiego. Wówczas oko jest skierowane w stronę nosa lub na zewnętrzny bok. Oko zezujące można ćwiczyć, aby skorygować jego pracę, poprzez zakrywanie oka działającego prawidłowo. Stosuje się ponadto szkła korekcyjne, a w ostateczności – zabieg chirurgiczny.

Jaskra jest chorobą spowodowaną głównie wzrostem ilości cieczy wodnistej gromadzącej się między rogówką a tęczówką (ciśnienia wewnątrz gałki ocznej) oraz zaburzeniami ukrwienia oka. Prowadzi to do uszkodzenia nerwu wzrokowego. Chorzy odczuwają ból w gałce ocznej i pogarsza się ich ostrość widzenia.

jaskra

Zapadalność na jaskrę zwiększają takie czynniki, jak podwyższone ciśnienie wewnątrzgałkowe i nieprawidłowe ciśnienie krwi oraz czynniki genetyczne, wiek powyżej 40 lat i duża krótkowzroczność – powyżej –4 dioptrii. Jaskra nieprawidłowo leczona może doprowadzić do utraty wzroku.

Leczenie polega na podawaniu środków farmakologicznych obniżających ciśnienie wewnątrzgałkowe i zmniejszające wytwarzanie cieczy wodnistej. Zaawansowana jaskra wymaga zabiegów operacyjnych, które polegają na poszerzaniu dróg, przez które może odpływać ciecz wodnista. Chorzy powinni dbać o zdrowy tryb życia, unikać stresów i używek oraz ostrego słońca, a także dbać o nawilżenie gałki ocznej i wietrzenie pomieszczeń, w których przebywają, oraz ograniczać ekspozycję na działanie komputera i telewizora.

Zaćma jest spowodowana zmętnieniem soczewki, przez co chory widzi niewyraźnie, jakby przez mgłę. Choroba ta pojawia się u ludzi starszych. Można ją leczyć, stosując odpowiednie szkła skupiające lub operacyjnie poprzez usunięcie zmętniałej soczewki i zastąpienie jej sztuczną.

Daltonizm (ślepotę barw) wynika z genetycznie uwarunkowanej wady wzroku dziedziczonej recesywnie w sprzężeniu z chromosomem X. W związku z tym częściej występuje on u mężczyzn niż u kobiet. Daltonista nie rozpoznaje kilku barw, najczęściej barwy czerwonej i zielonej, rzadziej fioletowej czy żółtej.

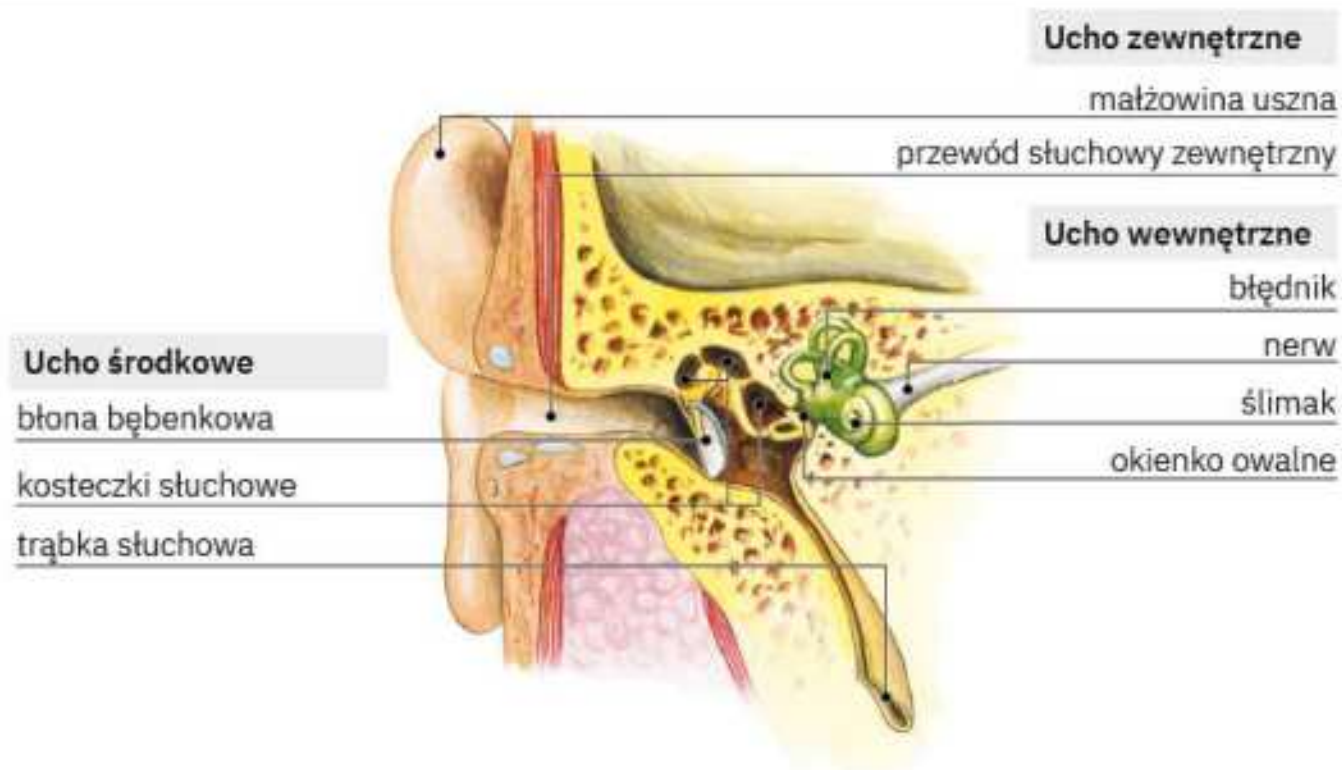


Schorzenie to wiąże się z brakiem możliwości wykonywania niektórych zawodów: lotnika, maszynisty kolejowego czy zawodowego kierowcy. Wadę wykrywa się badaniem z użyciem specjalistycznych tablic.

Ucho – narząd słuchu i równowagi

budowa ucha

Ucho spełnia funkcje narządu słuchu (odbiera fale dźwiękowe) i narządu równowagi (odbiera informacje o zmianach położenia całego ciała lub jego części). Składa się z ucha zewnętrznego, środkowego i wewnętrznego (ryc. I.17.4.).



Ryc. I.17.4. Budowa narządu słuchu i równowagi.

Ucho zewnętrzne tworzy małżowina uszna oraz przewód słuchowy zewnętrzny. Małżowina skupia i kieruje fale dźwiękowe do ucha środkowego. **Ucho środkowe** jest zbudowane z jamy bębenkowej, w której znajdują się trzy kosteczki słuchowe: młoteczek, kowadełko i strzemiączko. Położone obok siebie, połączone stawowo wzmacniają drgania i przenoszą je z błony bębenkowej na okienko owalne ucha wewnętrznego. Do jamy bębenkowej prowadzi trąbka słuchowa (Eustachiusza), która łączy jamę bębenkową z jamą nosowo-gardłową. Trąbka słuchowa wyrównuje ciśnienie po obu stronach błony bębenkowej.

ucho wewnętrzne

Ucho wewnętrzne obejmuje dwa elementy – ślimak i błędnik. Przestrzeń pomiędzy nimi wypełnia płyn – endolimfa. W skład błędnika wchodzi przedsionek i trzy kanały półkoliste.

Ślimak odpowiada za odbiór dźwięku. Fale akustyczne przez małżowinę uszną przechodzą do przewodu słuchowego zewnętrznego i wprawiają w drgania błonę bębenkową, która przekazuje je kosteczkom słuchowym. Drgania młoteczka są przekazywane na kowadełko, które przenosi je na strzemiączko przylegające



do okienka owalnego. Okienko owalne wprowadza w drgania endolimfę ucha wewnętrznego. W zależności od wysokości i natężenia dźwięków drgania pobudzają różne komórki urzęsionego nabłonka w ślimaku, co prowadzi do powstania impulsu nerwowego przekazywanego do ośrodków w mózgu.

Błędnik odpowiada za utrzymanie równowagi ciała. Pokryte urzęsionym nabłonkiem wnętrze przedsionka wypełnia galaretowata substancja, w której znajdują się drobne kamyczki – otolity powstałe z węglanu wapnia. Ruchy ciała powodują uciskanie komórek receptorowych nabłonka. Powstające impulsy są przekazywane do odpowiedniego ośrodka w mózgu. Podobną funkcję spełniają ustawione względem siebie pod kątem prostym kanały półkoliste, w których nie występują otolity, tylko w rozszerzonych zakończeniach urzęsione komórki zmysłowe, które odbierają informacje o przyspieszeniach kątowych oraz ruchach obrotowych. Zgięcie rzęsek powoduje powstanie impulsów nerwowych, które są przekazywane do ośrodków w mózgu. Nadmierne pobudzenie narządu równowagi prowadzi do choroby lokomocyjnej (np. podczas podróży statkiem, samochodem, samolotem). Objawia się ona zawrotami głowy, nudnościami, zaburzeniami pracy serca i koordynacji ruchów. Aby złagodzić objawy, stosuje się środki farmakologiczne obniżające wrażliwość narządu równowagi.

Wysokość i głośność dźwięków

Zakres słyszalności dźwięków człowieka wyraża się częstotliwością dźwięku (odczuwaną jako wysokość dźwięku) oraz poziomem głośności. Częstotliwość mierzy się w hercach (Hz), a głośność – w decybelach (dB). Najniższa częstotliwość, jaką słyszy ucho ludzkie, to około 20 Hz, a górna granica to 20 000 Hz. Jednak słuch człowieka jest najczulszy w zakresie częstotliwości między 2000 a 5000 Hz. Dźwięki powyżej 85 dB są bardzo głośne i mogą być groźne dla słuchu, jeśli uszy są narażone na nie przez dłuższy czas.

Hałas jest niebezpieczny dla człowieka, zmniejsza wydajność pracy, utrudnia wypoczynek i koncentrację. Przebywanie w pomieszczeniu o natężeniu hałasu między 130 a 150 dB wywołuje drganie niektórych organów wewnętrznych, co może powodować trwałe schorzenia prowadzące do głuchoty. Bardzo niebezpieczne jest słuchanie głośnej muzyki przez słuchawki, ponieważ może to trwale uszkodzić komórki słuchowe. Pierwszym objawem uszkodzenia słuchu są szumy w uszach.

Po spędzeniu 5 minut w hałasie o natężeniu ponad 150 dB następuje paraliż pracy organizmu, mdłości, zaburzenia równowagi oraz stany lękowe. Hałas wywołuje wzrost napięcia nerwowego i jest czynnikiem stresowym. Powoduje również zaburzenia pracy układu krążenia, czynności gruczołów dokrewnych, pogorszenie widzenia i pracy układu pokarmowego, a także obniżenie masy ciała potomstwa kobiet ciężarnych narażonych na wysokie dźwięki. Współcześnie przeprowadza się szereg badań pozwalających na wykrycie ubytków słuchu. Jeśli nie można ich wyleczyć farmakologicznie, stosuje się aparaty słuchowe oraz **implanty ślimakowe (ryc. 1.17.5.)**.



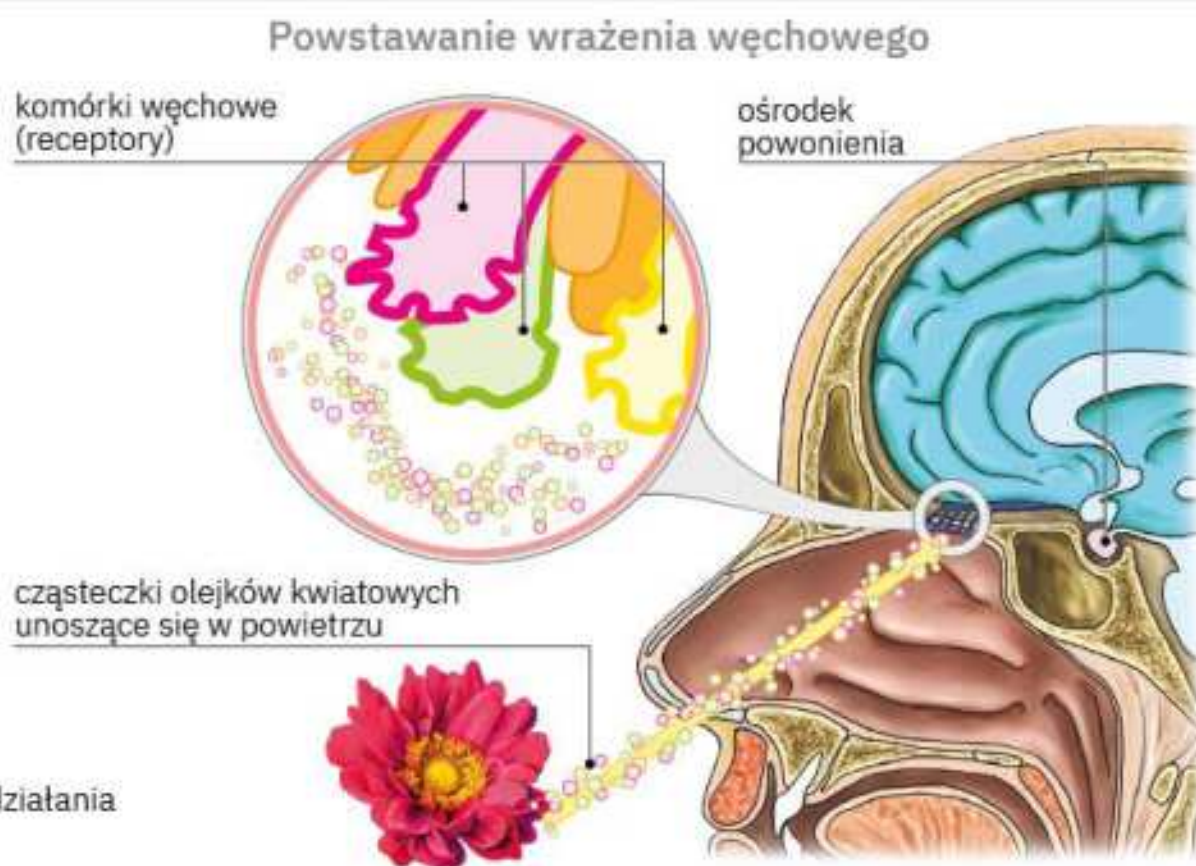
Ryc. I.17.5. Implant ślimakowy jest urządzeniem elektronicznym przekształcającym dźwięki w sygnały elektryczne, które są wysyłane prosto do nerwu słuchowego, z ominięciem uszkodzonych obszarów ucha.

Zmysł smaku i węchu

narząd węchu

Narząd węchu znajduje się w górnej części jamy nosowej i jest pokryty zmysłowym nabłonkiem węchowym. Okolica węchowa zawiera kilkanaście tysięcy komórek węchowych wrażliwych na substancje wonne. Są nimi ciała lotne dostające się z prądem wdychanego powietrza. Ich obecność drażni receptory nabłonka węchowego. Powstałe pobudzenie zostaje przeniesione do okolicy węchowej mózgu.

Długotrwałe drażnienie receptorów węchowych może spowodować adaptację, a następnie zupełny zanik odczuwania zapachu (**ryc. I.17.6.**).



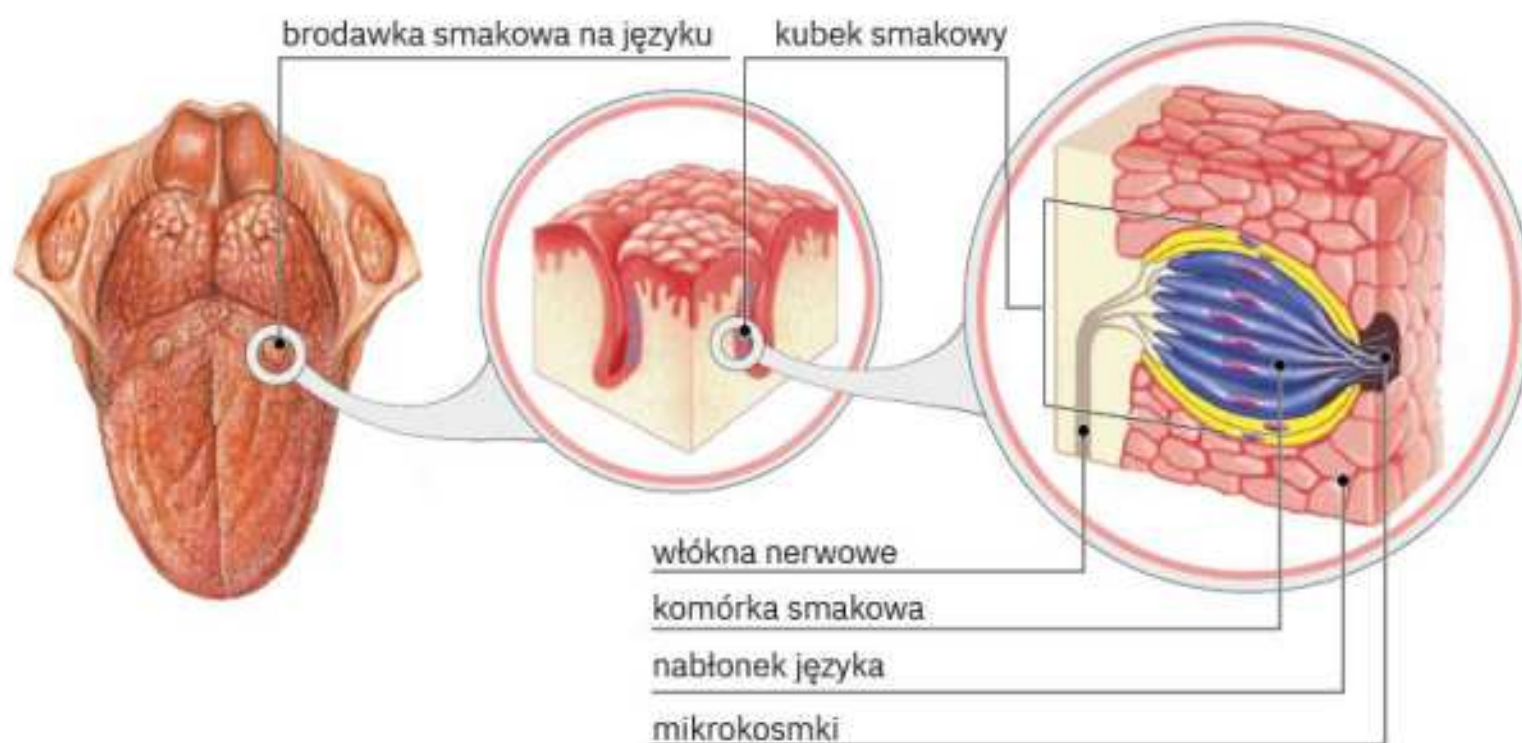
Ryc. I.17.6. Schemat działania zmysłu węchu.

narząd smaku

Narząd smaku znajduje się w jamie ustnej, przede wszystkim na języku. Smak odbierają kubki smakowe rozmieszczone także na podniebieniu miękkim, tylnej ścianie gardła oraz błonie śluzowej policzków. Kubki smakowe rejestrują pięć smaków: słony, słodki, kwaśny, gorzki oraz umami (mięsny, specyficzny smak zawartego w mięsie glutaminianu sodu). Odczuwanie smaku, np. glutaminianu sodu, działa silnie pobudzająco na apetyt i dlatego jest on często stosowany jako wzmacniacz smaku koncentratów



spożywczych, m.in. w kostkach rosółowych czy zupach w proszku. Każda część języka może odbierać każdy z pięciu typów smaków (**ryc. I.17.7.**). Substancje chemiczne rozpuszczone w płynnym środowisku jamy ustnej pobudzają receptory smaku, a powstałe pobudzenie jest przekazywane do ośrodków w mózgu. Smak zależy od zmysłu powonienia oraz wrażeń wzrokowych i temperaturowych. Wrażliwość tego zmysłu wzrasta, kiedy odczuwamy głód. Smak jest zmysłem, który szybko się adaptuje podczas długotrwałego działania bodźca węchowego.



Ryc. I.17.7. Schemat budowy zmysłu smaku.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Porównaj metody korekcji wad wzroku w przypadku krótkowzroczności, dalekowzroczności i astygmatyzmu.
2. Na podstawie analizy narządu równowagi wyjaśnij, dlaczego po zejściu z kręcącej się karuzeli odczuwasz zawroty głowy.
3. Przedstaw zasady higieny narządów zmysłów.
4. Wykonaj jedno z doświadczeń opisanych na stronach 398–400 podręcznika.

PODSUMOWANIE LEKCJI

Receptory odbierają bodźce ze środowiska i przekazują je do ośrodkowego układu nerwowego. Klasyfikujemy je na podstawie rodzaju odbieranego bodźca oraz jego pochodzenia.

Narząd wzroku odbiera bodźce wzrokowe, ucho jest narządem słuchu i równowagi, a narządy smaku i węchu odbierają bodźce chemiczne ze środowiska.

s. 161

s. 162



- s. 163 Narząd wzroku składa się z gałki ocznej i narządów dodatkowych (powiek, brwi, gruczołów łzowych). Światło dochodzące do oka przechodzi przez rogówkę, soczewkę, ciało szkliste i dociera do siatkówki, gdzie jest odbierane przez komórki światłoczułe – **czopki i pręciki** – oraz zamienia się w impulsy nerwowe analizowane w mózgu.
- s. 164 **Wady wzroku** są wywołane nieprawidłowym skupianiem się promieni świetlnych na siatkówce.
- s. 165 **Jaskra i zaćma** są często spotykanymi chorobami narządu wzroku u osób starszych.
- s. 166 **Ucho jest zbudowane** z ucha zewnętrznego, środkowego i wewnętrznego. Ucho zewnętrzne zbiera fale dźwiękowe i przekazuje je do ucha środkowego, gdzie ulegają wzmocnieniu dzięki trzem kosteczkom słuchowym. W uchu wewnętrznym odebrane fale dźwiękowe zostają przekształcone w impulsy nerwowe.
- s. 166 W **uchu wewnętrznym** znajduje się narząd równowagi, który kontroluje ruchy i położenie głowy.
- s. 168 **Zmysł smaku** jest pobudzany przez substancje rozpuszczone w wodzie i pozwala na odbiór pięciu podstawowych smaków: słodkiego, słonego, kwaśnego, gorzkiego i smaku mięsnego – umami.
- s. 168 **Receptory węchu** są rozmieszczone w nabłonku węchowym górnej części jamy nosowej i odbierają bodźce węchowe ze środowiska zewnętrznego.

18. Poruszanie się

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz rodzaje kości;
- nauczysz się rozpoznawać różne rodzaje połączeń kości i określać ich funkcje;
- opisziesz współdziałanie mięśni, ścięgien, stawów i kości w ruchu;
- dowiesz się, jak jest zbudowany mięsień szkieletowy.

układ ruchu

Układ ruchu człowieka jest zbudowany z **układu szkieletowego** i **układu mięśniowego**. Układ mięśniowy stanowi część czynną aparatu ruchu, ponieważ mięśnie poruszają elementami szkieletu, który jest jego bierną częścią.

Podział i budowa kości

Szkielet dorosłego człowieka składa się z 206 kości. Podstawowym materiałem do budowy szkieletu człowieka jest tkanka kostna oraz w znacznie mniejszym stopniu tkanka chrzęstna. Ze względu na kształt i długość kości dzielimy na **długie, krótkie, płaskie i różnokształtne**.



Kości długie, w których długość jest większa od szerokości, występują głównie w kończynach, np. kość ramienna, łokciowa, promieniowa, udowa, piszczelowa i strzałkowa. Kości te umożliwiają ruch i dźwigają ciężar ciała. W **kościach**



krótkich wszystkie trzy wymiary są do siebie zbliżone. Kośćmi krótkimi są kości nadgarstka oraz stępu. Odpowiadają za stabilizację stawów i aktywnie uczestniczą w procesie poruszania się. **Kości płaskie** mają długość i szerokość znacznie przekraczającą ich grubość. Przykładem kości płaskich są kości sklepienia czaszki, kość biodrowa, łopátka, mostek. Kości te stanowią osłonę narządów i powierzchnię przyczepu dla mięśni. Natomiast kości o nieregularnych wymiarach, jak kręgi, kości trzewioczaszki czy kosteczki słuchowe, nazywamy **kośćmi różnokształtnymi**.

Połączenia w szkielecie

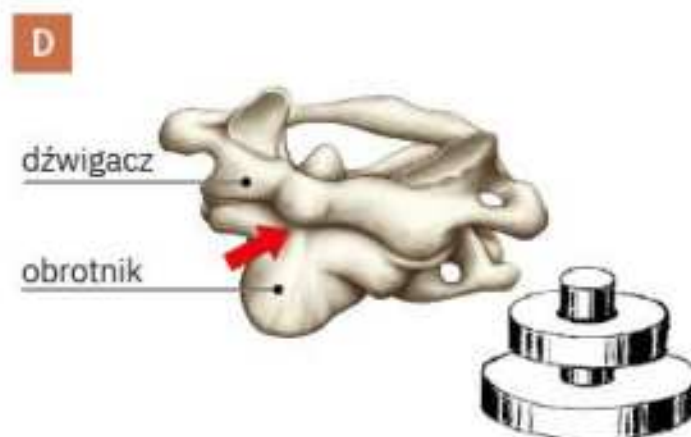
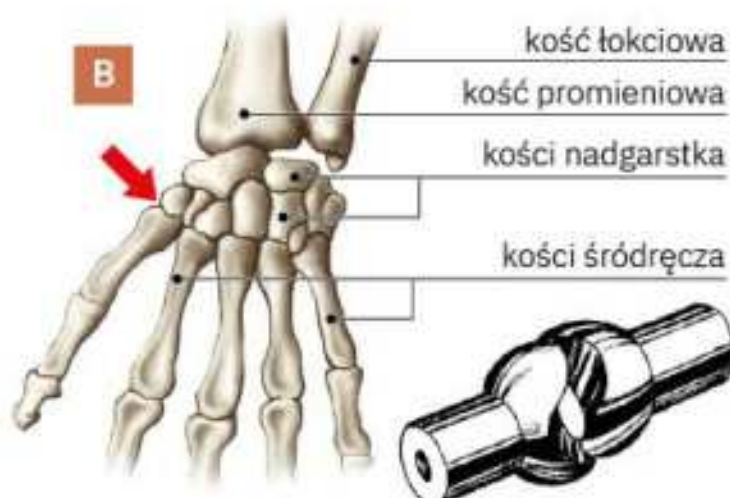
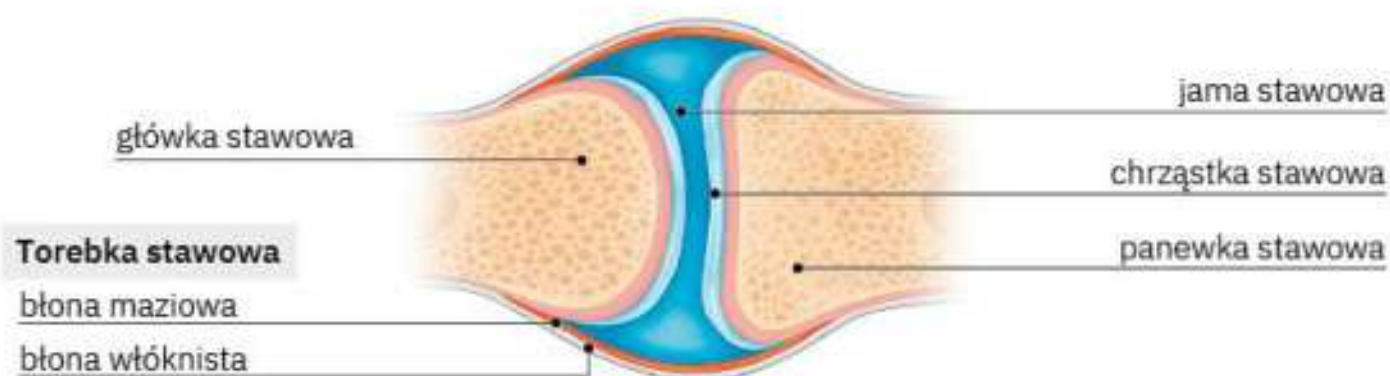
Kości w szkielecie są połączone ze sobą w sposób **półściśły**, **ściśły** lub **ruchomy** (ryc. I.18.1.). Połączenia półściśłe odznaczają się bardzo małą ruchomością (więzozrosty, chrząstkozrosty), a ściśłe – całkowitym brakiem ruchomości (kościrozrosty).



Ryc. I.18.1. Połączenia w szkielecie.

W miejscach szkieletu, które zmieniają położenie względem siebie, występują połączenia ruchome – **stawy** (ryc. I.18.2.). Ponieważ stawy łączą dwie w różnym stopniu ruchome powierzchnie, są one narażone na ciągłe tarcie. Zapobiega temu dzięki swojej gładkości i elastyczności **chrząstka szklista** pokrywająca powierzchnie stawowe kości. Chrząstka także amortyzuje wstrząsy i uderzenia kości podczas aktywności. Główkę stawową tworzy wypukła powierzchnia stawowa fragmentu jednej kości, której odpowiada panewka stawowa – wklęsła powierzchnia fragmentu drugiej kości. Kości w stawie otacza **torebka stawowa**, której błona zewnętrzna – włóknista – grubiejac w niektórych miejscach, tworzy więzadła stawowe. Z błoną włóknistą zrastają się włókna mięśniowe lub ścięgna okolicznych mięśni. Błona wewnętrzna torebki stawowej – błona maziowa – wydziela maz stawową zawierającą dużą ilość tłuszczów, które pełnią funkcję „smaru” zmniejszającego tarcie, a także odżywiają chrząstki stawowe. Torebkę stawową wzmacniają pasma tkanki łącznej – **więzadła**. Stawy w poszczególnych częściach szkieletu spełniają różne funkcje i do nich przystosowały swoją budowę i ruchomość. Stawy pozwalające na ruch we wszystkich płaszczyznach (zginanie, prostowanie, podnoszenie, opuszczanie) nazywamy **wieloosiowymi**. Przykładem stawów wieloosiowych są kuliste stawy biodrowy i barkowy. Wykonywanie

stawy



Ryc. I.18.2. Schemat budowy stawu kulistego i rodzaje stawów: A. kulisty (staw ramienny), B. siodełkowy (nadgarstkowo-śródręczny kciuka), C. zawiasowy (staw łokciowy), D. obrotowy (między pierwszym a drugim kręgiem szyjnym).

ruchów w dwóch płaszczyznach (prostowanie i zginanie, przywodzenie i odwodzenie) umożliwiają **stawy dwuosiowe**, jak siodełkowy staw nadgarstkowo-śródręczny kciuka czy elipsoidalny staw promieniowo-nadgarstkowy. Najmniejszą ruchomość – tylko zginanie i prostowanie (przywodzenie i odwodzenie) – wykazują **stawy jednoosiowe**. Przykładem takich stawów jest staw zawiasowy, staw łokciowy, czy staw obrotowy między pierwszym a drugim kręgiem kręgosłupa.



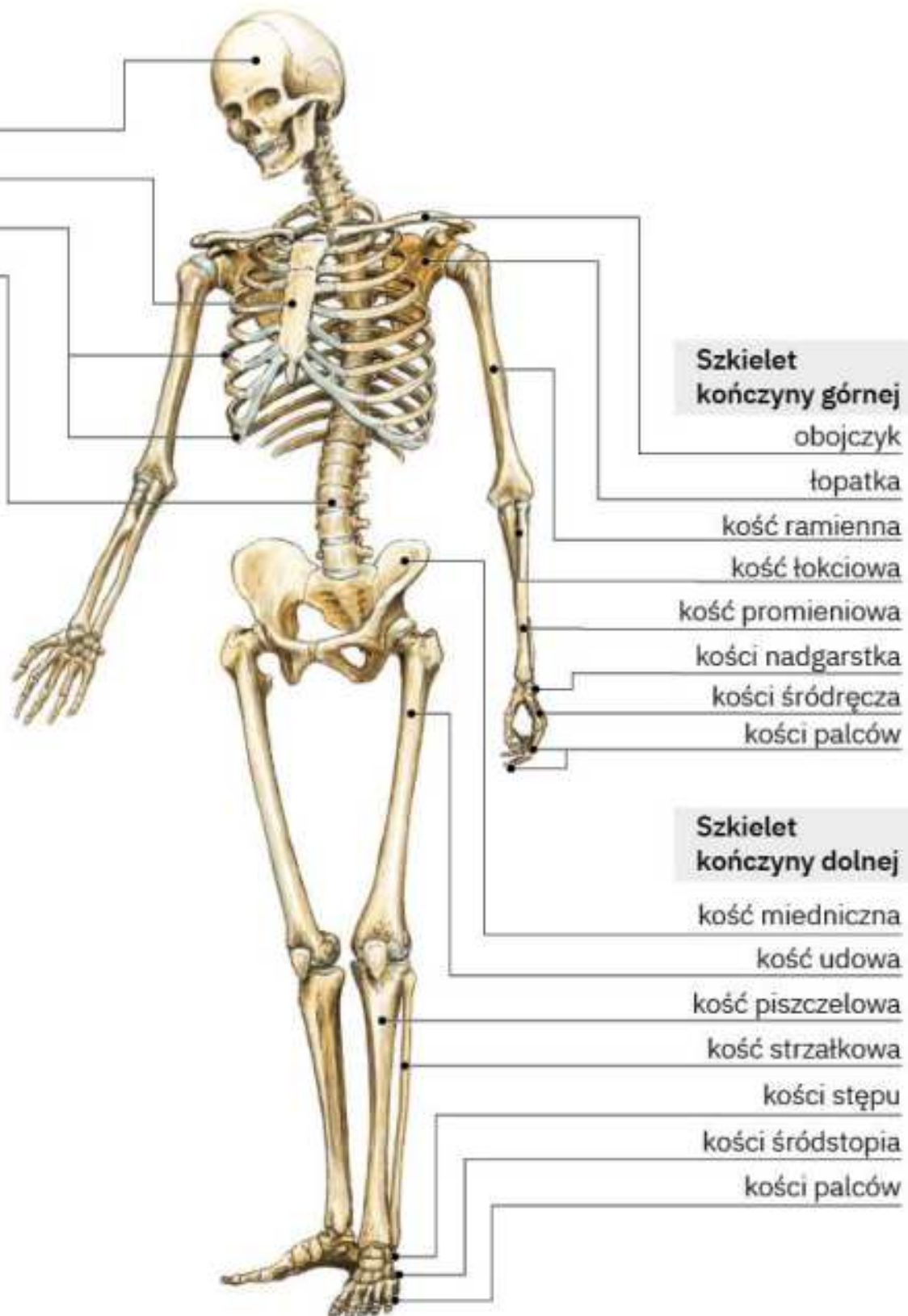
Budowa szkieletu człowieka

Szkielet to przede wszystkim podpora dla całego organizmu i miejsce przyczepu mięśni. Ponadto szkielet stanowi ochronę narządów przed urazami mechanicznymi (czaszka, klatka piersiowa), magazynuje wapń (w kościach) i jest narządem krwiotwórczym (czerwony szpik kostny).

Szkielet człowieka składa się z dwóch części: **szkieletu osiowego** oraz **szkieletu kończyn górnych i dolnych** wraz z ich **obrzęczami**. Szkielet osiowy tworzą: czaszka, kręgosłup, żebra oraz mostek (**ryc. I.18.3.**).

Szkielet osiowy

czaszka
mostek
żebra
kręgosłup

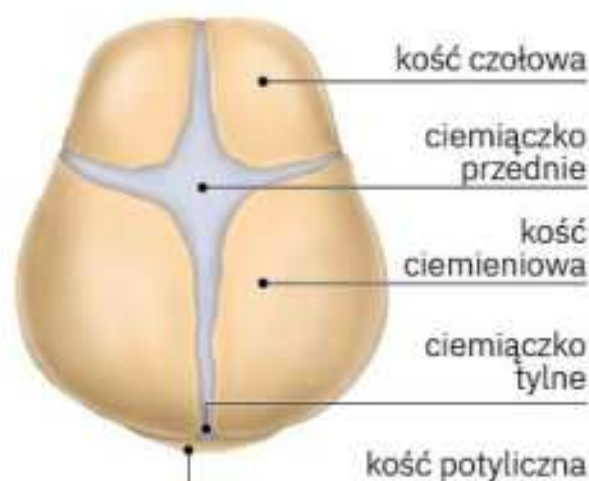


Ryc. I.18.3. Szkielet człowieka.



Czaszka

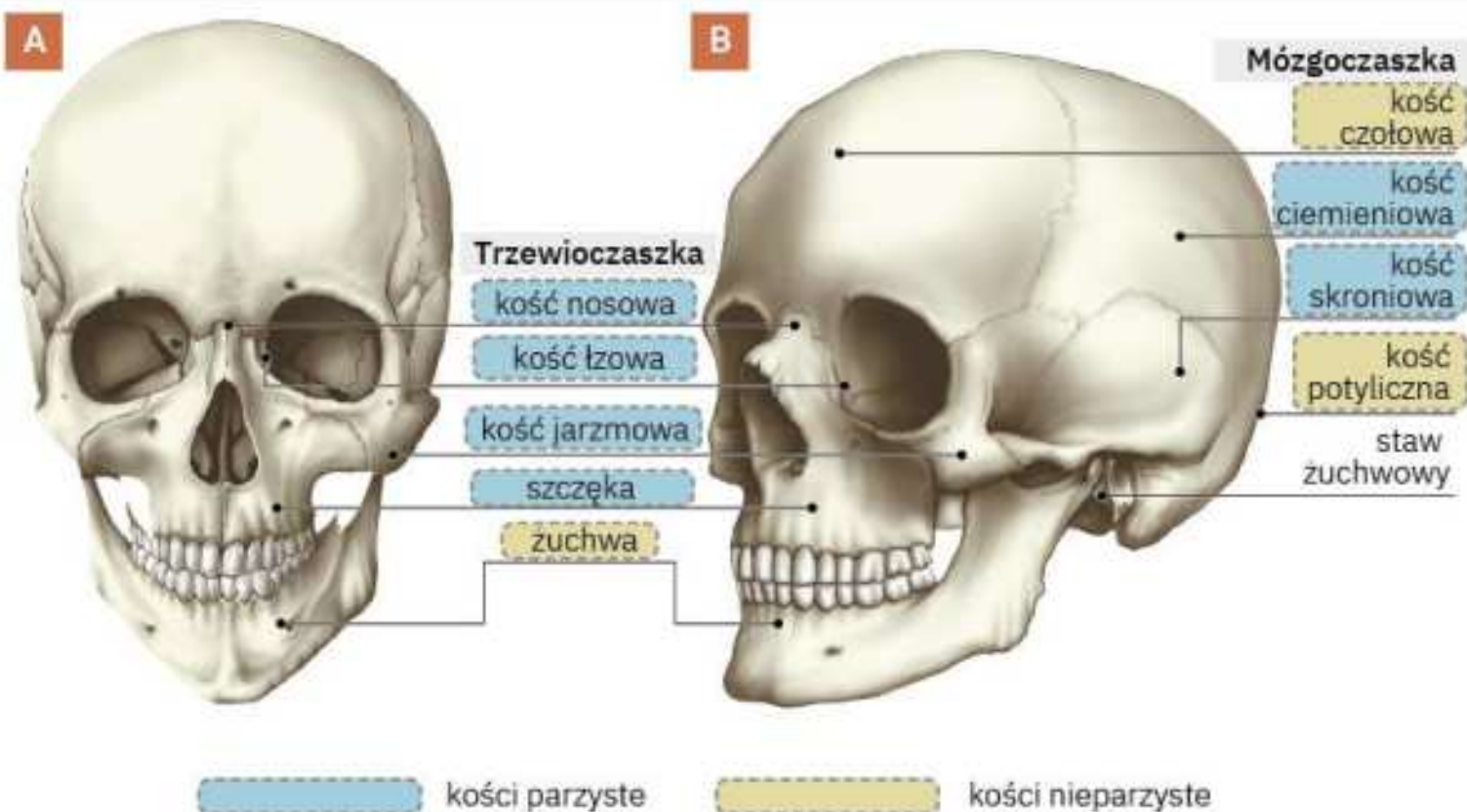
Wzrost czaszki zachodzi podczas życia płodowego i przez krótki okres po urodzeniu. Kości sklepienia czaszki noworodków w miejscach skrzyżowań się szwów mają pola zwane ciemiączkami, które ulegają kostnieniu. Wiąże się to z funkcją ochrony mózgu przez **mózgoczaszkę** (ryc. I.18.4.).



Ryc. I.18.4. W okresie noworodkowym i niemowlęcym kości czaszki nie są ze sobą bezpośrednio połączone, tworzą tzw. ciemiączka, co ułatwia przejście główki dziecka przez kanał rodny podczas porodu, a także dalszy wzrost i rozwój mózgowia.

Druga część czaszki – **trzewioczaszka** – ochrania początkowe odcinki drogi pokarmowej, a także narządy zmysłów (wzrok, smak, węch). Mózgoczaszkę i trzewioczaszkę budują parzyste oraz nieparzyste kości (ryc. I.18.5.). Mózgoczaszkę współtworzą m.in. kość czołowa (w której znajdują się puste przestrzenie zwane zatokami czołowymi) chroniąca z przodu mózgowie i budująca oczodoły, dwie kości ciemieniowe, dwie kości skroniowe oraz kość potyliczna. Kości skroniowe stanowią ochronę dla mózgowia (po bokach) oraz narządu słuchu i równowagi. W podstawie kości potylicznej występuje otwór potyliczny wielki, przez który jama mózgoczaszki łączy się z kanałem rdzenia kręgowego. Po obydwu jego stronach znajdują się kłykiec potyliczne. Są to wyrostki łączące czaszkę z kręgosłupem (dokładnie z pierwszym kręgiem szyjnym).

Trzewioczaszka składa się m.in. z parzystych kości szczękowych, nosowych i jarzmowych.



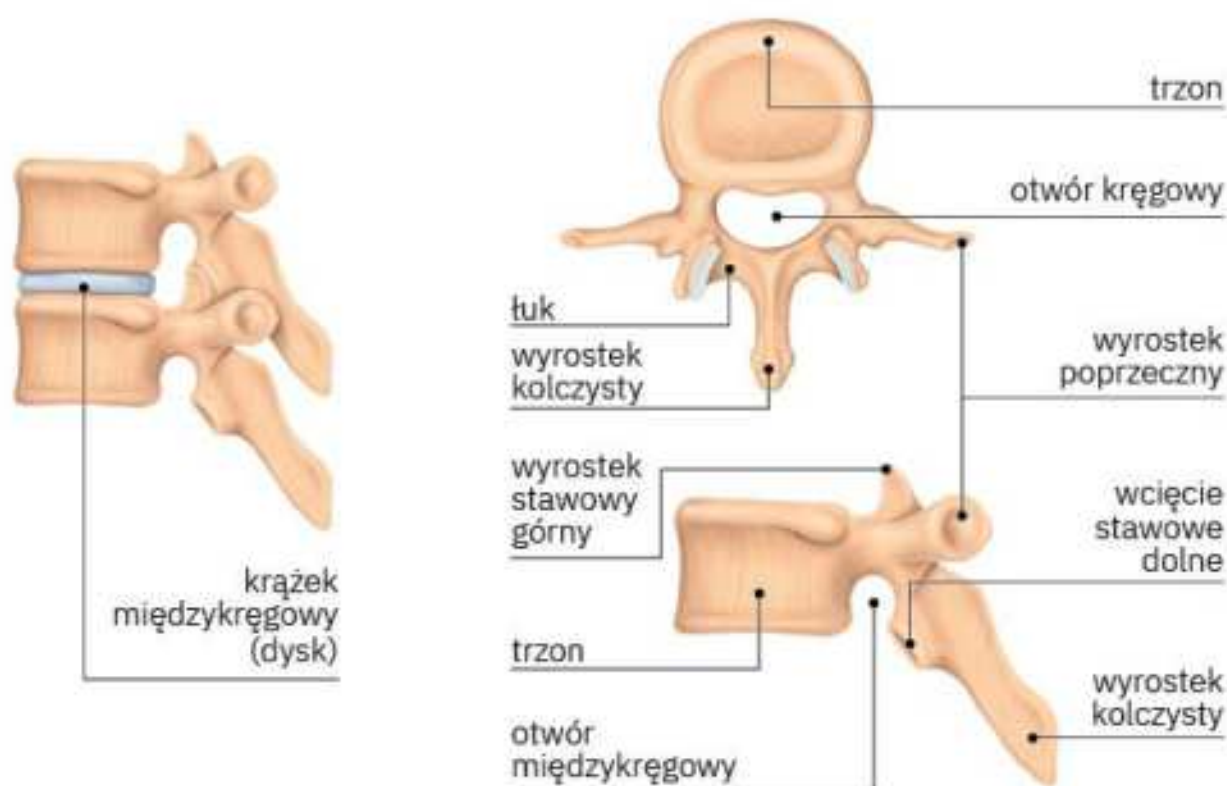
Ryc. I.18.5. Budowa czaszki.



Jedyną ruchomą część czaszki stanowi **żuchwa**. Jest ona połączona stawowo z kością skroniową (stawem żuchwowo-skroniowym). Do szkieletu głowy zaliczamy także kości niezwiązane bezpośrednio z czaszką – kość gnykową (biorącą udział w ruchach krtani) oraz kosteczki słuchowe (młoteczek, kowadełko i strzemiączko).

Kręgosłup

Kręgosłup stanowi podporę ciała, a także ochrania rdzeń kręgowy i pośrednio jest przyczepem dla kończyn. Budują go 33–34 kręgi. Kręgosłup dzieli się na 5 odcinków: **szyjny** zbudowany z 7 kręgów, **piersiowy** z 12, **lędźwiowy** z 5, **krzyżowy** z 5 kręgów zrosniętych w kość krzyżową. Ostatni odcinek **guziczny** (ogonowy) składa się z 4–5 kręgów zrosniętych w kość ogonową. Liczba tych kręgów różni się u poszczególnych osób, co jest przejawem zmienności wewnątrzgatunkowej. Typowy kręg składa się z trzonu i pierścienia tworzącego łuk kręgowy. Otacza on znajdujący się wewnątrz rdzeń kręgowy. Od łuku kręgowego odchodzą wyrostki. Sąsiednie kręgi są oddzielone elastycznymi krążkami zbudowanymi z tkanki chrzęstnej – tzw. **dyskami** (ryc. I.18.6.). Ich funkcją jest amortyzacja wstrząsów podczas ruchów ciała. Wysunięcie krążka nazywamy dyskopatią, jest to schorzenie bardzo niebezpieczne i bolesne. Silny ucisk na rdzeń kręgowy może doprowadzić do niedowładu ciała.

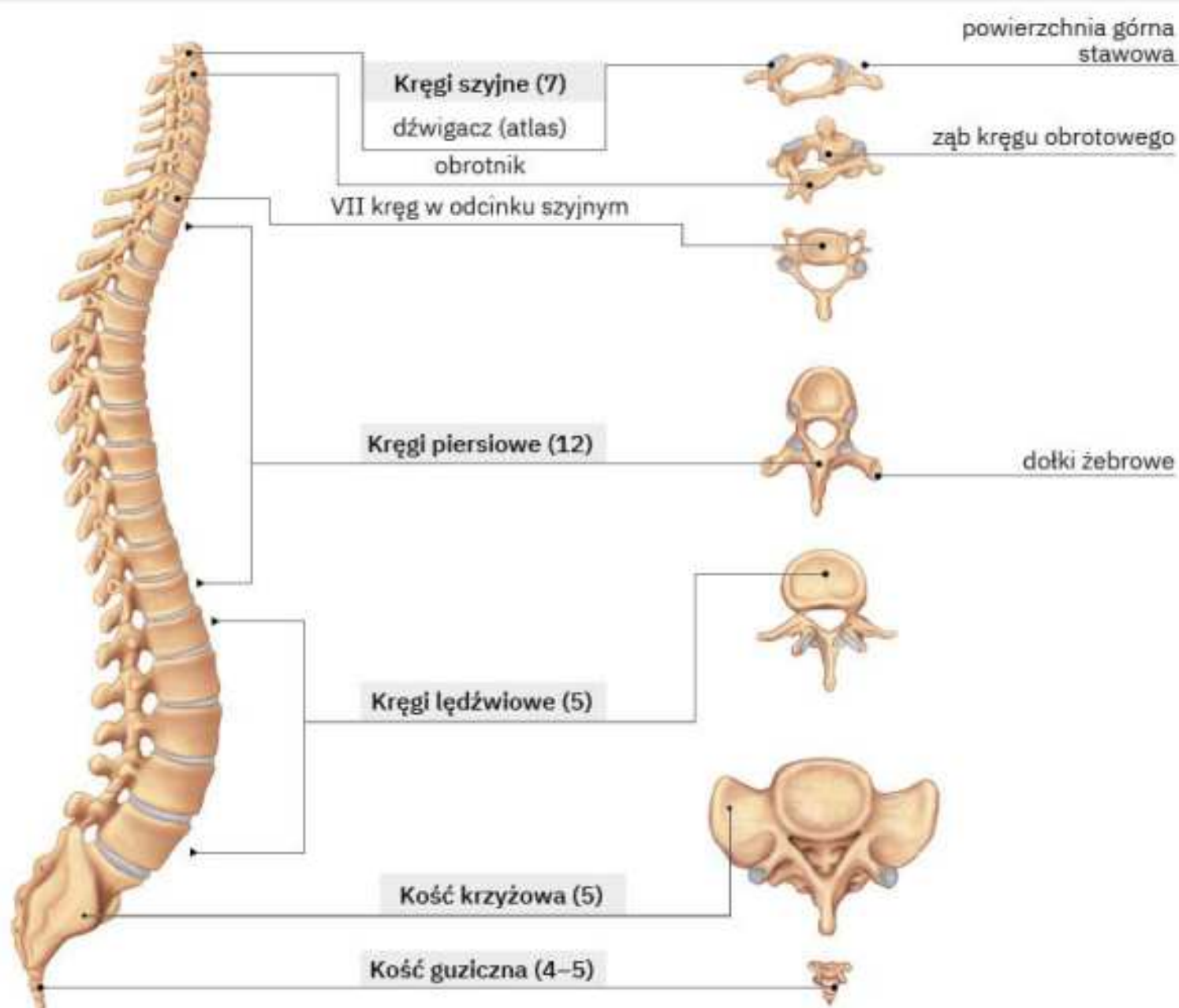


Ryc. I.18.6. Budowa kręgu lędźwiowego i połączenia między kręgami.

Kręgosłup ma naturalne krzywizny, które powodują jego esowate wygięcie. Odcinki szyjny i lędźwiowy wygięte są do przodu – tworzą **lordozy**, natomiast odcinki piersiowy i krzyżowy, wysunięte ku dołowi, tworzą **kifozy** (ryc. I.18.7.).



Pierwszy kręgosłup, zwany **dźwigaczem** (atlas), nie ma trzonu, a jedynie łuki kręgowce i jest połączony stawowo z kłykcami potylicznymi (kostne wyrostki) czaszki. Takie połączenie pozwala na wykonywanie potakujących ruchów głową. Drugi kręgosłup – **obrotnik** – ma na trzonie ząb, który łączy się z dolną powierzchnią stawową dźwigacza. Taka budowa i połączenie pozwalają na wykonywanie przeczących (obrotowych) ruchów głową. Pozostałe kręgi odcinka szyjnego nie różnią się powierzchnią i kształtem, jedynie siódmy kręgosłup ma długi wyrostek kolczysty łatwo wyczuwalny pod skórą po schyleniu głowy. Kręgi piersiowe z boku trzonów są wyposażone w powierzchnie stawowe – tzw. dołki żebrowe, którymi łączą się z żebrami. Najbardziej masywne w kręgosłupie są kręgi lędźwiowe, ponieważ na nich spoczywa ciężar górnej części ciała. Wyróżniają je silnie rozwinięte wyrostki poprzeczne i duże płaskie wyrostki kolczyste. Kręgi krzyżowe zrastają się ze sobą, tworząc kość krzyżową (u kobiet szerszą, krótszą i bardziej płaską niż u mężczyzn). Ostatnie kręgi guziczne (ogonowe) występujące w postaci szczątkowej zrastają się, tworząc kość guziczną (ogonową). Liczba kręgów w kości guzicznej jest cechą osobniczą (4 lub 5 kręgów).



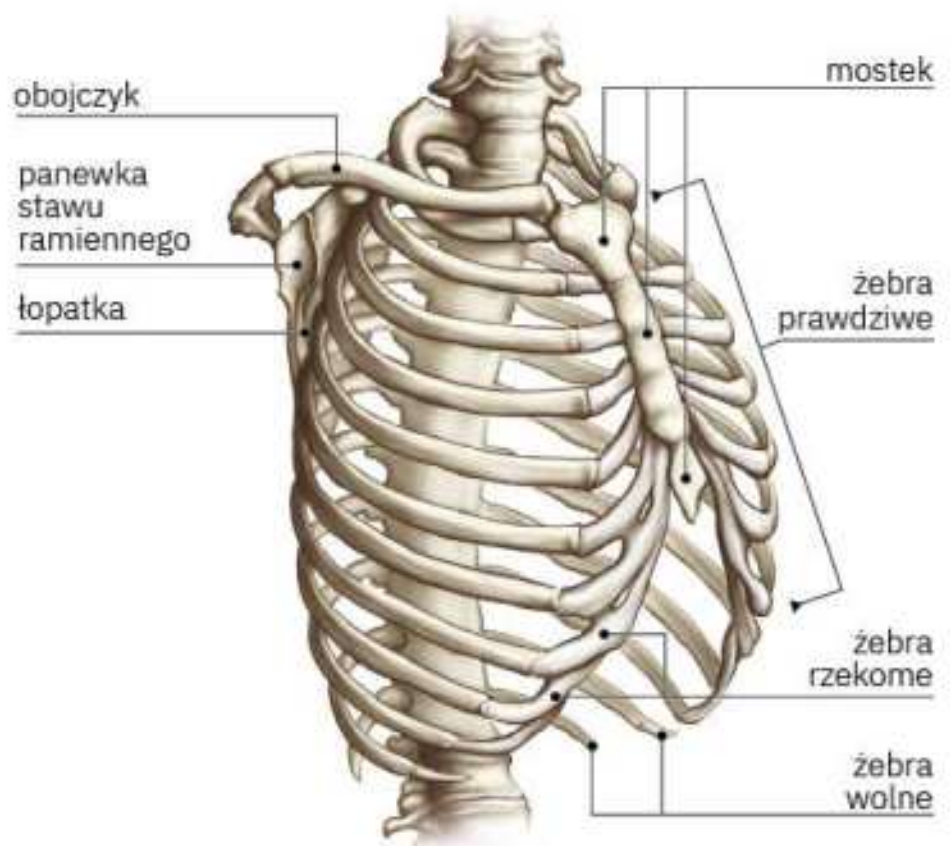
Ryc. I.18.7. Budowa kręgosłupa.



Klatka piersiowa

Klatka piersiowa stanowi ochronę dla płuc, serca, tchawicy, przełyku i pozwala na wykonywanie ruchów oddechowych. Składa się z **kręgów piersiowych kręgosłupa** (12 kręgów), **12 par żeber** oraz **mostka** (ryc. I.18.8.).

Pierwsze 7 par żeber – tzw. **żebra prawdziwe** – bezpośrednio dochodzą do mostka i łączą się z nim za pomocą chrząstek żebrowych. Chrząstne części następnych par, tzw. **żeber rzekomych**, zrastają się z chrząstkami żeber położonych wyżej (3 następne pary) lub kończą się swobodnie w jamie brzusznej (dwie ostatnie pary – **żebra wolne**). Przednia część żeber jest zbudowana z chrząstki, dzięki temu klatka piersiowa jest elastyczna i sprężysta.



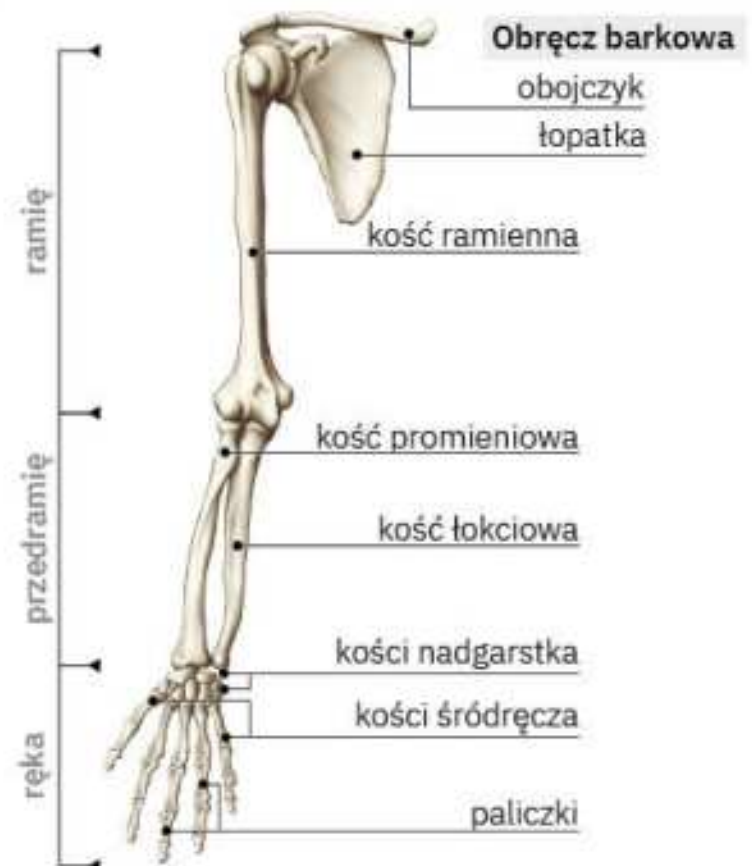
Ryc. I.18.8. Budowa klatki piersiowej.

Szkielet obręczy górnej i kończyny górnej

Obręcz górna (barkowa) składa się z łopatki i obojczyka. Umożliwiają one połączenie kończyny górnej ze szkieletem osiowym. Szkielet kończyny górnej tworzą kość ramieniowa, dwie kości przedramienia: promieniowa i łokciowa, oraz kości dłoni: kości nadgarstka, śródręcza i palców (paliczki bliższe, środkowe, dalsze) (ryc. I.18.9.).

Jeśli wewnętrzna część dłoni jest zwrócona ku przodowi, kości przedramienia są ułożone równolegle do siebie. Po wewnętrznej stronie znajduje się kość łokciowa, a po zewnętrznej – promieniowa. W odwrotnej pozycji dłoni kości te się krzyżują. Taka ruchomość pozwala na wykonywanie ruchów chwytно-manipulacyjnych kończyny górnej.

Połączenie szkieletu kończyny górnej ze szkieletem osiowym umożliwia obojczyk, który łączy łopatkę z mostkiem. Łopatka jest miejscem przyczepu mięśni grzbietu i mięśni kończyny górnej. W łopatce znajduje się zagłębienie – panewka stawu barkowego, w którą wchodzi głowa kości ramiennej.

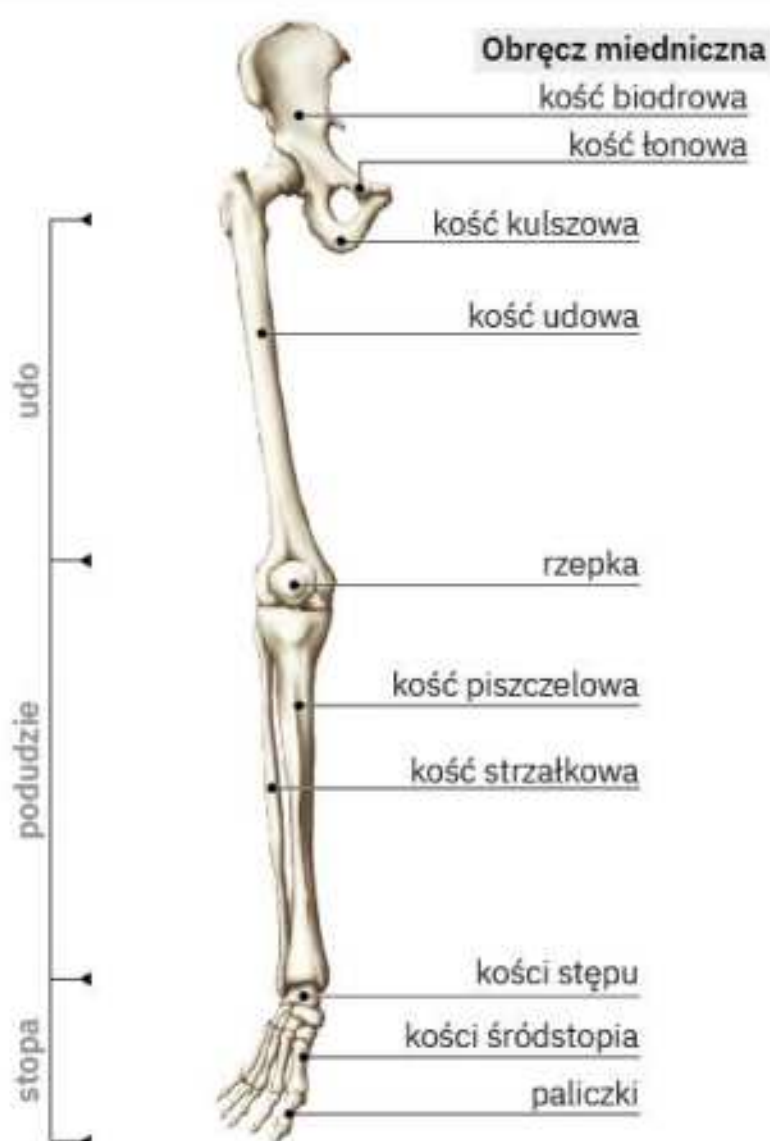


Ryc. I.18.9. Szkielet obręczy barkowej i kończyny górnej.



Szkielet ręki tworzą dwa szeregi kości nadgarstka, dalej śródręcze zbudowane z 5 kości śródręcza, których końce dalsze łączą się stawowo z paliczkami palców. Palce składają się z trzech paliczków, z wyjątkiem kciuka (dwa paliczki). Kciuk jest przeciwstawny do pozostałych palców.

Szkielet obręczy i kończyny dolnej



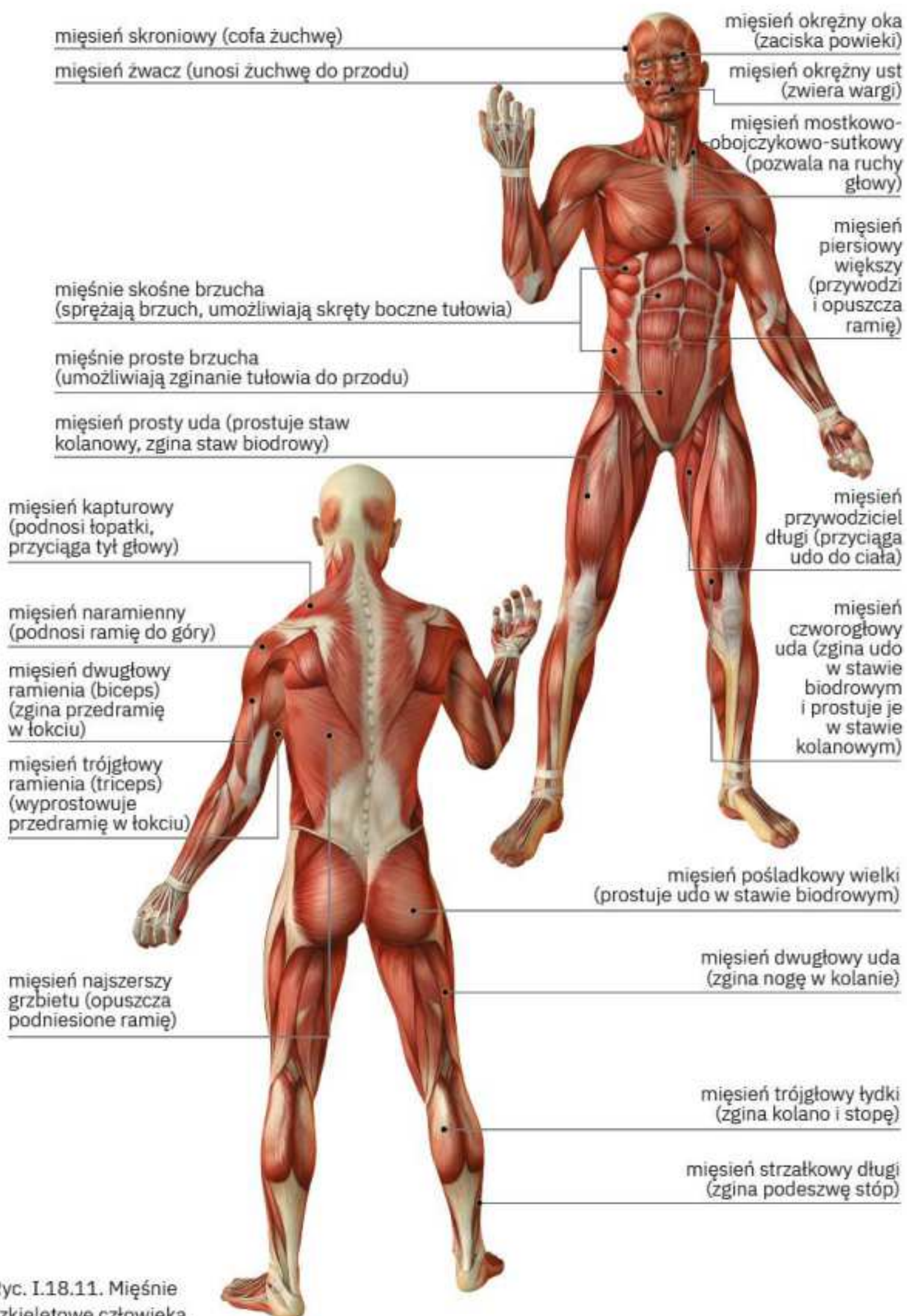
Ryc. I.18.10. Szkielet kończyny dolnej i miednicy.

Obręcz dolna (miedniczna) jest zbudowana z kości miednicznych, które powstają przez zrośnięcie się ze sobą kości biodrowej, kulszowej i łonowej (**ryc. I.18.10.**). Dwie kości miedniczne zrośnięte z kością krzyżową kręgosłupa tworzą **miednicę**. Stanowi ona ochronę narządów położonych w obrębie miednicy, m.in. pęcherza moczowego, a także wpływa na akcję porodową, postawę i wykonywanie ruchów ciała. Szkielet kończyny dolnej stanowią kość udowa, kości podudzia, piszczelowa i strzałkowa, oraz kości stopy (stępu, śródstopia i palców).

Miednica jest połączona z kością krzyżową kręgosłupa. W miejscu styku trzech kości miednicy tworzy się zagłębienie – panewka stawu biodrowego. W staw wchodzi głowa kości udowej. Drugi koniec kości udowej stanowi powierzchnię stawową dla kości piszczelowej. Takie połączenie tworzy **staw kolanowy**, który buduje także niewielka kość – **rzepka** – chroniąca kolano przed różnymi uszkodzeniami powstającymi podczas ruchu. Kość piszczelowa i strzałkowa współtworzą **staw skokowy**, którym stopa łączy się z podudziem. W stopie paluch nie jest przeciwstawny do pozostałych palców.

Czynna część układu ruchu – układ mięśniowy

Układ mięśniowy wprawia w ruch cały szkielet, a dzięki temu umożliwia funkcjonowanie narządów wewnętrznych oraz zapewnia stałe krążenie krwi. W organizmie człowieka występuje ok. 400 mięśni, które stanowią do 40% masy ciała (**ryc. I.18.11.**).



Ryc. I.18.11. Mięśnie szkieletowe człowieka.

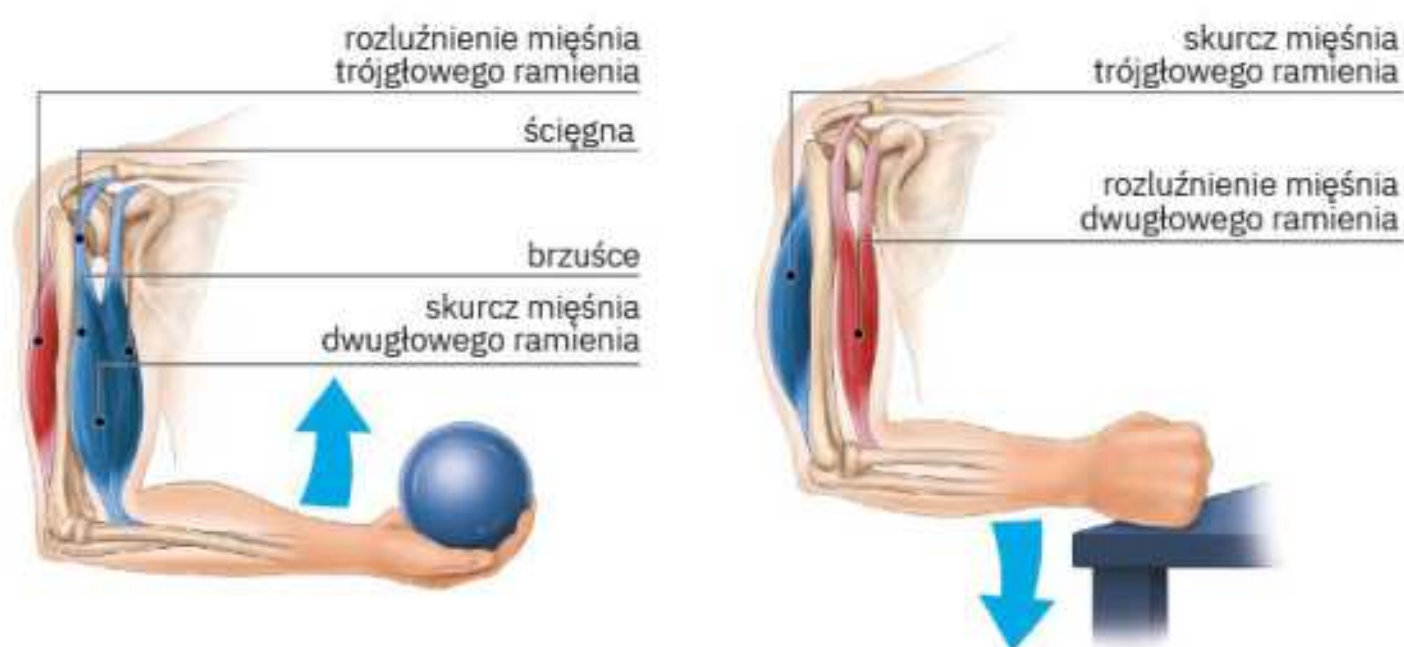


Mięśnie zbudowane są z **brzusca** i łącznotkankowych **ścięgien**, łączących je z kośćmi. Brzusiec to czynna część mięśnia, którą tworzą włókna mięśniowe poprzecznie prążkowane. Niektóre mięśnie mają więcej niż jeden brzusiec. Nazywamy je **dwugłowymi**, **trójgłowymi** lub **czterogłowymi**. Ścięgna przenoszą siłę skurczu mięśni na elementy kostne.

Mięśnie są dobrze unerwione i unaczynione, a komórki mięśniowe zawierają barwnik mioglobinę, która nadaje im czerwony kolor.

mięśnie
antagonistyczne

Mięśnie **zginacze (przywodziciele)** i **prostowniki (odwodziciele)** uczestniczące w wykonywaniu przeciwstawnej pracy nazywamy **mięśniami antagonistycznymi** (ryc. I.18.12.).



Ryc. I.18.12. Działanie mięśni antagonistycznych ramienia. Mięsień dwugłowy ramienia jest zginaczem – skurcz powoduje zgięcie kończyny górnej w stawie łokciowym. Mięsień trójgłowy ramienia to prostownik – jego rozkurcz powoduje wyprostowanie kończyny górnej w stawie łokciowym.

Źródła energii pracy mięśni

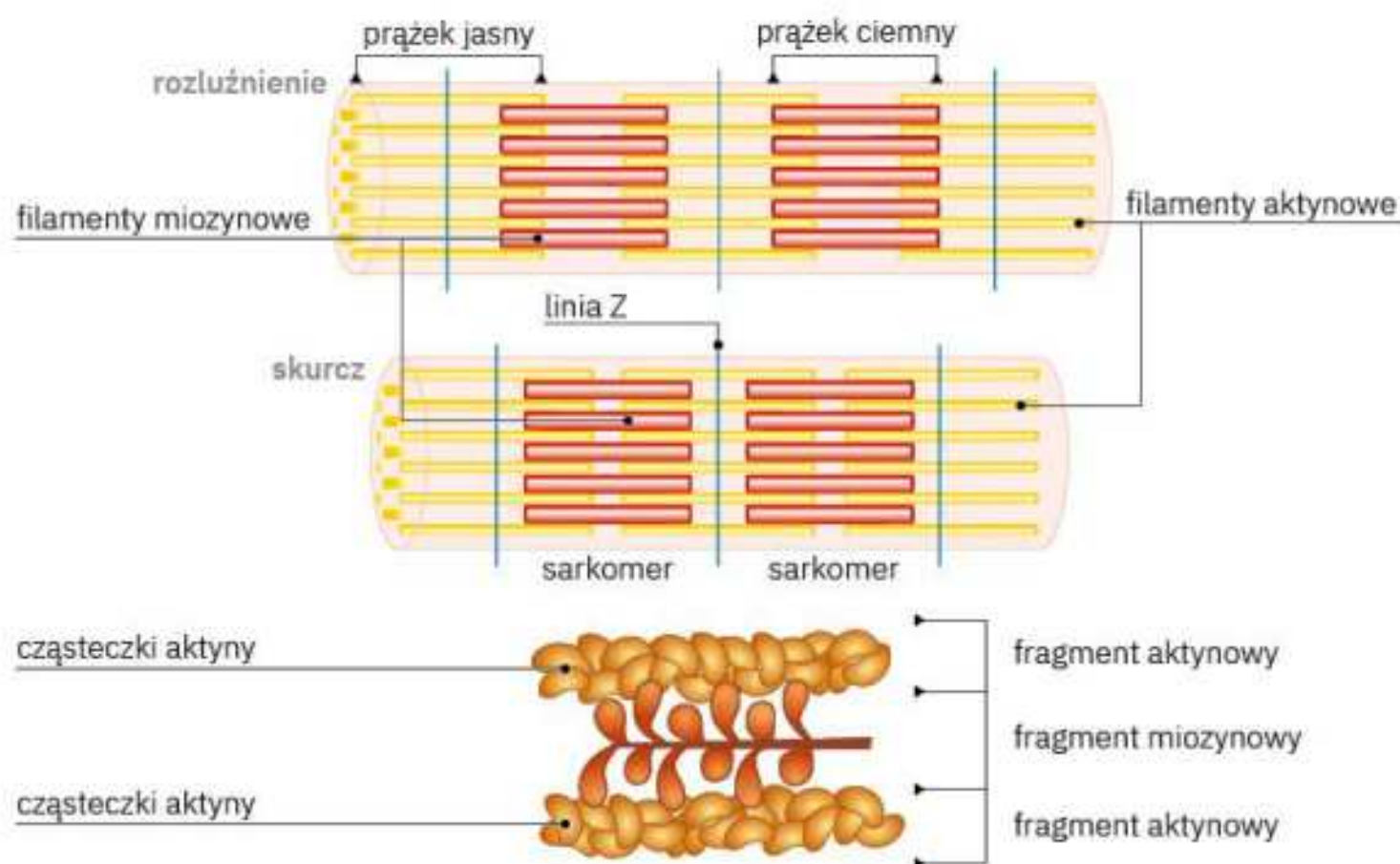


sarkomer

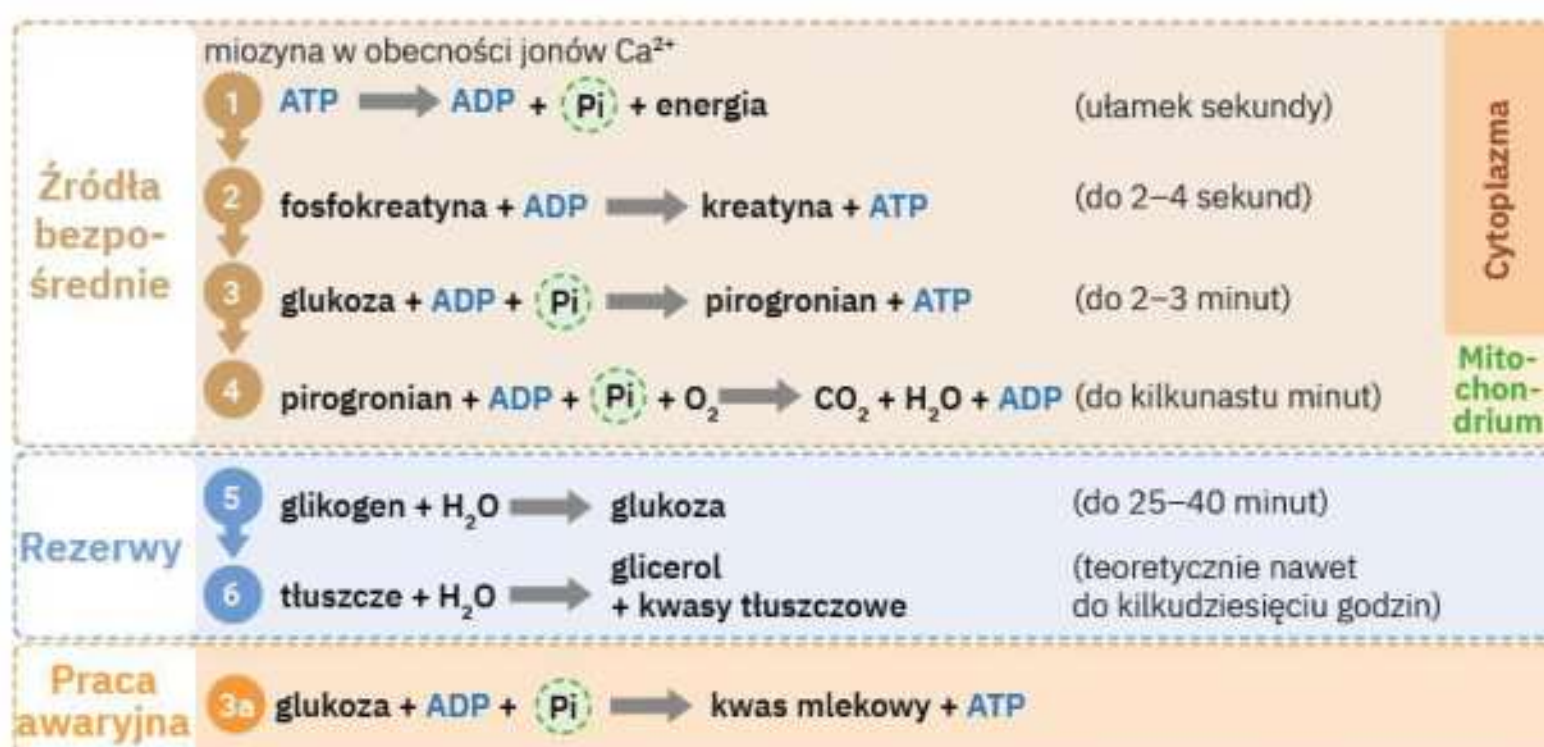
Podstawową jednostką strukturalną i funkcjonalną mięśnia odpowiedzialną za jego pracę jest **sarkomer** (ryc. I.18.13.). Podczas skurczu mięśnia następuje ruch ślizgowy filamentów grubych (miozynowych) pomiędzy filamenty cienkie (aktynowe). Sygnałem dla skurczu jest wzrost stężenia jonów wapnia (Ca^{2+}) uwalnianych z wewnątrzkomórkowych zbiorników. Uwolnione jony wapnia ułatwiają wytworzenie połączeń między filamentami aktynowymi a miozynowymi. Skraca się długość sarkomeru, a długość filamentów pozostaje bez zmian. Kiedy spada stężenie jonów wapnia, zostaje zablokowana możliwość połączenia między aktyną i miozyną. Filamenty cienkie i grube powracają do pierwotnego położenia, a sarkomer ulega rozkurczowi. Do wywołania skurczu mięśnia niezbędna jest energia, którą dostarcza **ATP**. Energia zgromadzona w ATP bardzo szybko jest zużywana, a jej zapas wystarcza tylko na ułamek sekundy. Podtrzymywanie kurczenia mięśni wymaga jej stałego odtwarzania. Źródłem ATP jest wysokoenergetyczny zmodyfikowany aminokwas **fosfokreatyna**. Poprzez rozrywanie wysokoenergetycznego wiązania w fosfokreatynie następuje na kilka sekund



odtworzenie ATP. Jednocześnie dochodzi do uwolnienia energii potrzebnej do skurczu w procesie oddychania tlenowego. Substratami są glukoza (pochodząca z rozkładu zmagazynowanego w mięśniach glikogenu lub transportowana z krwią) i wolne kwasy tłuszczowe (transportowane z krwią) (**ryc. I.18.14.**).



Ryc. I.18.13. Mechanizm skurczu mięśnia. Sarkomer obejmuje odcinek miofibryli ograniczony błoną graniczną Z i zawiera połowę jednego prążka jasnego, cały prążek ciemny oraz połowę drugiego prążka jasnego. W obrazie mikroskopowym filamenty cienkie są postrzegane jako słabo załamujące światło prążki jasne, a filamenty grube jako silnie załamujące światło prążki ciemne. Odcinki te są ułożone regularnie i naprzemiennie na tym samym poziomie w miofibrylach, co daje obraz poprzecznego prążkowania.



Ryc. I.18.14. Przemiany biochemiczne zachodzące podczas pracy mięśnia.



Podczas intensywnej pracy, gdy mięsień nie jest dostatecznie dotleniony (pomimo rezerwy tlenowej w mioglobinie), powstaje tzw. dług tlenowy (**ryc. I.18.15.**). Wówczas w mięśniach gromadzi się kwas mlekowy, który obniża pH, co wywołuje ból i zmęczenie mięśni.



Ryc. I.18.15. Powstanie kwasu mlekowego w intensywnie pracujących mięśniach. Krew transportuje z komórek mięśniowych mleczan do wątroby, gdzie zostaje przekształcony do glukozy. Glukoza jako materiał energetyczny wraca do komórek.

Do wywołania skurczu mięśnia jest potrzebny impuls nerwowy przekazywany za pośrednictwem aksonów neuronów. Skurcz niektórych mięśni jest powodowany przez inne czynniki, np. hormonalne, czy w mięśniu serca przez wyspecjalizowane komórki mięśniowe.

Aktywność fizyczna a zdrowie

aktywność
fizyczna

Aktywność fizyczna korzystnie wpływa na funkcjonowanie całego organizmu, w tym układu kostnego i mięśniowego. Regularne uprawianie ćwiczeń:



Ryc. I.18.16. Aktywność fizyczna.

- skutecznie chroni przed osteoporozą;
- pozytywnie wpływa na gęstość kości, zwiększając ich uwapnienie, dzięki czemu są bardziej elastyczne i odporne na złamania;
- poprawia zakres ruchu w stawach oraz zwiększa odporność na urazy;
- poprawia siłę i wytrzymałość mięśni oraz równowagę i koordynację ruchową;
- zapewnia prawidłowy stan napięcia mięśni, poprzez to sylwetka staje się sprężysta;
- prowadzi do zmniejszenia bólów kręgosłupa przez zwiększenie siły mięśni kręgosłupa i mięśni grzbietu;
- pozwala na dłuższą pracę mięśni bez zmęczenia.

Aktywność fizyczna ponadto zapobiega otyłości, poprawia wydolność serca, gdyż zmniejsza ryzyko wystąpienia zawału, a także łagodzi napięcia nerwowe i osłabia skutki stresu.



Oprócz aktywności fizycznej dla naszych stawów, kości i mięśni ważna jest dieta bogata w wapń i witaminę D. W codziennym jadłospisie powinny znaleźć się produkty nabiałowe, takie jak: białe sery, jogurty czy kefiry o niskiej zawartości tłuszczu. Poza tym należy spożywać oleje roślinne, najlepiej tłoczone na zimno, np. olej lniany, olej z oliwek. Również niezwykle wartościowym dodatkiem są bakalie – orzechy i nasiona słonecznika oraz dyni, a także suszone owoce. Należy pięć razy dziennie jeść warzywa lub owoce. Co najmniej trzy razy w tygodniu w diecie powinny znaleźć się także tłuste ryby, takie jak łosoś czy halibut. Należy używać naturalnych przypraw, m.in. kurkumy, imbiru czy świeżych i suszonych ziół. Bardzo duże znaczenie ma również odpowiedni poziom nawodnienia.

Doping

doping

Aby zwiększyć sprawność fizyczną czy osiągać jak najwyższe wyniki sportowe, ludzie sięgają po niedozwolone **środki dopingujące**. Wśród nich znajduje się wiele różnych substancji, m.in.:

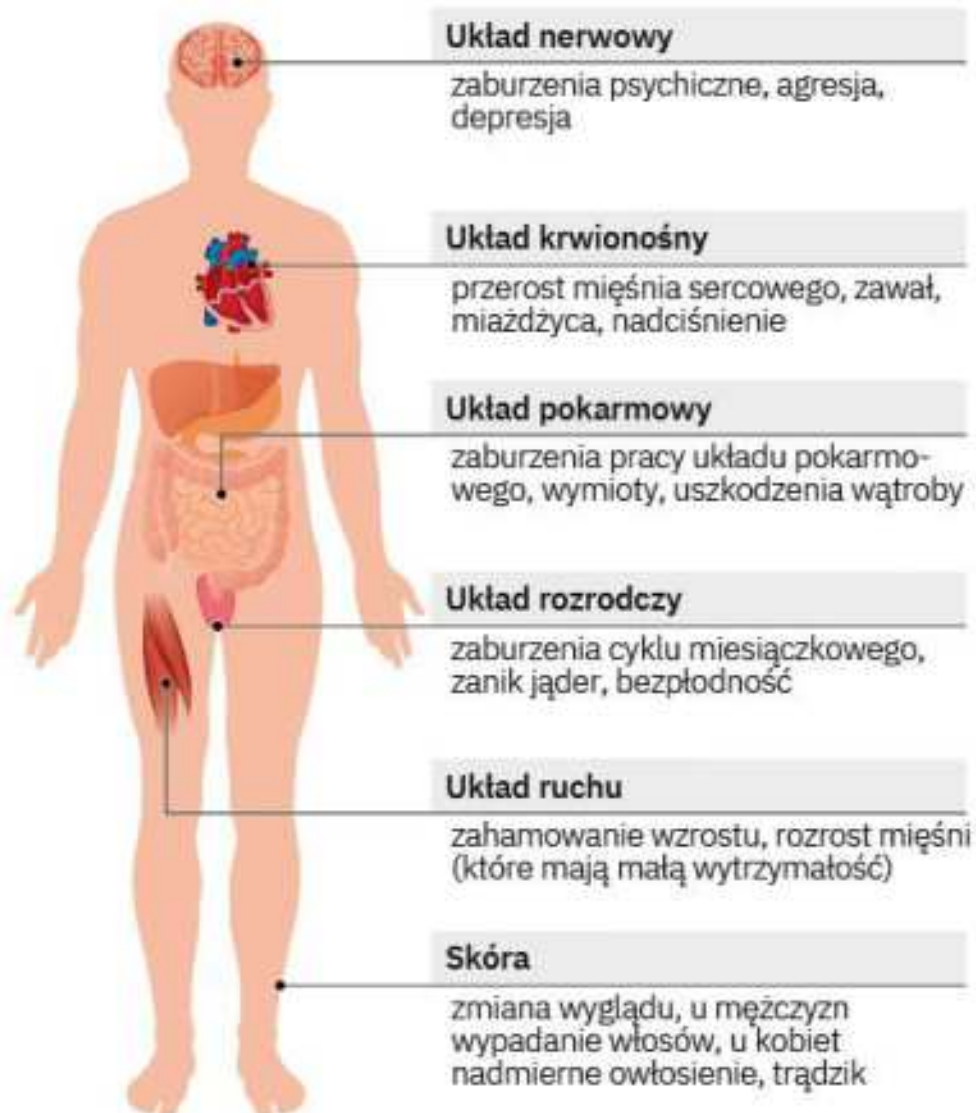
- środki pobudzające, np. kokaina, amfetamina,
- narkotyczne środki przeciwbólowe, np. morfina, metadon,
- środki anaboliczno-androgenne, np. testosteron, stanozonol,
- środki moczopędne, np. furosemid,
- hormony peptydowe, np. ludzki hormon wzrostu, erytropoetyna,
- alkohol i środki miejscowego znieczulenia.

Szczególnie niebezpieczne dla zdrowia są **anaboliki** – związki chemiczne, które sztucznie podnoszą wydajność sportowca (**ryc. 1.18.17.**). Zwiększają jego pobudliwość, tempo przemiany materii, tempo syntezy białek, a tym samym masę i siłę mięśni. Przyjmowanie anabolików powoduje zaburzenia pracy wielu narządów, może nawet prowadzić do kalectwa lub śmierci. Wśród częstych skutków zażywania tych substancji są także nienaturalny rozrost piersi, zarówno u kobiet, jak i u mężczyzn, spadek popędu płciowego u mężczyzn i jego wzrost u kobiet oraz bezpłodność u mężczyzn.

Zmiany dotyczą także psychiki – osoby zażywające środki dopingujące stają się agresywne i nie mogą kontrolować własnego zachowania, a nawet chorują na depresję. Stosowanie takich substancji w okresie dojrzewania zwykle uniemożliwia profesjonalną karierę sportową w wieku dorosłym. Środki dopingujące można wykryć, badając próbkę moczu lub krwi sportowca.

Podobny efekt jak doping krwią, np. poprzez transfuzję krwi własnej lub cudzej pobranej wcześniej, uzyskuje się dzięki zastosowaniu erytropoetyny (EPO). To hormon naturalnie wytwarzany w nerkach, pobudzający szpik kostny do produkcji erytrocytów.

Nie można wykluczyć, że najnowsza technika dopingowa będzie wykorzystywała doping genetyczny, który naśladuje terapię genową. Wykorzystując tzw. wektory wirusowe, można do jądra komórki wprowadzić odpowiednie geny i spowodować, że komórka będzie produkowała określone białka. Można taką metodą zwiększyć masę mięśniową, ukrwienie tkanek, liczbę czerwonych krwinek czy zmniejszyć odczuwanie bólu. Doping genetyczny trudno wykryć, tym bardziej, że nie ma dokładnych informacji o jego stosowaniu.



Ryc. I.18.17. Zmiany w organizmie pod wpływem środków dopingowych.

Zwalczaniem dopingu w sporcie zajmuje się Światowa Agencja Antydopingowa (ang. *World Anti-Doping Agency*, WADA).

Stosowanie dopingujących środków hormonalnych powoduje poważne zmiany w najważniejszych układach wewnętrznych:

- w układzie ruchu – przyrost masy mięśni, rozwój męskiej sylwetki ciała (także u kobiet);
- w układzie hormonalnym – zaburzenia równowagi hormonalnej, co może być przyczyną niepłodności i impotencji u mężczyzn, a u kobiet może prowadzić do rozwoju cech męskich (tzw. maskulinizacja);
- w układzie krwionośnym – zmiany w obrębie naczyń krwionośnych i serca, co może być przyczyną zawałów serca, wylewów krwi i zmian nowotworowych;
- w skórze – przetłuszczanie i wypadanie włosów, zmiany skórne (trądzik);
- w psychice i osobowości – nasilające się rozdrażnienie, agresja zaburzająca życie rodzinne (społeczne).



ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Przedstaw znaczenie połączeń nieruchomych w czaszce.
2. Wyjaśnij, jaką funkcję pełnią chrząstki stawowe, maź stawowa i więzadła.
3. Na podstawie wybranych przykładów wyjaśnij antagonizm pracy mięśni.
4. Wytlumacz, jakie skutki dla organizmu miałyby długotrwale zakwaszenie mięśni.
5. Omów pozytywne i negatywne skutki uprawiania sportu.
6. Przedstaw na wybranym przykładzie negatywne skutki stosowania środków dopingujących.
7. Wykonaj jedno z doświadczeń opisanych na stronach 400–402 podręcznika.

PODSUMOWANIE LEKCJI

Układ ruchu składa się z układu szkieletowego i mięśniowego.

s. 170

W **szkielecie człowieka** można wyróżnić szkielet osiowy i szkielet kończyn.

s. 170

Kości wchodzące w skład szkieletu są połączone ze sobą. Większą część połączeń kości stanowią połączenia ruchome – **stawy**.

s. 171

W układzie mięśniowym człowieka wyróżnia się **mięśnie antagonistycznie działające** (zginacze i prostowniki).

s. 180

Podstawową jednostką funkcjonalną mięśnia jest **sarkomer**, w którym następuje skurcz mięśnia.

s. 180

Intensywna praca mięśni **wymaga energii**, której bezpośrednim **źródłem jest ATP**. W warunkach beztlenowych dochodzi do zakwaszenia mięśni.

s. 180

Wysoka **sprawność fizyczna** jest jednym z warunków zachowania zdrowia.

s. 182

Jednym z problemów współczesnego sportu jest stosowanie **dopingu**, który szkodzi zdrowiu.

s. 183



19. Skóra

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz budowę skóry;
- dowiesz się, jakie funkcje pełni skóra;
- uzyskasz informacje o najczęstszych chorobach skóry.

Skóra to zewnętrzna powłoka ciała, która stanowi barierę oddzielającą organizm od środowiska zewnętrznego. Powierzchnia skóry dorosłego człowieka wynosi między 1,5 a ok. 2 m². Skóra jest największym narządem człowieka.

budowa skóry

Budowa skóry

naskórek

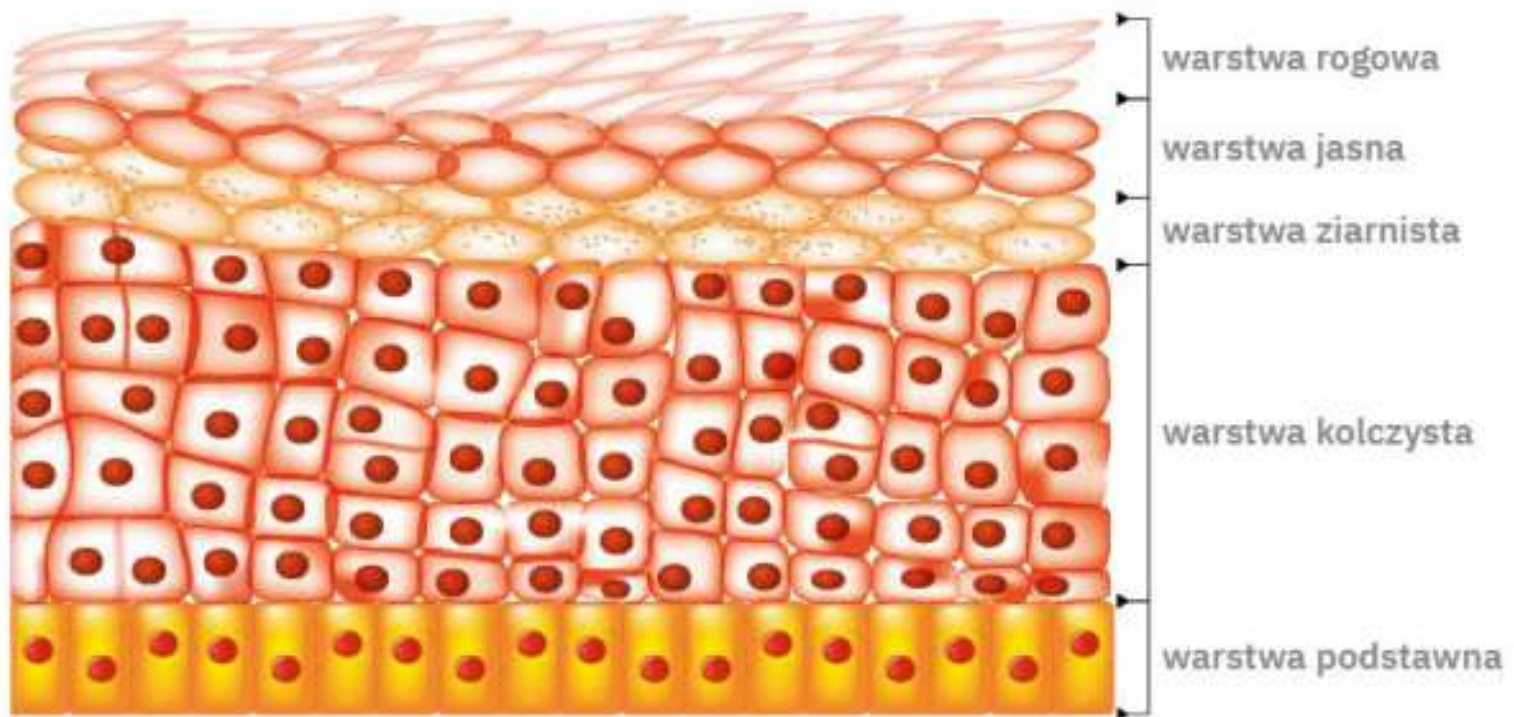
Skóra składa się z dwóch głównych warstw: naskórka i skóry właściwej. **Naskórek** to najbardziej powierzchniowa warstwa skóry zbudowana z wielu warstw rogowaciejących komórek nabłonkowych. Jego grubość jest zróżnicowana – najgrubszy występuje na dłońiach i podeszwach, najcieńszy – na powiekach. Na naskórku opuszków palców znajduje się charakterystyczny, unikatowy dla każdej osoby układ listewek (linii papilarnych), co umożliwia jego analizę i jest pomocne, np. w czasie ustalania tożsamości (**ryc. I.19.1.**).



Ryc. I.19.1. Każdy człowiek ma unikatowy układ linii papilarnych (odcisk palca).

warstwy naskórka

W naskórku nie ma naczyń krwionośnych ani zakończeń nerwowych. W obrębie naskórka wyróżniamy dwie warstwy: rogową oraz rozrodczą (**ryc. I.19.2.**). **Warstwa rogowa** jest położona powierzchniowo, a na jej powierzchni komórki są martwe i bogate w białko – **keratynę**, która zapewnia wytrzymałość mechaniczną skóry. Komórki warstwy rogowej naskórka ulegają ciągłemu złuszczeniu i są zastępowane przez nowe komórki produkowane przez położoną najgłębiej **warstwę rozrodczą**. Dodatkowo w warstwie rozrodczej warstwy podstawnej naskórka znajdują się komórki barwnikowe (**melanocyty**) produkujące ciemne barwniki zwane **melaninami**. Melaniny odpowiadają za barwę skóry, a ich ilość jest uwarunkowana genetycznie, zróżnicowana w poszczególnych częściach ciała oraz odmienna w obrębie poszczególnych grup etnicznych (**ryc. I.19.3.**). Melaniny chronią skórę przed szkodliwym działaniem światła słonecznego (głównie w zakresie UV). Pod wpływem światła synteza melanin wzrasta.



Ryc. I.19.2. Budowa naskórka.



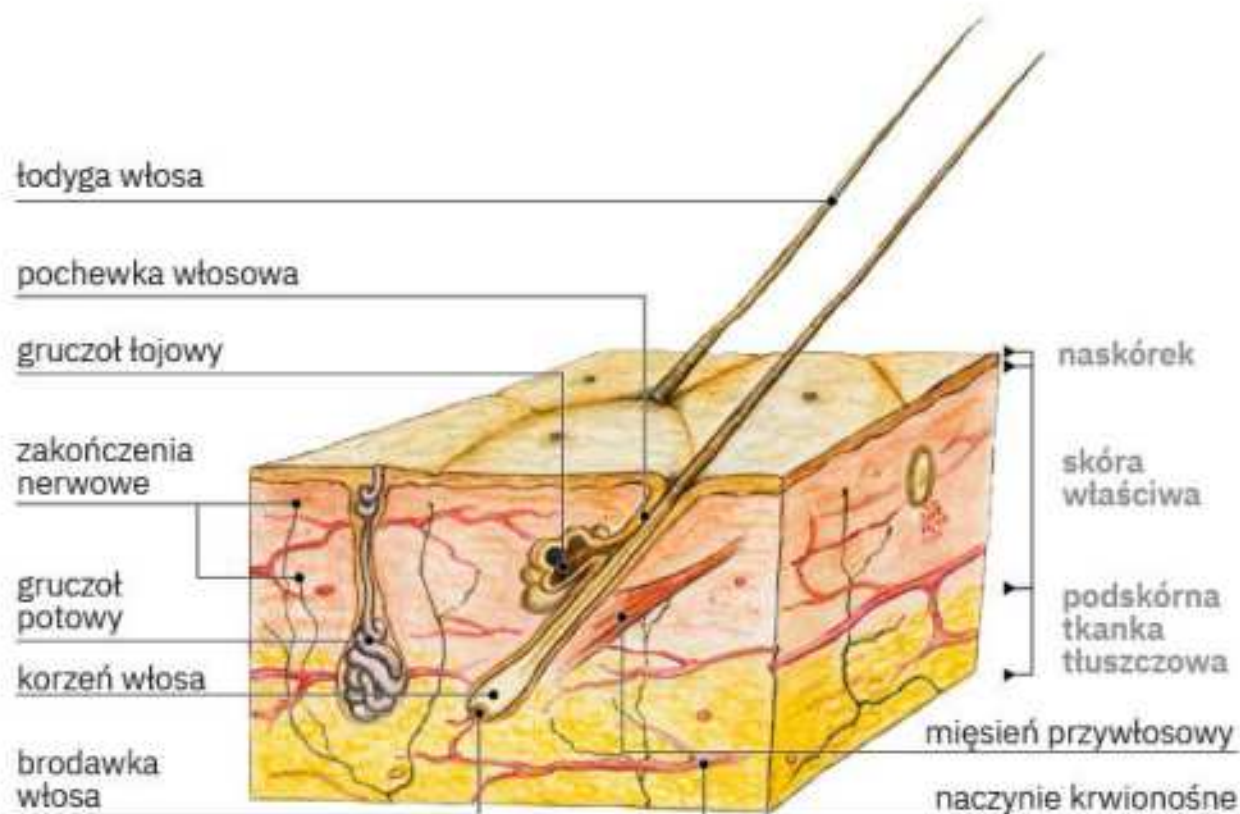
Ryc. I.19.3. Barwa skóry zależy od ilości melanin w skórze.

Skóra właściwa jest utworzona z tkanki łącznej oraz włókien białkowych (kolagenowych i elastynowych), które nadają skórze sprężystość i wytrzymałość. **Rozstępy** (powstające np. w czasie ciąży lub u ludzi otyłych) są efektem rozciągania skóry i pęknięcia włókien elastynowych. Pod warstwą podstawną skóry właściwej znajduje się tkanka podskórna zbudowana głównie z tkanki tłuszczowej. Głównymi komórkami w skórze właściwej są fibroblasty, makrofagi i komórki tuczne. Fibroblasty to najliczniejsze komórki tkanki łącznej właściwej, z wyraźnym jądrem komórkowym. Produkcją kolagen zapewniający skórze elastyczność i wysoką odporność na rozciąganie. W czasie procesu gojenia się ran fibroblasty przechodzą intensywne podziały mitotyczne, co znacznie przyspiesza ten proces. Makrofagi i komórki tuczne są elementem odporności nieswoistej w skórze. Dodatkowo na skórę właściwą składają się:

skóra właściwa



- naczynia krwionośne i chłonne,
- receptory czuciowe (zakończenia nerwów czuciowych), które są wrażliwe na dotyk, temperaturę, ucisk i ból,
- gruczoły potowe i ich przewody wyprowadzające,
- gruczoły łojowe,
- włosy i mięśnie przywłosowe.



Ryc. I.19.4. Budowa skóry.

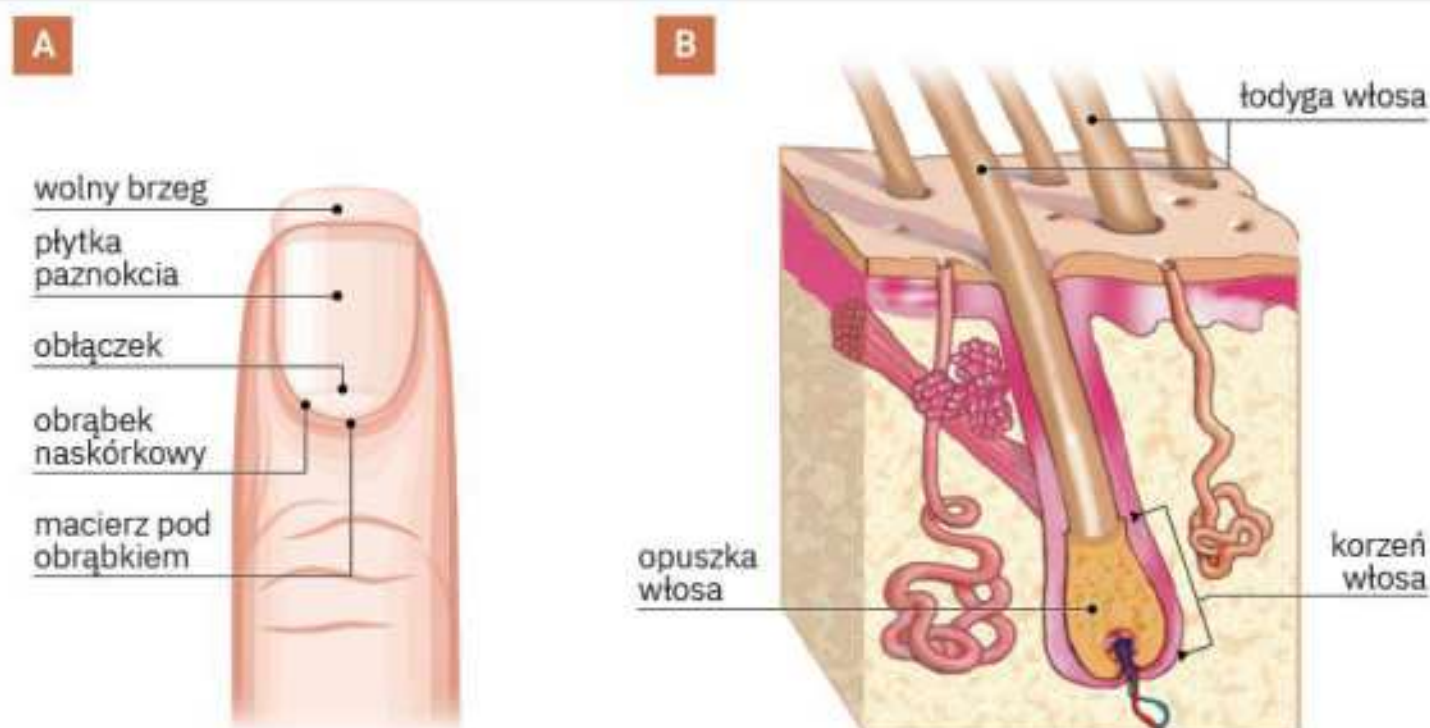
wytwory naskórka

Wytwory naskórka

Wytworami naskórka są włosy, paznokcie oraz gruczoły (łojowe, potowe i mleczne) (**tab. I.19.1.**).

Włosy są zbudowane głównie z martwych komórek wypełnionych keratyną. Włos składa się z korzenia oraz wystającej ponad powierzchnię skóry łodygi (**ryc. I.19.5.**). Barwa włosów jest uwarunkowana genetycznie i zależy od ilości zawartej w nich melaniny. U człowieka włosy pełnią funkcję izolacyjną, ale mają postać szczątkową (oprócz włosów porastających powierzchnię głowy, dół pachowe, okolice łonową). Włosy żyją od 3 do 5 lat, po wypadnięciu są zastępowane przez nowe.

Paznokcie są zbudowane z twardych, rogowych komórek wypełnionych keratyną. Chronią opuszki palców rąk i nóg. Paznokieć składa się z korzenia zagłębionego w skórze oraz płytki paznokciowej, która stanowi jego wysuniętą część (**ryc. I.19.5.**). Paznokcie palców rąk rosną znacznie szybciej niż paznokcie palców nóg, a ich wzrost zależy m.in. od stanu zdrowia i temperatury otoczenia.



Ryc. I.19.5. Wytwory naskórka: paznokcie (A) i włosy (B).

Tab. I.19.1. Rodzaje gruczołów skórnych

Cecha	Gruczoły potowe	Gruczoły łojowe	Gruczoły mlekowe
Funkcja	Wydzielają pot, który odgrywa ważną rolę w regulacji ciepłoty ciała – parowanie potu z powierzchni skóry obniża jej temperaturę; kwaśny odczyn potu ma właściwości antybakteryjne.	Wydzielają łój, który nadaje skórze miękkość i elastyczność, zapobiega jej pękaniu, tworzy warstwę wodoodporną skóry i ma właściwości bakterio- i grzybobójcze.	Są to zmodyfikowane gruczoły potowe, zbudowane z tkanki tłuszczowej. Wydzielają mleko (proces zależny od hormonów produkowanych w czasie ciąży). Mleko zawiera substancje odżywcze oraz przeciwciała niezbędne dla noworodka.
Występowanie	Są szeroko rozrzucone po całej skórze, najliczniej występują na powierzchni dłoni, podeszwach stóp, pod pachami, w pachwinach.	Występują na powierzchni całej skóry, z wyjątkiem dłoni i stóp; najliczniejsze są na owłosionej skórze głowy, na twarzy i pod pachami.	W pełni rozwinięte występują u dorosłych kobiet. Są aktywne w drugiej połowie ciąży i po porodzie.

Funkcje skóry

Skóra pełni wiele istotnych funkcji, do których należą: ochrona, regulacja ciepłoty ciała, wytwarzanie witaminy D, czucie skórne, a także wchłanianie i wydalanie.

Ochronna funkcja skóry polega na zapewnianiu przez nią szczelnej bariery przeciwko wnikaniu drobnoustrojów, toksyn, promieniowania UV (dzięki obecności

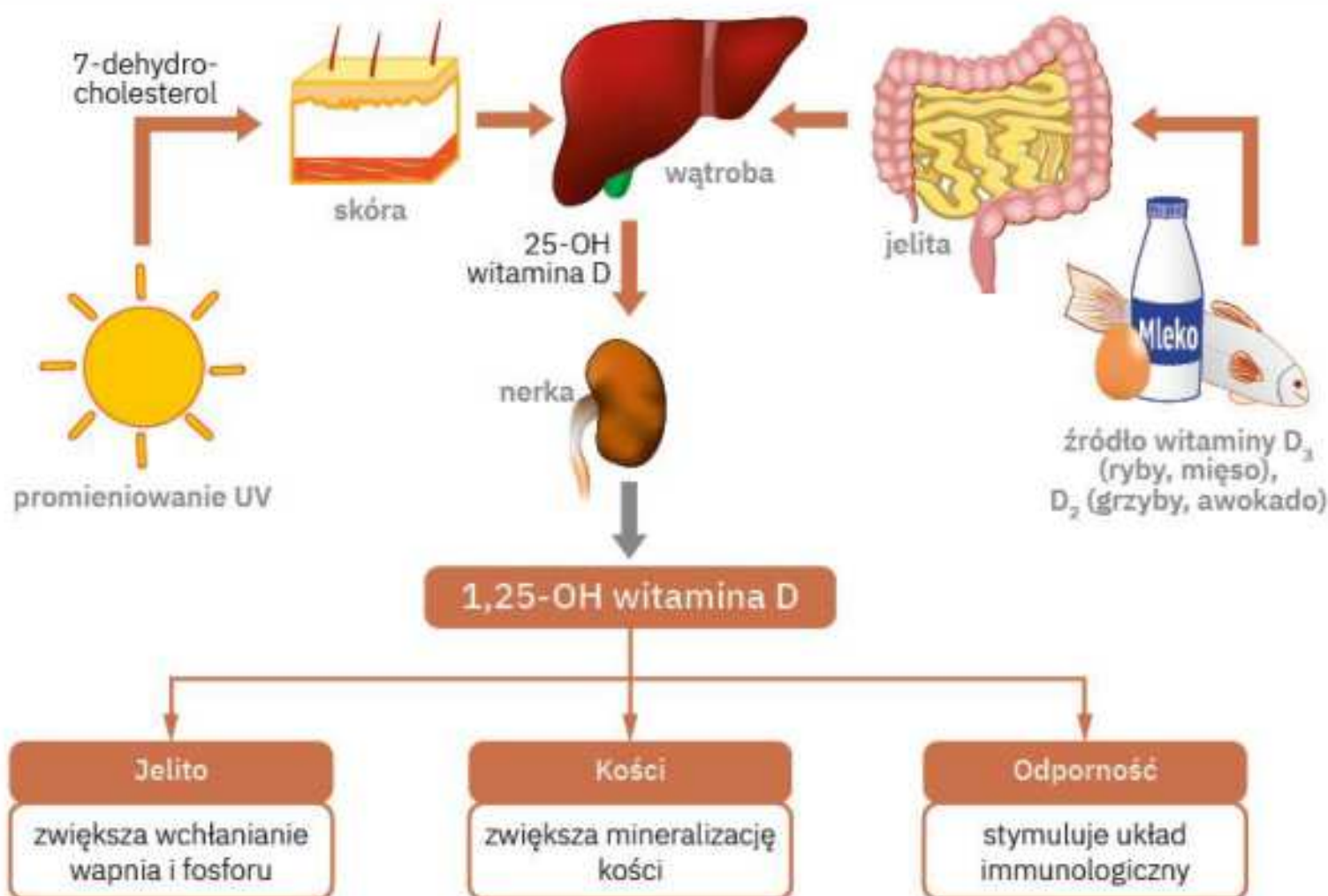


melanin). Dzięki swojej budowie skóra zapobiega także odwodnieniu. Zdrowa, nieuszkodzona skóra to jeden z najważniejszych mechanizmów obrony nieswoistej organizmu.

Utrzymanie **stałej ciepłoty ciała**, tj. ok. $36,6^{\circ}\text{C}$, w szerokim zakresie temperatury otoczenia jest niezbędne, aby zachodziły reakcje enzymatyczne i przebiegał metabolizm. Zwiększenie ciepłoty ciała wynika z tempa przemiany materii (w wyniku aktywności m.in. mięśni szkieletowych czy wątroby), a obniżenie – z jego spadku. Większość ciepła, które wytwarza się w trakcie przemian metabolicznych, człowiek traci przez skórę (resztę wraz z moczem, kałem i wydychanym powietrzem). Ochładzanie ciała następuje przede wszystkim na skutek **parowania potu**, ale także **przewodzenia ciepła** (przez przedmioty stykające się ze skórą, np. odzież) i **wypromieniowania ciepła** do otoczenia. O ilości ciepła traconego przez skórę decyduje przede wszystkim przepływ krwi przez naczynia krwionośne skóry. Wzrost ciepłoty ciała powoduje ich rozszerzanie się i napływ większej ilości krwi. Skóra staje się ciepła i różowa. Przy spadku wytwarzania ciepła w organizmie i przy niskiej temperaturze otoczenia naczynia krwionośne zwężają się i przepływa przez nie mniej krwi.

synteza
witaminy D

W skórze występuje związek, który pod wpływem promieni ultrafioletowych światła słonecznego przekształca się w **witaminę D**. Jest ona niezbędna m.in. w tworzeniu i utrzymaniu właściwego stanu kości (**ryc. I.19.6.**).



Ryc. I.19.6. Udział skóry w syntezie i metabolizmie witaminy D.



W skórze znajdują się **receptory czuciowe**, czyli zakończenia nerwowe wrażliwe na dotyk, temperaturę, ucisk i ból (**ryc. 1.19.7.**). Ich pobudzenie generuje impuls nerwowy, który trafia do kory mózgowej. Liczba i rozmieszczenie receptorów czuciowych w obrębie ciała jest zróżnicowane – więcej receptorów znajduje się na wargach i końcach palców.



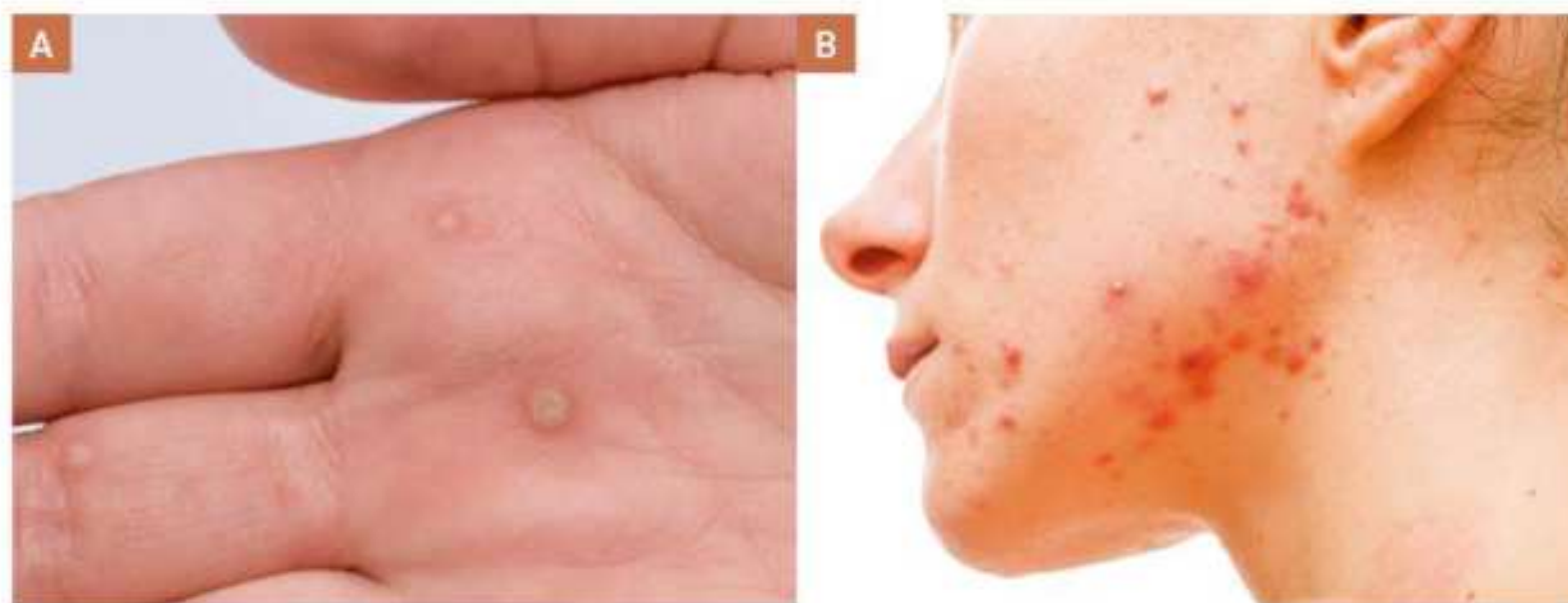
Ryc. 1.19.7. Skórne receptory czuciowe: nacisku (A), bólu (B) oraz deformacje mechaniczne (C).

Pomimo szczelnej budowy skóra może także **wchłaniać niektóre substancje**: leki (np. aplikowane w postaci maści) oraz substancje toksyczne (np. rtęć). Skóra **wydziela** też pewne substancje, np. chlorek sodu (wraz z potem), mocznik oraz substancje zawarte w niektórych produktach (np. czosnku).

Choroby skóry i ich profilaktyka

Skóra stanowi barierę między organizmem a środowiskiem zewnętrznym, dlatego jest narażona na wiele czynników powodujących jej choroby. Choroby skóry są częstą przypadłością. W **tabeli 1.19.2.** przedstawiono wybrane, najczęściej spotykane schorzenia skóry.

schorzenia skóry



Ryc. 1.19.8. Do częstych problemów skórnych należą kurczaki (A) i trądzik (B).



Tab. I.19.2. Wybrane schorzenia skóry

Choroba	Przyczyna, objawy i leczenie
Brodawki (kurzajki)	Brodawki zwane potocznie kurzajkami powstają na skutek zakażenia wirusem brodawczaka ludzkiego (HPV). Objawem zakażenia są grudkowate zmiany skórne, które najczęściej lokalizują się na dłoniach i stopach (ryc. I.19.8.). Do działań profilaktycznych zaliczamy unikanie kontaktu z osobą zarażoną, noszenie obuwia ochronnego (np. na basenie). Leczenie brodawek opiera się na ich wymrażaniu, farmakoterapii lub ich chirurgicznym usunięciu.
Opryszczka	Ta choroba zakaźna, wywołana przez wirusa opryszczki HSV, objawia się ropnymi pęcherzykami na wargach lub na narządach płciowych. Do zwalczania tej choroby stosuje się leki przeciwwirusowe.
Grzybica	Polega na powierzchniowym zakażeniu skóry wywołanym przez grzyby. Zmiany występują najczęściej na skórze głowy lub na stopach (między palcami). Należy unikać kontaktu z zarażonymi osobami oraz dezynfekować obuwie i odzież. Leczenie polega na stosowaniu leków doustnych i preparatów zewnętrznych.
Zapalenie skóry	To choroba skóry o ostrym lub przewlekłym przebiegu. Objawia się zaczerwienieniem, obrzękiem, świądem, łuszczeniem się skóry. Atopowe zapalenie skóry ma podłoże genetyczne związane z uszkodzeniem skóry, przez którą mogą przechodzić drobnoustroje czy alergen. Kontaktowe zapalenie skóry jest wywoływane przez kontakt z czynnikami drażniącymi (np. kosmetykami) lub reakcją związaną z nadwrażliwością (np. na nikiel czy barwniki).
Łuszczyca	Choroba o złożonym podłożu (genetycznym, immunologicznym i środowiskowym). Polega na szybkim wzroście komórek naskórka głębszych warstw, co uniemożliwia pełne dojrzewanie górnych warstw. Skóra jest błyszcząca i łuszczy się, może dochodzić do krwawień. Łuszczyca najczęściej pojawia się na łokciach, kolanach, skórze głowy.
Trądzik	Zazwyczaj pojawia się w okresie młodzieńczym (częściej u chłopców) i ma związek ze wzmożoną produkcją hormonów. Charakterystyczne krosty powstają w wyniku blokowania gruczołów łojowych i ich zakażenia. Trądzik najczęściej pojawia się na twarzy, klatce piersiowej i plecach.

czerniak

Osobnym problemem są nowotwory skóry, w tym złośliwe. **Czerniak złośliwy** to nowotwór, którego przyczyną jest nadmierne namnażanie się melanocytów (komórek barwnikowych skóry). Zwykle zaczyna się od znamienia na skórze (o nieregularnych zarysach), po czym może się zmieniać w krwawiące owrzodzenie (**ryc. I.19.9.**). Czynniki sprzyjające powstawaniu tego nowotworu są: jasna barwa skóry, długotrwała, częsta ekspozycja na promieniowanie słoneczne (naturalne i sztuczne) oraz oparzenia słoneczne. U kobiet występuje zwykle na kończynach dolnych, natomiast u mężczyzn – najczęściej na tułowi. Czerniak daje często przerzuty, zwykle do węzłów chłonnych i innych narządów (np. wątroby, mózgu, płuc i szpiku kostnego). Profilaktyka czerniaka opiera się na ochronie przed słońcem (stosowaniu filtrów i okularów przeciwsłonecznych oraz unikaniu długiego przebywania na słońcu, niekorzystaniu z solariów). Bardzo istotnym elementem profilaktycznym są badania przesiewowe oraz badania w celu wykrycia wczesnych zmian



(**ryc. I.19.10.**). Każde nowo powstałe znamię skórne należy skonsultować z lekarzem. Leczenie czerniaka opiera się na chirurgicznym usunięciu guza. W zależności od rodzaju zmian i ich zakresu leczenie operacyjne jest połączone z immunoterapią, farmakoterapią i chemioterapią.

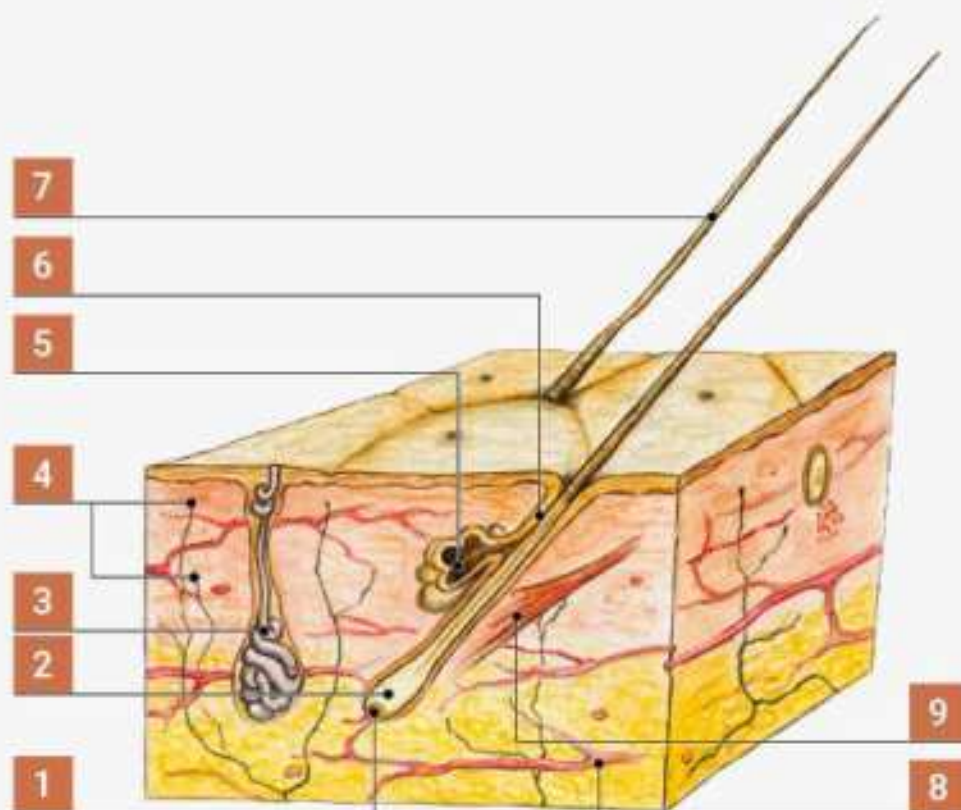


Ryc. I.19.9. Powierzchniowym objawem czerniaka złośliwego jest asymetryczne znamię. Czerniak sięga w głąb skóry i przez naczynia krwionośne dociera do wnętrza organizmu.

Ryc. I.19.10. Dermoskop służy do badania zmian na powierzchni skóry.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Omów budowę naskórka w odniesieniu do jego funkcji.
2. Nazwij elementy budujące skórę właściwą ukazane na poniższym schemacie. Zadanie wykonaj w zeszycie.





3. Skonstruuj w zeszycie tabelę, w której porównasz rodzaje i funkcje wytworów naskórka.
4. W dostępnej literaturze znajdź informacje na temat nowotworów skóry, poza czerniakiem. Sporządź w zeszycie krótką notatkę na ten temat.
5. Wykonaj jedno z doświadczeń opisanych na stronach 402–403 podręcznika.

PODSUMOWANIE LEKCJI

s. 186

Skóra stanowi barierę odgraniczającą organizm od środowiska zewnętrznego.

s. 186

Skóra składa się z naskórka oraz skóry właściwej.

s. 186

Naskórek to powierzchniowa warstwa skóry. Jest zbudowany z wielu warstw rogowaciejących komórek nabłonkowych.

s. 186

Warstwa rogowa naskórka zawiera keratynę zapewniającą wytrzymałość i elastyczność. **Warstwa rozrodcza** produkuje nowe komórki i syntetyzuje melaniny odpowiadające za kolor skóry.

s. 187

Skóra właściwa jest utworzona z tkanki łącznej i włókien kolagenowych. Pod skórą właściwą znajduje się tkanka podskórna.

s. 187

W **skórze właściwej** znajdują się fibroblasty, komórki odpornościowe, naczynia krwionośne, receptory czuciowe, gruczoły oraz włosy.

s. 188

Wytworami naskórka są włosy, paznokcie oraz gruczoły łojowe, potowe i mlekowe.

s. 190

Skóra pełni funkcje ochronne, termoregulacyjne, czuciowe i wydzielnicze. W jej obrębie przebiega **synteza witaminy D**.

s. 191

Do częstych **schorzeń skóry** zaliczamy: brodawki, grzybicę, łuszczycę oraz trądzik.

s. 192

Czerniak to jeden z nowotworów złośliwych skóry objawiający się rozlanym znamieniem. Ryzyko zachorowania znacznie wzrasta pod wpływem ekspozycji na promieniowanie słoneczne.

20. Układ rozrodczy męski

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz budowę układu rozrodczego męskiego;
- dowiesz się, jakie funkcje pełnią poszczególne narządy płciowe męskie.

Istotą życia jest zdolność organizmu do rozmnażania się, czyli wydawania potomstwa. Nowy osobnik powstaje w wyniku połączenia się dwóch różnych komórek płciowych, czyli **gamet**: męskich plemników i żeńskich komórek jajowych. Komórki te są haploidalne, co oznacza, że zawierają po 23 chromosomy. Połączenie komórki jajowej z plemnikiem w czasie zapłodnienia prowadzi do powstania **zygoty**, któ-



ra zawiera kompletny zestaw 46 chromosomów, pochodzący w połowie od matki i w połowie od ojca. Zygota po zagnieżdżeniu w ścianie macicy rozwija się przez okres ciąży (ok. 40 tygodni), aż do urodzenia dziecka.

Najważniejszymi funkcjami męskiego układu rozrodczego są:

- produkcja plemników (męskich komórek płciowych),
- wprowadzanie plemników do dróg rodnych kobiety,
- wydzielanie hormonów.

Budowa męskiego układu rozrodczego

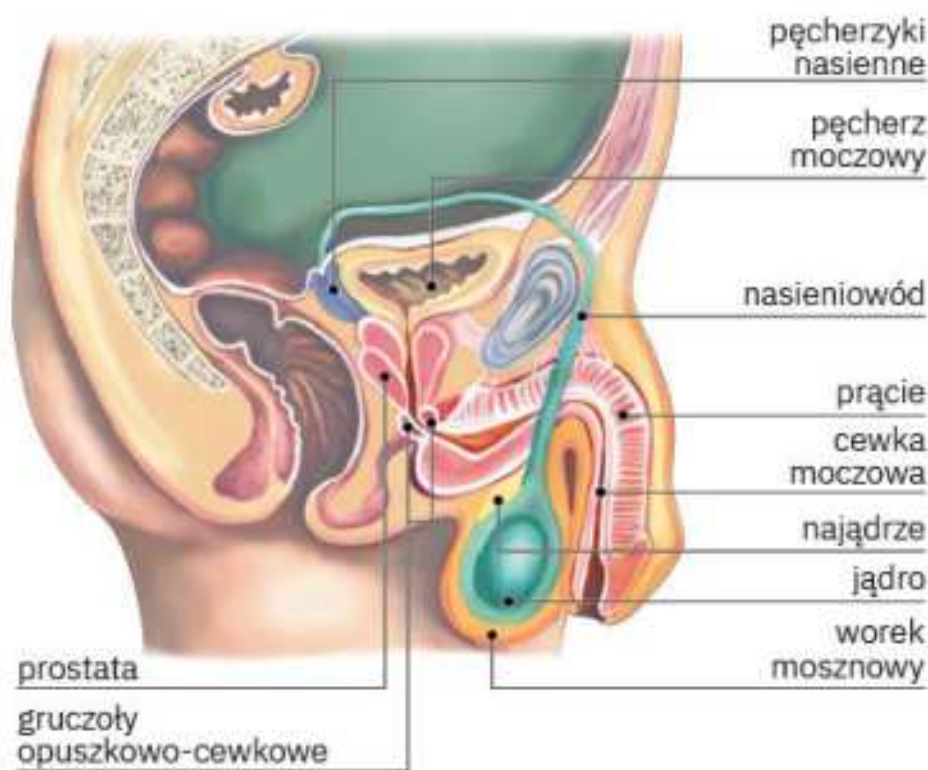
budowa męskiego
układu rozrodczego

Męski układ rozrodczy tworzą **narządy płciowe zewnętrzne i wewnętrzne** (ryc. I.20.1.). Do narządów płciowych zewnętrznych należy moszna i prącie, a do wewnętrznych – jądra, nasieniowody, przewód wytryskowy, cewka moczowa oraz gruczoły dodatkowe.

Narządy płciowe zewnętrzne

Moszna to torebka skórno-mięśniowa, w której znajdują się jądra. Mieści się ona z tyłu prącia, poza jamą brzuszną. Takie położenie jest gwarancją prawidłowego przebiegu spermatogenezy, czyli powstawania plemników. Proces ten zachodzi w temperaturze ok. 2°C poniżej normalnej ciepłoty ciała. Uzyskanie odpowiedniej temperatury w jądrach jest możliwe dzięki ich umiejscowieniu w mosznie.

Prącie to narząd kopulacyjny. Wyróżnia się w nim nasadę oraz trzon. Nasiona znajduje się na kroczu, a trzon ma postać wydłużonego walca, zakończonego rozszerzoną częścią stanowiącą **żołędź** prącia. Na szczycie żołędzi mieści się ujście cewki moczowej. Powyżej żołędzi znajduje się ruchomy fałd skórny – **napletek**. Prącie składa się z trzech **ciał jamistych**. Dwa z nich są umiejscowione grzbietowo, a trzecie – tzw. ciało gąbczaste – mieści się na stronie spodniej i tworzy żołędź. W ciele jamistym przebiega cewka moczowa. Prącie jest silnie unerwione i ukrwione. Pod wpływem podniecenia płciowego krew napływa do ciał jamistych i gąbczastego, co prowadzi do **wzwodu** (erekcji), czyli usztywnienia i powiększenia jego rozmiarów. Erekcja umożliwia odbycie stosunku płciowego oraz warunkuje zaplemnienie, czyli pozostawienie nasienia w narządach rozrodczych kobiety.



Ryc. I.20.1. Budowa męskiego układu rozrodczego.



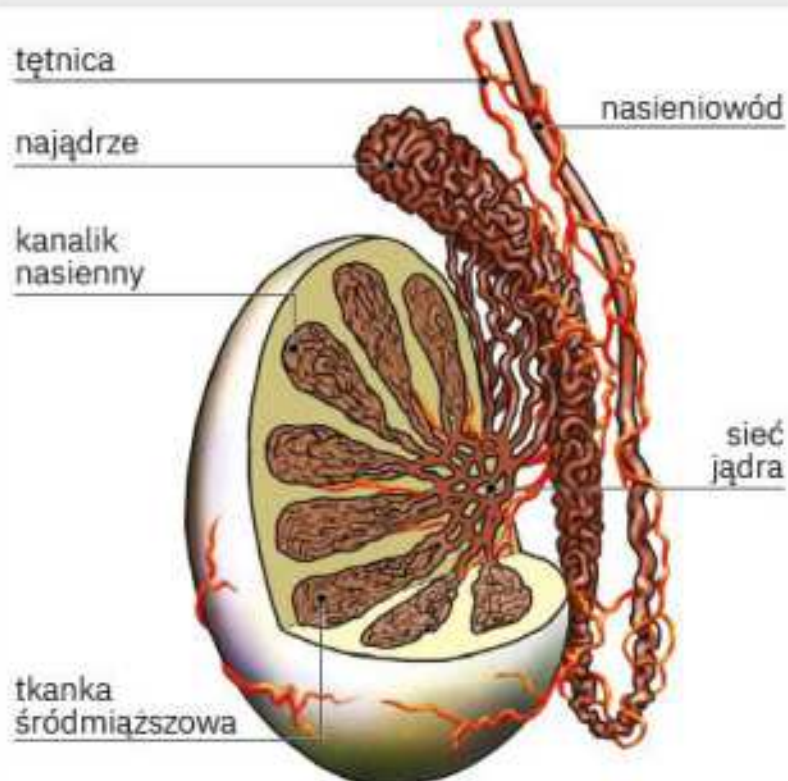
Narządy płciowe wewnętrzne

jądra

Jądra to męskie gruczoły rozrodcze (gonady). Zawieszone są w mosznie na powrózkach nasiennych i otoczone trzema warstwami tkanek (od zewnątrz: osłonką pochwową, błoną białawą i błoną naczyniową). Jądro jest zbudowane z 200–300 płacików, w których mieszczą się kanaliki nasienne (**ryc. 1.20.2.**). Pomiędzy kanalikami znajdują się komórki śródmiąższowe (komórki Leydiga), odpowiedzialne za wydzielanie m.in. testosteronu. Na górnym biegunie kanaliki łączą się w jedną, ciasno upakowaną pętlę (ok. 6-metrową), zwaną najądrzem, która jest miejscem dojrzewania plemników. Najądrze opuszcza jądro jako **nasieniowód** (**ryc. 1.20.2.**). Nasieniowód ma ok. 45 cm długości, a w końcowym odcinku łączy się z przewodem pęcherzyka nasiennego, tworząc przewód wytryskowy. Przewód ten to 2-centymetrowa rurka łącząca się z cewką moczową. Dostarcza do niej **nasienie** – plemniki wraz z wydzielinami gruczołów dodatkowych, czyli **gruczołu opuszkowo-cewkowego, pęcherzyków nasiennych i prostaty**.

nasieniowód

nasienie



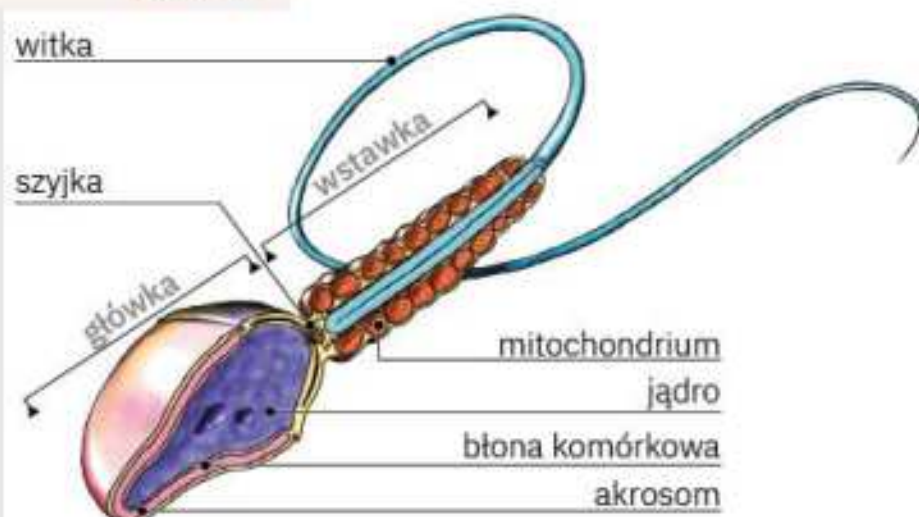
Ryc. 1.20.2. Budowa jądra.

Pęcherzyki nasienne to dwie małe torebki położone na tylnej stronie pęcherza moczowego (**ryc. 1.20.1.**). W trakcie ich skurczu wyciskają produkowaną przez siebie wydzielinę – płyn nasienny – do nasieniowodu. Płyn nasienny zawiera substancje odżywcze (białka, cukry proste) dla plemników, niezbędne do ich przeżycia i przemieszczania się w żeńskim układzie rozrodczym.

Prostata (stercz, gruczoł krokowy) to pojedynczy narząd wielkości kasztana (**ryc. 1.20.1.**). Wydziela on mleczny płyn, który wchodzi w skład nasienia. W płynie znajdują się enzymy ułatwiające plemnikom poruszanie się w drogach rodnych kobiety.

Budowa plemnika

plemnik



Ryc. 1.20.3. Budowa plemnika.

Plemnik ma ok 60 μm długości. Składa się z główki, wstawki i witki (**ryc. 1.20.3.**). Główka plemnika zawiera niewielką ilość cytoplazmy, haploidalne jądro komórkowe oraz **akrosom**. Akrosom powstaje ze złącia się pęcherzyków aparatu Golgiego. Zawiera liczne enzymy, które umożliwiają penetrację osłon jajowych i dostanie się plemnika do wnętrza komórki jajowej. Witka plemnika nadaje mu ruch, którego napęd zapewnia **wstawka**. Wstawka jest upakowana licznymi mitochondriami, produkującymi energię niezbędną do poruszania się plemnika.



Nasienie i ejakulacja

Nasienie to gęsty, lepki płyn o mlecznym zabarwieniu i lekko zasadowym odczynie. W jego skład wchodzi plemniki, komórki odpornościowe oraz złuszczone komórki nabłonkowe (**tab. I.20.1.**). Elementy komórkowe są zawieszone w płynie nasiennym, który stanowi mieszaninę wydzielin najądrzy, nasieniowodów, pęcherzyków nasennych i prostaty. Nasienie w czasie wytrysku (ejakulacji) zostaje wyrzucone przez ujście cewki moczowej na zewnątrz. Siłą generującą wytrysk są głównie rytmiczne skurcze mięśni gładkich nasieniowodów. Objętość nasienia wydzielanego w czasie normalnego wytrysku to ok. 2–5 ml, a 1 ml nasienia zawiera 40–100 mln plemników.

Tab. I.20.1. Główne składniki nasienia

Składnik	Pochodzenie	Funkcja
plemniki	kanaliki nasienne	gamety męskie
śluz	gruczoły opuszkowo-cewkowe	nawilżanie
woda	wszystkie gruczoły pomocnicze	nośnik
substancje odżywcze (np. fruktoza, karnityna, kwas cytrynowy)	pęcherzyki nasienne, stercz, najądrze	odżywianie plemników
enzymy	pęcherzyki nasienne, stercz	upłynnianie nasienia

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wymień elementy męskiego układu rozrodczego i podaj ich funkcje.
2. Omów związek budowy plemnika z jego funkcją.
3. Co to jest nasienie? Wymień narządy płciowe, w których są wytwarzane jego główne składniki.
4. Wykonaj obserwację opisaną na stronie 403 podręcznika.

PODSUMOWANIE LEKCJI

Męski układ rozrodczy składa się z narządów zewnętrznych (moszna, prącie) oraz wewnętrznych (jądra, nasieniowody, przewód wytryskowy, cewka moczowa, gruczoły dodatkowe).

s. 195

Jądra to gruczoły rozrodcze (gonady) zbudowane z płacików, w których znajdują się kanaliki nasienne. Kanaliki tworzą najądrze, w którym powstają plemniki.

s. 196

Nasieniowód łączy jądro z pęcherzykiem nasiennym, który produkuje płyn nasienny zawierający substancje odżywcze dla plemników.

s. 196

Plemnik jest komórką haploidalną i składa się z główki, wstawki i witki.

s. 196

Nasienie to mlecznobiały płyn, zawierający plemniki, komórki odpornościowe zawieszone w płynie nasiennym, który jest wspólną wydzieliną najądrzy, nasieniowodów, pęcherzyków nasennych i prostaty.

s. 196



21. Budowa i funkcjonowanie żeńskiego układu rozrodczego. Gametogeneza

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz budowę żeńskiego układu rozrodczego;
- przeanalizujesz przebieg gametogenezy;
- dowiesz się, jak przebiega cykl miesięczkowy;
- zrozumiesz, na czym polega hormonalna regulacja cyklu płciowego.

żeński układ
rozrodczy

budowa żeńskiego
układu rozrodczego

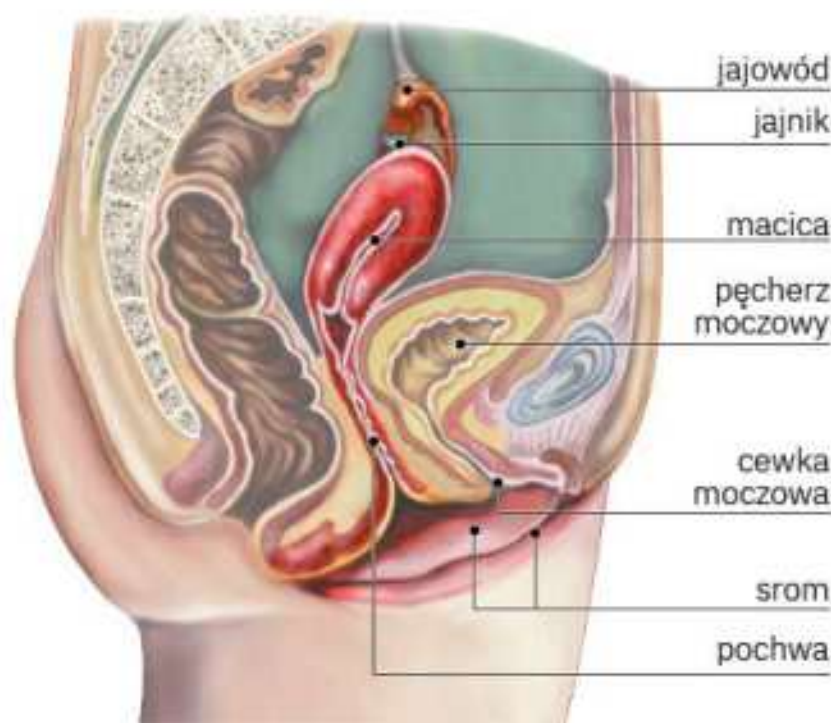
Żeński układ rozrodczy odpowiada za wytwarzanie i dojrzewanie żeńskich gamet, czyli komórek jajowych. Jest miejscem rozwoju zarodka i płodu. Dodatkowo pełni funkcje wydzielnicze – produkuje i uwalnia hormony (m.in. estrogeny). W układzie rozrodczym żeńskim wyróżnia się **narządy płciowe zewnętrzne** (określane jako srom) i **wewnętrzne**.

Narządy płciowe zewnętrzne

Zewnętrzną część żeńskiego układu rozrodczego tworzy tzw. **srom**, na który składają się: wzgórek łonowy, wargi sromowe i łechtaczka (ryc. I.21.1.).

Wzgórek łonowy to trójkątna wypukłość utworzona z tkanki łącznej. **Wargi sromowe** (większe i mniejsze) są parzystymi fałdami skórnymi otaczającymi ujście cewki moczowej, wejście do pochwy i łechtaczkę. Zawierają liczne gruczoły łojowe. **Łechtaczka** stanowi żeński odpowiednik prącia u mężczyzn, jest silnie unaczyniona i zbudowana z dwóch ciał jamistych.

pochwa



Ryc. I.21.1. Budowa żeńskiego układu rozrodczego.

Narządy płciowe wewnętrzne

Wewnętrzne narządy płciowe są umiejscowione w jamie miednicy i obejmują: pochwę, macicę, dwa jajowody i dwa jajniki.

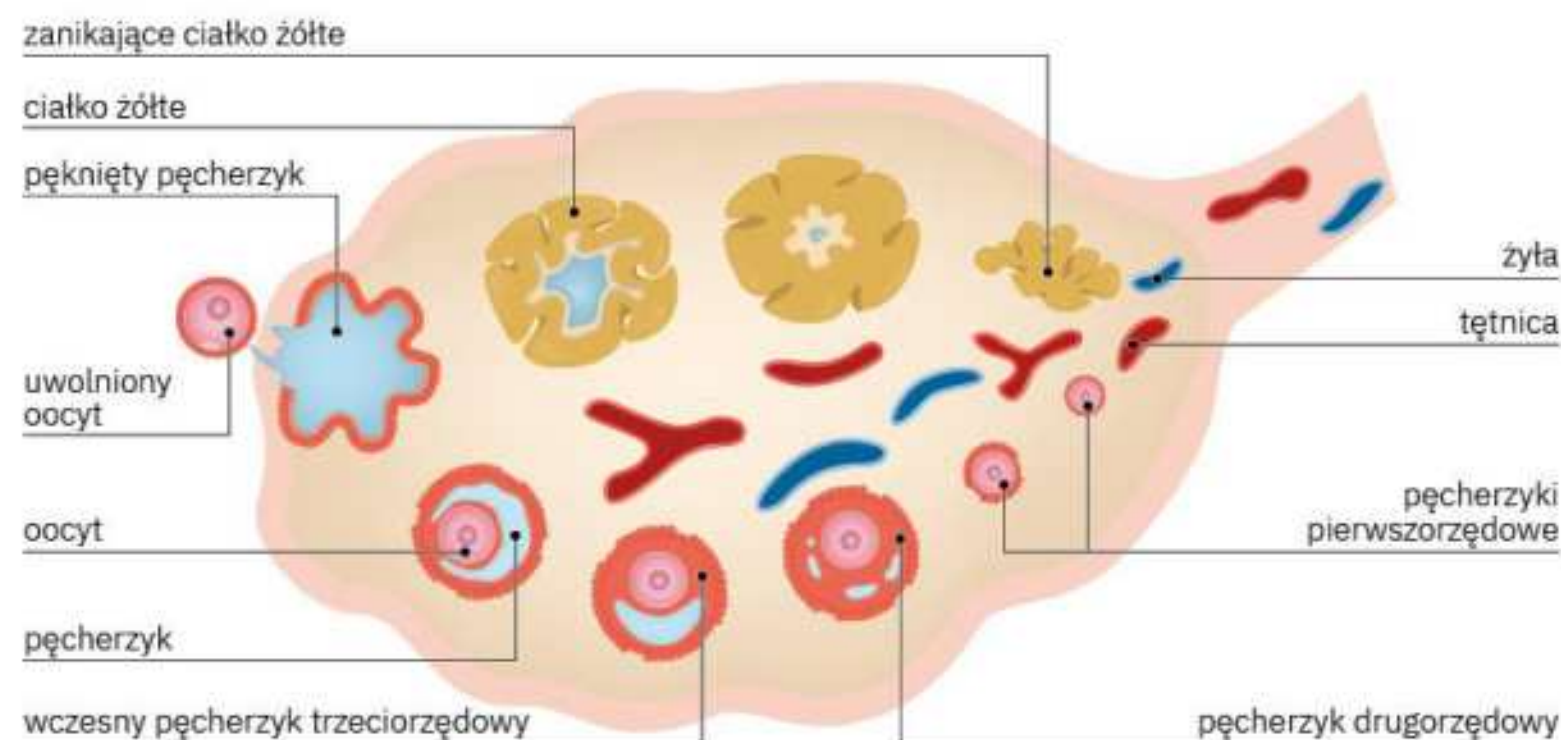
Pochwa to kanał łączący narządy zewnętrzne z wewnętrznymi. Do pochwy jest wprowadzane prącie w trakcie stosunku płciowego, tu też pozostaje nasienie. Pochwa stanowi także kanał wy-



prowadzący dla płodu podczas porodu. Powierzchnia tego narządu jest wilgotna dzięki wydzielinie szyjki macicy. Odczyn w pochwie jest lekko kwaśny (3,5–4,9) wskutek obecności w jej wnętrzu prawidłowych bakterii kwasu mlekowego. Kwaśny odczyn chroni przed rozwojem drobnoustrojów, które mogłyby trafić z zewnątrz.

Macica jest gruszkowatym narządem (mierzy 7–9 cm, a jej masa wynosi 30–40 g) umiejscowionym pomiędzy pęcherzem moczowym a odbytnicą. Wyróżnia się w niej część górną, na którą składa się dno i trzon, oraz wąską część dolną, zwaną **szyjką**. Kanał szyjki jest wypełniony śluzem, którego właściwości zmieniają się w trakcie cyklu miesięczkowego. Ścianę macicy tworzy gruba warstwa mięśniowa, znacznie rozciągająca się w trakcie ciąży. Wnętrze macicy wyściela błona śluzowa – tzw. **endometrium**, które podlega okresowym zmianom w trakcie **cyklu miesięczkowego**. Cykl miesięczkowy ma na celu przygotowanie macicy do przyjęcia, odżywiania i ochrony zagnieżdżonego jaja. Jeśli dojdzie do zapłodnienia i zygota zagnieżdży się w ścianie macicy, to przez ok. 40 tygodni jest ona miejscem rozwoju zarodka i płodu.

macica



Ryc. I.21.2. Budowa jajnika.

Jajowody to parzyste narządy liczące ok. 10 cm długości. Służą one jako przewody do transportowania dojrzałych komórek jajowych od jajników do macicy. Jajowód w okolicy jajnika tworzy rozszerzoną część – tzw. **lejek jajowodu** otoczony wypustkami zwanymi **frędzlami**. Lejek nie styka się z jajnikiem, ale go obejmuje, przez co ułatwia przechodzenie komórek płciowych w głąb jajowodu. Transport komórek lub zygoty (jeśli dojdzie do zapłodnienia, które najczęściej ma miejsce w jajowodzie) odbywa się dzięki ruchom perystaltycznym i ruchom rzęsek komórek nabłonkowych jajowodu.

jajowody

**jajniki**

Jajniki są parzystymi, jajowatymi narządami o długości ok. 2–4 cm. Znajdują się po obu stronach macicy i łączą się z nią za pomocą więzadeł. W jajnikach powstają żeńskie komórki płciowe, czyli komórki jajowe, oraz hormony (**ryc. I.21.2.**). Wewnątrz jajnika są umiejscowione tzw. pęcherzyki jajnikowe lub pęcherzyki Graafa, zawierające komórki jajowe na różnym etapie dojrzałości, które zaczynają być uwalniane od pokwitania. W tym czasie, co ok. 28 dni w procesie owulacji (jajczkowania) jeden z pęcherzyków Graafa dojrzewa, pęka i uwalnia komórkę jajową. Pęknięty pęcherzyk przekształca się w tzw. ciałko żółte. W momencie narodzin zasób pierwotnych komórek jajowych szacowany jest na ok. 2 mln. Jednak liczba komórek jajowych szybko ubywa – u trzynastolatki jest ich już 200 tys., a u kobiety 50-letniej może nie być ich już wcale. Oprócz produkcji gamet jajnik pełni także funkcję wewnątrzwydzielniczą – uwalnia żeńskie hormony płciowe: estrogeny i progesteron.

Gametogeneza

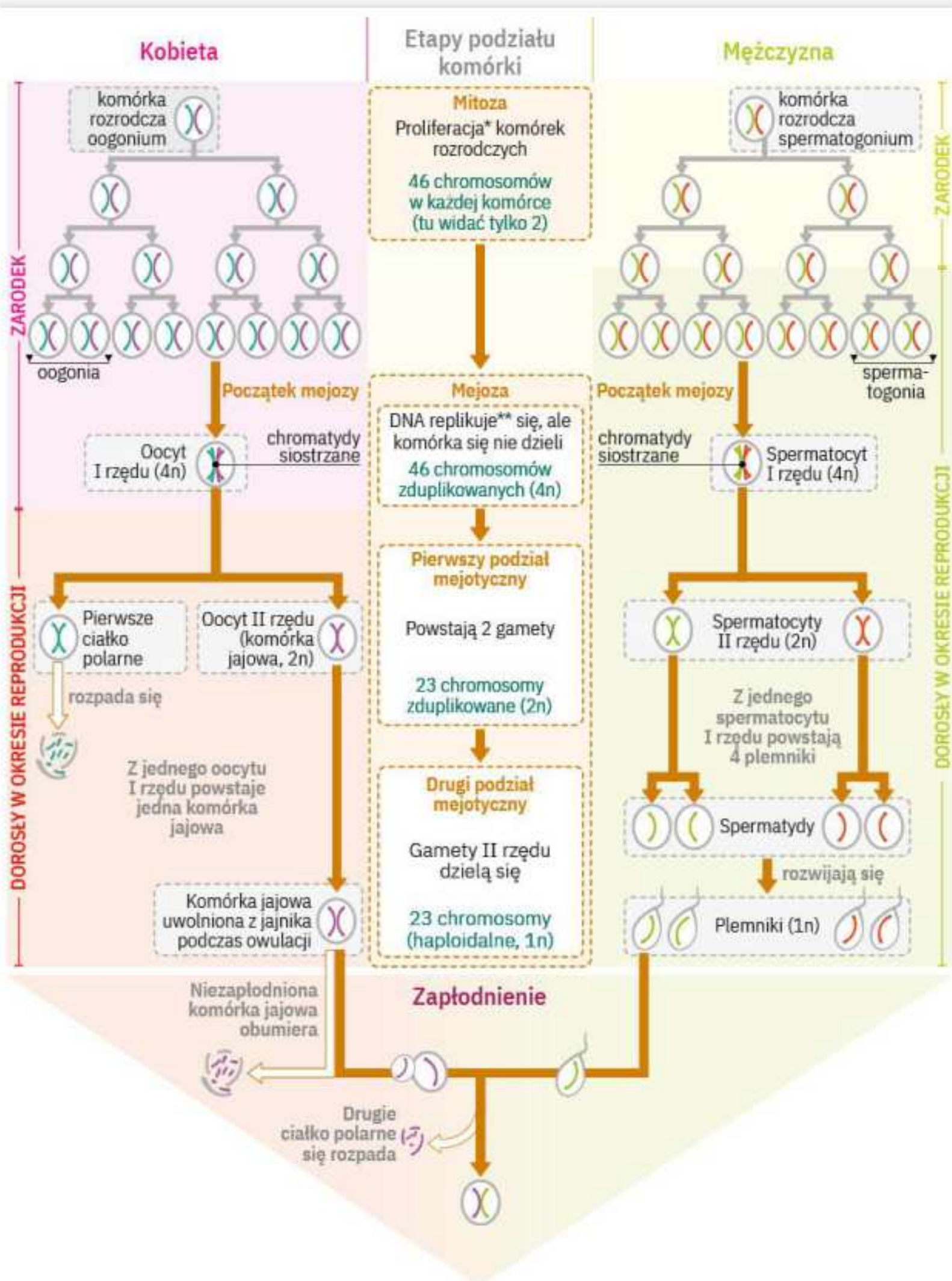
Jądra i jajniki produkują zarówno hormony, jak i gamety. Proces produkcji gamet nazywamy **gametogenezą**. Ma on różny przebieg u kobiet i u mężczyzn. Kobiety rodzą się z całym swoim życiowym zapasem komórek jajowych. Komórki te cyklicznie dojrzewają, a są uwalniane raz w miesiącu. Po około 40 latach ich uwalnianie ustaje – zachodzi menopauza. Mężczyźni produkują plemniki nieprzerwanie od momentu osiągnięcia dojrzałości płciowej. Płodność i sprawność seksualna u mężczyzn obniża się stopniowo wraz z wiekiem (wraz z wiekiem spada także poziom testosteronu), ale nie ustaje.

spermatogeneza

Proces powstawania plemników – **spermatogeneza** – ma miejsce w nabłonku kanalików plemnikotwórczych. Pierwsze jej etapy zachodzą jeszcze w okresie życia płodowego, w czasie którego tworzą się spermatogonia, natomiast właściwy proces rozpoczyna się dopiero w okresie dojrzewania. Spermatogonia dzielą się mitotycznie i przekształcają się w spermatocyty I rzędu. Te komórki dzielą się meiotycznie, a następnie różnicują się w kolejne pokolenia: spermatocyty II rzędu, spermatydy i dalej w dojrzałe plemniki (**ryc. I.21.3.**). Spermatogeneza jest regulowana hormonalnie, trwa ok. 70 dni i powtarza się przez wiele lat.

oogeneza

Oogeneza to proces powstawania i dojrzewania żeńskich komórek płciowych. Pierwszy etap tego procesu rozpoczyna się ok. 3 tygodnia życia płodowego. Pierwotne komórki jajowe, czyli gonocyty, w trakcie życia płodowego dzielą się mitotycznie i przekształcają się w oogonia, a te w oocyty I rzędu. Jeszcze przed urodzeniem oocyty I rzędu rozpoczynają I podział meiotyczny, który zostaje dokończony dopiero po osiągnięciu dojrzałości płciowej. W tym czasie, średnio co 28 dni, dojrzewa jedna z komórek jajowych znajdujących się w jajniku. Powstaje oocyt II rzędu i pierwsze ciałko kierunkowe (polarne), które się rozpada. Oocyt II rzędu wchodzi w II podział meiotyczny, który zostaje ukończony, gdy dojdzie do zapłodnienia. Uwolnione w tym czasie drugie ciałko kierunkowe również się rozpada. Jeśli oocyt II rzędu nie zostanie zapłodniony, ulega degradacji (**ryc. I.21.3.**).



Ryc. I.21.3. Gametogeneza u kobiet i mężczyzn.

*proliferyacja – namnażanie

**replikacja – powielenie (zob. s. 243)



Cykl miesięczkowy

cykl
miesięczkowy

Cykl miesięczkowy (rozrodczy, płciowy) kobiety to seria złożonych przemian, które powtarzają się regularnie średnio co 28 dni (prawidłowy zakres to 25–34 dni) przez okres płodności, przeciętnie trwający ok. 36 lat. Na cykl ten składa się seria zmian zachodzących jednocześnie w ścianach macicy (cykl maciczny) i w jajnikach (cykl jajnikowy). Cały proces jest regulowany hormonalnie.

fazy cyklu
miesięczkowego

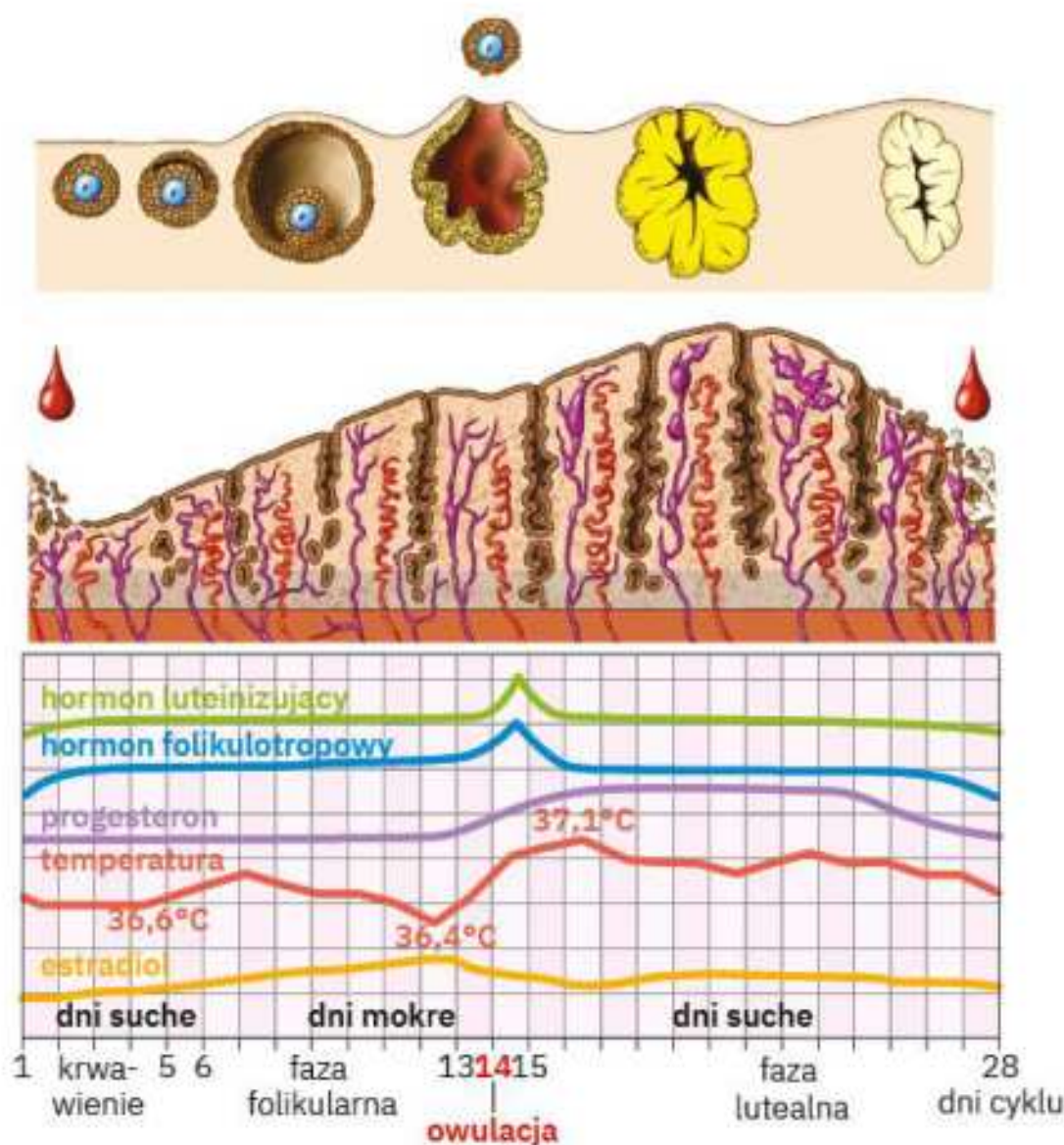
Cykl maciczny

Czynniki działające w obrębie jajnika prowadzą do cyklicznych przemian w obrębie błony śluzowej macicy. Pod wpływem hormonów wydzielanych przez jajnik zmienia się jej grubość oraz właściwości fizjologiczne. W cyklu macicznym wyróżniono trzy fazy. W sposób umowny dni cyklu liczy się od początku fazy miesięczkowej, po której następują fazy odbudowy oraz wydzielniczej.

Fazę miesięczkową (1.–5. dzień) rozpoczyna pierwszy dzień krwawienia miesięczkowego, czyli menstruacji. Jest to efekt spadku poziomu estrogenów i progesteronu, po czym następuje złuszczenie się powierzchniowej warstwy błony śluzowej macicy. Krew wraz z martwą tkanką wydostaje się na zewnątrz.

Faza odbudowy (6.–14. dzień) polega na odtworzeniu błony śluzowej. Stymulowany hormonalnie pęcherzyk jajnikowy dojrzewa i produkuje estrogen, który wpływa na rozrost i odbudowę endometrium. Ulega ona kilkukrotnemu pogrubieniu i ukrwieniu. Faza ta kończy się z chwilą pęknięcia pęcherzyka Graafa, czyli owulacją.

Faza wydzielnicza (15.–27. dzień) – pęknięty pęcherzyk przekształca się w ciało żółte wytwarzające progesteron, pod którego wpływem błona śluzowa ulega dalszemu pogrubieniu i unaczynieniu. Gruczoły maciczne zaczynają produkować wodnisty śluz, którego zadaniem jest ułatwienie przemieszczania się plemników z macicy do jajowodu.



Ryc. I.21.4. Na cykl miesięczkowy składa się cykl jajnikowy oraz maciczny.



dów. Spulchniona błona śluzowa macicy jest gotowa na przyjęcie zapłodnionej komórki jajowej. Stan gotowości komórki jajowej do zapłodnienia trwa dość krótko, ok. 8 godzin. Po implantacji, czyli zagnieżdżeniu się zarodka w błonie śluzowej macicy, ciało żółte przekształca się w ciało żółte ciążowe, które produkuje znaczne ilości niezbędnego w przebiegu ciąży progesteronu. Jeśli do zapłodnienia nie dochodzi, komórka jajowa obumiera, a ciało żółte przechodzi w ciało białawe. Spada poziom progesteronu, endometrium złuszcza się i cykl maciczny zaczyna się od nowa (**ryc. I.21.4.**).

Cykl jajnikowy i hormonalna regulacja cyklu płciowego

cykl jajnikowy

Cykl płciowy jest kontrolowany przez oś podwzgórze–przysadka–gonady. Przedni płat przysadki jest źródłem hormonów gonadotropowych: **hormonu folikulotropowego** (FSH) oraz **hormonu luteinizującego** (LH), które regulują pracę jajników. Z kolei hormony wydzielane przez jajniki: estrogeny i progesteron wpływają na zmiany zachodzące w obrębie błony śluzowej macicy. Na podstawie zmian w stężeniach hormonów przysadki oraz ich wpływu na poziom hormonów jajnikowych cykl podzielono na trzy fazy (**ryc. I.21.5.**).

Faza folikularna zachodzi bezpośrednio po krwawieniu miesięczkowym, kiedy dochodzi do wzrostu stężenia FSH. Hormon ten wpływa na rozwój i dojrzewanie pęcherzyka jajnikowego, który staje się źródłem estrogenów. Jeden z tych hormonów – estradiol – stymuluje wydzielanie hormonu LH. Faza ta trwa od 10 do 21 dni.

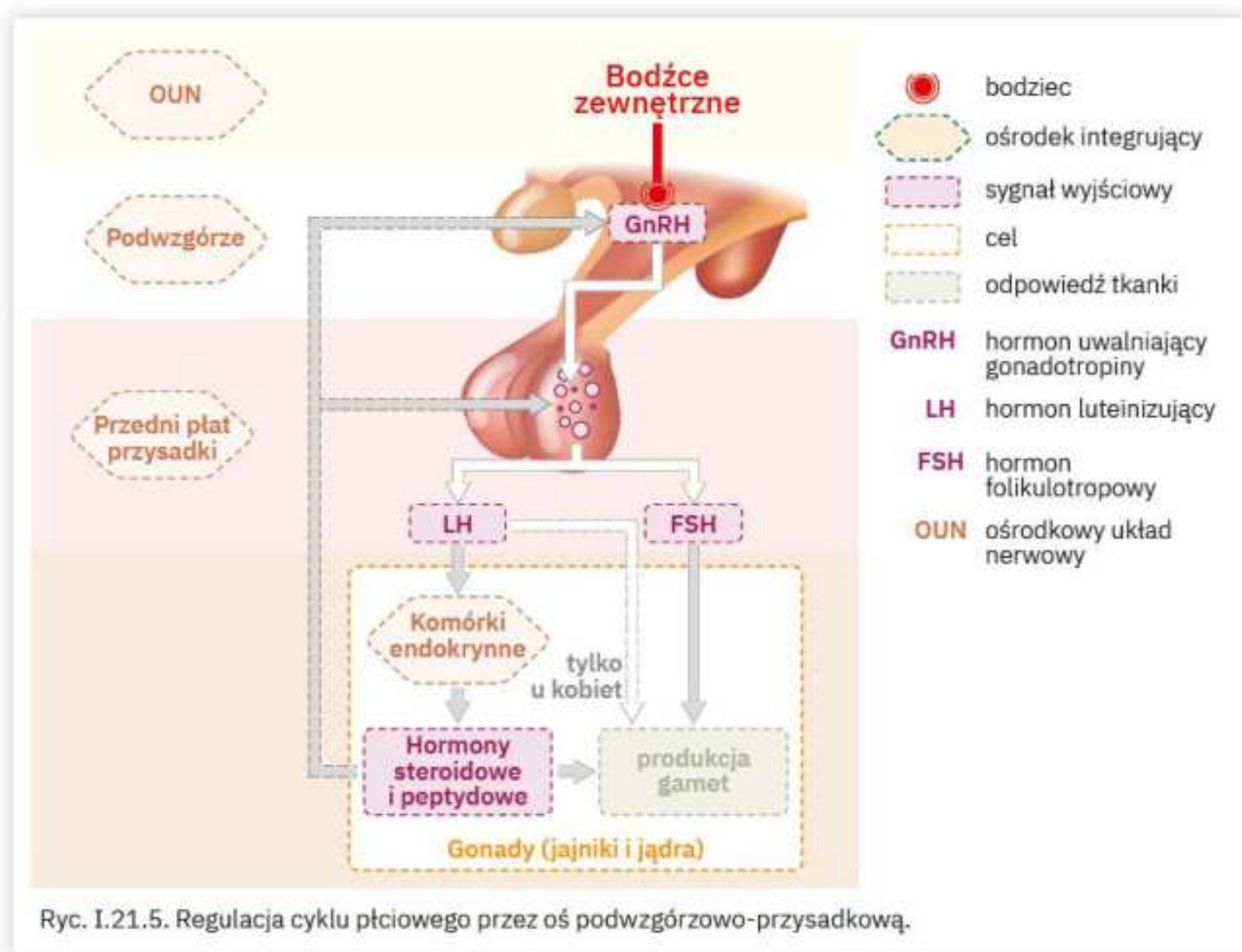
Faza owulacji charakteryzuje się maksymalnym stężeniem FSH i LH, co prowadzi do pęknięcia pęcherzyka Graafa i uwolnienia komórki jajowej.

Faza lutealna następuje po owulacji i odznacza się spadkiem stężenia FSH i LH, co prowadzi do przekształcania się pękniętego pęcherzyka Graafa w **ciało żółte**, wytwarzające progesteron. Jeśli nie dojdzie do zapłodnienia, ciało żółte zanika i poziom progesteronu obniża się – rozpoczyna się następny cykl.

Zmiany hormonalne (głównie progesteronu) w czasie cyklu jajnikowego wpływają na temperaturę ciała (**ryc. I.21.5.**). Po owulacji, w czasie fazy lutealnej temperatura ciała mierzona zaraz po obudzeniu jest wyższa o 0,17–0,5°C i pozostaje podwyższona aż do wystąpienia menstruacji. Regularne pomiary temperatury mogą być pomocne przy ustalaniu momentu owulacji oraz ocenie, czy cykle zachodzą z owulacją, czy bez (cykle bezowulacyjne).

Hormony płciowe oprócz wpływu na gametogenezę wpływają także na rozwój drugorzędowych cech płciowych. **Pierwszorzędowe cechy płciowe** są wyznaczone przez chromosomy płciowe, których obecność warunkuje rozwój narządów płciowych wewnętrznych i zewnętrznych, odróżniających kobiety od mężczyzn. **Drugorzędowe cechy płciowe** to pozostałe cechy odróżniające obie płcie, m.in. kształt i budowa sylwetki, owłosienie, muskulatura, głos, zachowanie, popęd płciowy (libido). U mężczyzn za rozwój tych cech odpowiadają androgeny. U kobiet drugorzędowe cechy płciowe są pod kontrolą estrogenów (np. rozwój piersi) i androgenów produkowanych w korze nadnerczy.

pierwszo-
i drugorzędowe
cechy płciowe



Regulacja cyklu menstruacyjnego i antykoncepcja

Możliwym skutkiem stosunku płciowego jest ciąża, która może być planowana lub nieplanowana. Pary, które chcą uniknąć nieplanowanej ciąży, stosują jedną z wielu dostępnych metod kontroli urodzeń – czyli **antykoncepcję**.

antykoncepcja

metody antykoncepcji

Do **metod antykoncepcji** należą **sterylizacja** u kobiet (w Polsce prawnie zakazana), która polega na podwiązaniu jajowodów, i **wazektomia** u mężczyzn. Kobieta z **podwiązanymi jajowodami** nadal ma owulację, ale komórki jajowe pozostają w jamie brzusznej. **Wazektomia** to podwiązanie i przecięcie nasieniowodów. Wytworzone plemniki zostają zresorbowane (czyli wchłonięte) w jamie brzusznej. Pozostałe dostępne metody antykoncepcyjne są niechirurgiczne i obejmują metody:

- naturalne,
- barierowe,
- zapobiegające implantacji komórki jajowej,
- hormonalne.

Metody naturalne bazują głównie na obserwacji śluzu macicznego oraz pomiarze temperatury ciała. **Metoda śluzowa** (metoda Billingsów) polega na obserwacji ślu-



zu szyjki macicy w czasie trwania cyklu miesięcznego i określaniu na tej podstawie dni płodnych (4 dni od pojawiania się lepkiego, rozciągliwego śluzu), w których wymagana jest wstrzeźliwość płciowa. Wadą tej metody jest konieczność sprawnego rozróżniania śluzu szyjkowego płodnego od bezpłodnego. Z kolei metoda bazująca na **pomiarze temperatury** jest skuteczna, ale tylko wtedy, gdy kobieta ma regularne cykle, a pomiary temperatury mają prawidłowy przebieg. Ich zaburzenie występuje przy przeziębieniu, chorobie, dłuższej podróży czy zmianie trybu życia.

Metody barierowe polegają na stosowaniu chemicznych lub fizycznych barier, których celem jest niedopuszczenie do połączenia komórki jajowej i plemnika. Podstawową metodą jest stosowanie **prezerwatywy**, czyli szczelnej osłonki zbudowanej z lateksu lub poliizoprenu. Prezerwatywa przylega do prącia i gromadzi uwalniające się w czasie ejakulacji nasienie (**ryc. I.21.6.**). Zaletą prezerwatywy jest fakt, że zapobiega ona zarażeniom wieloma chorobami przenoszonymi drogą płciową. Do jej wad natomiast należy wywoływanie reakcji alergicznych (w przypadku produktów wykonanych z lateksu). Wersja prezerwatywy dla kobiet przykrywa szyjkę macicy lub wypełnia pochwę. Do chemicznych barier należą **środki plemnikobójcze**: globulki dopochwowe, żele, kremy. Ich skuteczność jest niska i mogą być one stosowane jako metoda wspomagająca.



Ryc. I.21.6. Prezerwatywa to jedna z barierowych metod antykoncepcyjnych.

Implantacji zapłodnionej komórki jajowej zapobiega **wkładka wewnątrzmaciczna**, czyli pokryty miedzią plastikowy element (np. w kształcie litery T) umieszczony w jamie macicy. Zadaniem wkładki jest niszczenie plemników i wywoływanie niewielkiej reakcji zapalnej, która uniemożliwia zagnieżdżenie się komórki jajowej. Wkładki są wysoce skuteczne, jednak mają wady, np.: mogą wywoływać ból, krwawienia czy stany zapalne. Wkładki wewnątrzmaciczne nasączone progesteronem stosuje się także w leczeniu m.in. nieprawidłowości związanych z budową endometrium.

Metody hormonalne opierają się na przyjmowaniu środków hormonalnych w postaci **pigułek antykoncepcyjnych**, zastrzyków, plastrów oraz krążków dopochwowych. Do najbardziej rozpowszechnionych metod tego typu należą pigułki antykoncepcyjne (antykoncepcja doustna), czyli środki będące mieszaniną estrogenu i progesteronu, których zadaniem jest hamowanie wydzielania gonadotropowych hormonów przysadkowych: FSH oraz LH. Niewłaściwy poziom tych hormonów hamuje owulację. Dodatkowo progesteron zawarty w pigułce prowadzi do zagęszczenia śluzu szyjkowego, co blokuje wnikanie plemników. Metody hormonalne wła-



ściwie stosowane są bardzo skuteczne, ale w niektórych przypadkach zwiększają ryzyko wystąpienia zakrzepów i udarów. Stosowanie antykoncepcji jest przeciwwskazane u kobiet z rakiem piersi, zakrzepicą, cukrzycą, nadciśnieniem, kobiet powyżej 35. roku życia oraz palących papierosy (powyżej 15 sztuk na dobę).

Skuteczność dostępnych metod antykoncepcyjnych przedstawia się za pomocą **indeksu Pearl** (czyt. perła). Wyznacza się go na podstawie liczby stwierdzonych ciąż na 100 kobiet stosujących daną metodę przez 1 rok i wyraża w procentach. Im niższy **wskaźnik Pearl**, tym dana metoda jest skuteczniejsza. W **tabeli I.21.1.** przedstawiono skuteczność różnych metod antykoncepcyjnych mierzonych za pomocą indeksu Pearl.

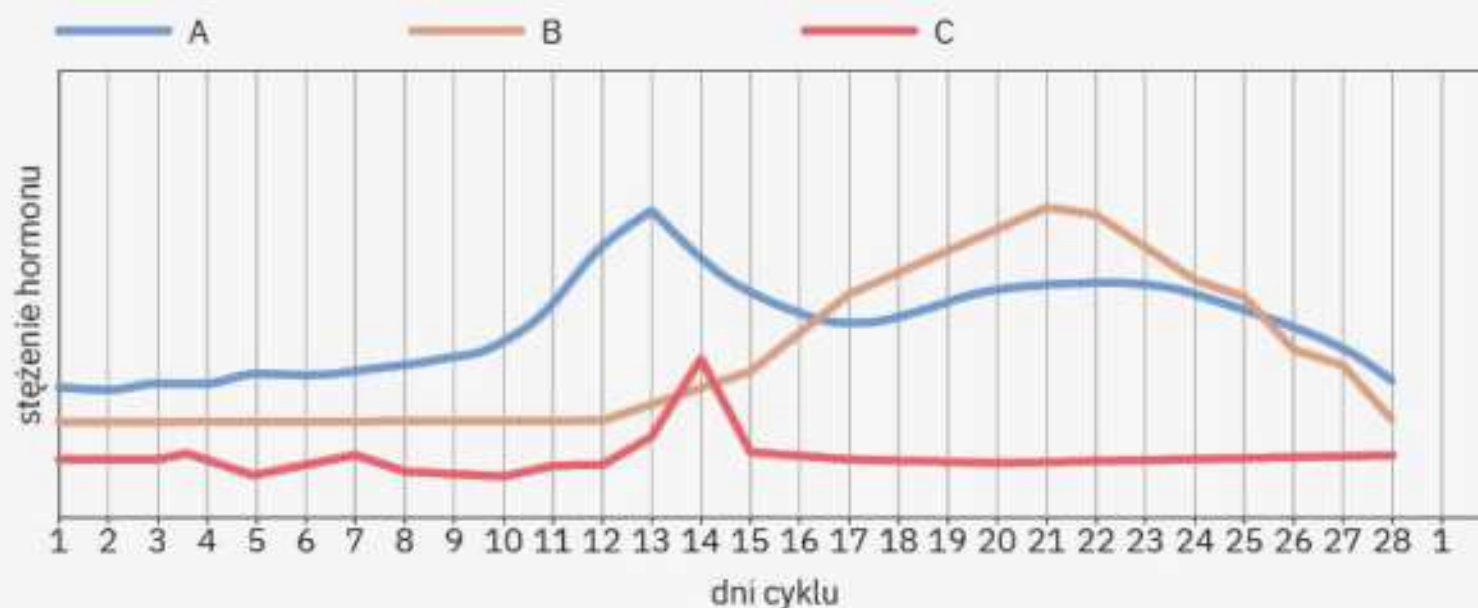
wskaźnik
Pearla

Tab. I.21.1. Skuteczność dostępnych metod antykoncepcyjnych

Metoda antykoncepcji	Częstość zajścia w ciążę przy właściwym stosowaniu [%] przez rok
brak antykoncepcji	85
środki plemnikobójcze	28
doustne pigułki antykoncepcyjne	0,05–0,03
wkładka wewnątrzmaciczna	< 1
prezerwatywa	2–18
metoda śluzowa	1–23
metoda termiczna	0,2–9

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Na poniższym wykresie przedstawiono zmiany poziomu trzech hormonów w czasie cyklu miesięcznego. Powiedz, który z hormonów (A, B czy C) oznacza poziom progesteronu. Uzasadnij swoją odpowiedź.



2. Wymień i podaj przykłady metod antykoncepcyjnych. Porównaj ich skuteczność.
3. Omów funkcje parzystych narządów w układzie rozrodczym żeńskim.



4. Wskaż podobieństwa i różnice w oogenezie i spermatogenezie.
5. Przedstaw zmiany zachodzące w obrębie błony śluzowej macicy w czasie cyklu macicznego.
6. Narysuj w zeszycie schemat cyklu jajnikowego, uwzględniając rolę hormonów w tym procesie.
7. Wykonaj obserwację opisaną na stronie 403 podręcznika.

PODSUMOWANIE LEKCJI

Żeński układ rozrodczy odpowiada za produkcję i dojrzewanie komórek jajowych.

s. 198

Układ rozrodczy żeński składa się z narządów płciowych zewnętrznych (sromu) oraz wewnętrznych (pochwa, macica, jajowody i jajniki).

s. 198

Pochwa to kanał łączący narządy zewnętrzne z wewnętrznymi, jest miejscem pozostawiania nasienia w czasie stosunku płciowego i drogą wyprowadzającą dla płodu w czasie porodu.

s. 198

Macica to pojedynczy narząd, którego błona śluzowa (endometrium) podlega comiesięcznym zmianom w czasie cyklu miesięczkowego. Macica jest miejscem rozwoju zarodka i płodu w czasie ciąży.

s. 199

Jajowody to parzyste narządy transportujące komórki jajowe z jajników do macicy. W jajowodzie dochodzi najczęściej do zapłodnienia.

s. 199

Parzyste **jajniki** są miejscem produkcji komórek jajowych. Komórki jajowe o różnym stopniu dojrzałości znajdują się w pęcherzykach Graafa, z których są uwalniane w czasie owulacji.

s. 200

Komórki jajowe powstają w czasie **oogenezy**, która rozpoczyna się w czasie życia płodowego, a w wieku dojrzałym przyjmuje postać cykliczną (co ok. 28 dni dojrzewa jedna komórka jajowa).

s. 200

W czasie **spermatogenezy** powstają plemniki. Pierwsze etapy procesu zachodzą w okresie płodowym, są kontynuowane w okresie dojrzewania i powtarzane przez wiele lat.

s. 200

Cykl miesięczkowy jest regulowany hormonalnie i obejmuje zmiany w jajniku (cykl jajnikowy) oraz w błonie śluzowej macicy (cykl maciczny).

s. 202

Zmiany w obrębie endometrium (cykl maciczny) zachodzą pod wpływem hormonów jajnikowych i mają postać **czterofazową**: fazę miesięczkową (krwawienia), fazę odbudowy (dojrzewanie i pęknięcie pęcherzyka Graafa oraz uwolnienie komórki jajowej), fazę wydzielniczą (wydzielanie progesteronu przez ciało żółte, zgrubienie endometrium) oraz fazę martwiczą (niedokrwienie i kolejne krwawienie).

s. 202

W **cyklu jajnikowym** odbywają się procesy dojrzewania pęcherzyków Graafa i powstawania ciała żółtego. Cykl jajnikowy dzieli się na trzy fazy: folikularną, owulacji i lutealną.

s. 203

Cykl płciowy jest regulowany przez układ podwzgórzowo-przysadkowy. Hormony folikulotropowy i luteinizujący regulują aktywność wydzielniczą jajników, które są źródłem estrogenów i progesteronu.

s. 203

Hormony płciowe męskie i żeńskie odpowiadają za rozwój **pierwszo- i drugorzędowych narządów płciowych**.

s. 203

Cykl płciowy może być regulowany sztucznie za pomocą dostępnych **metod antykoncepcyjnych**.

s. 204

Metody antykoncepcyjne dzielimy na naturalne (metoda śluzowa, pomiar temperatury), barierowe (prezerwatywa), zapobiegające implantacji zapłodnionej komórki jajowej (wkładka wewnątrzmaciczna) oraz hormonalne (pigułki antykoncepcyjne).

s. 204

Skuteczność dostępnych metod antykoncepcyjnych określa **wskaźnik Pearl**a, oznaczający liczbę stwierdzonych ciąż na 100 kobiet, które stosowały daną metodę przez rok, wyrażoną w procentach.

s. 206



22. Rozwój prenatalny człowieka

NA TEJ LEKCJI:

- przeanalizujesz przebieg zapłodnienia;
- poznasz przebieg okresu zarodkowego i płodowego człowieka;
- dowiesz się, jaką rolę odgrywają łożysko i błony płodowe;
- zrozumiesz, na czym polega diagnostyka prenatalna;
- poznasz metody leczenia niepłodności.

ontogeneza

Rozwój człowieka, czyli **ontogeneza**, obejmuje wszystkie procesy i etapy, jakie zachodzą od chwili powstania pierwszej komórki nowego organizmu aż do jego śmierci. W ontogenezie wyróżnia się następujące etapy:

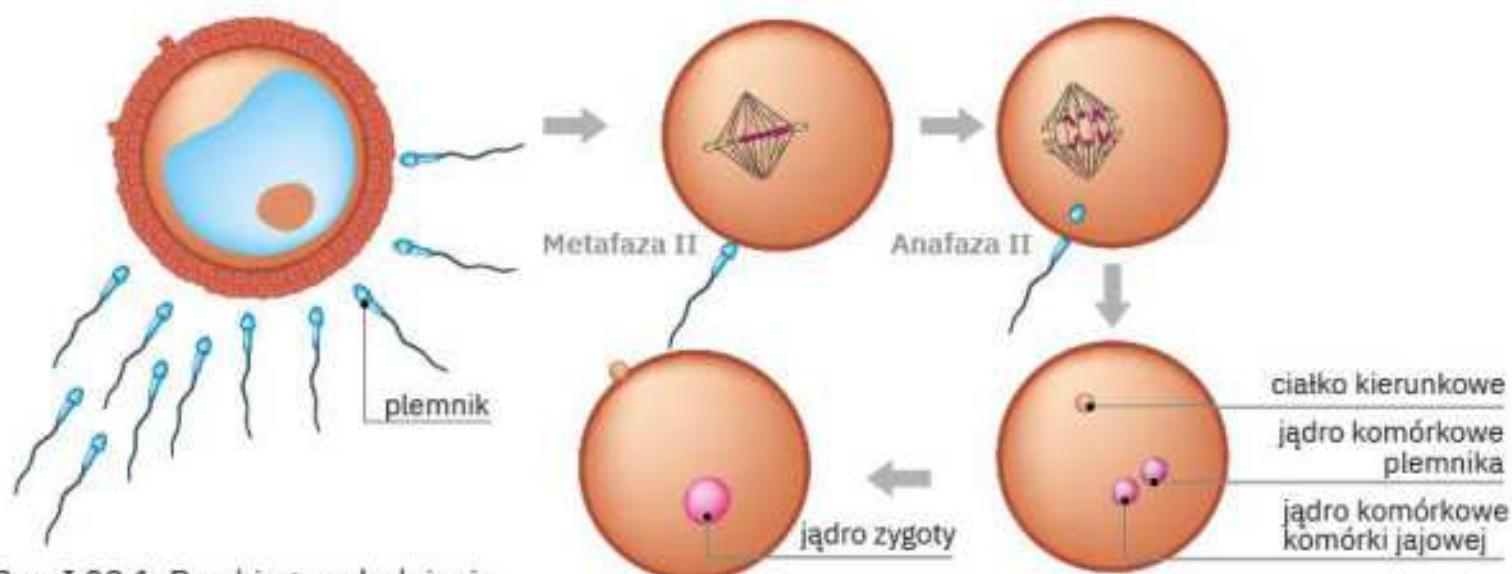
- **rozwój prenatalny** – okres od poczęcia do narodzin,
- **rozwój postnatalny** – okres od narodzin do śmierci.

Zapłodnienie i rozwój prenatalny

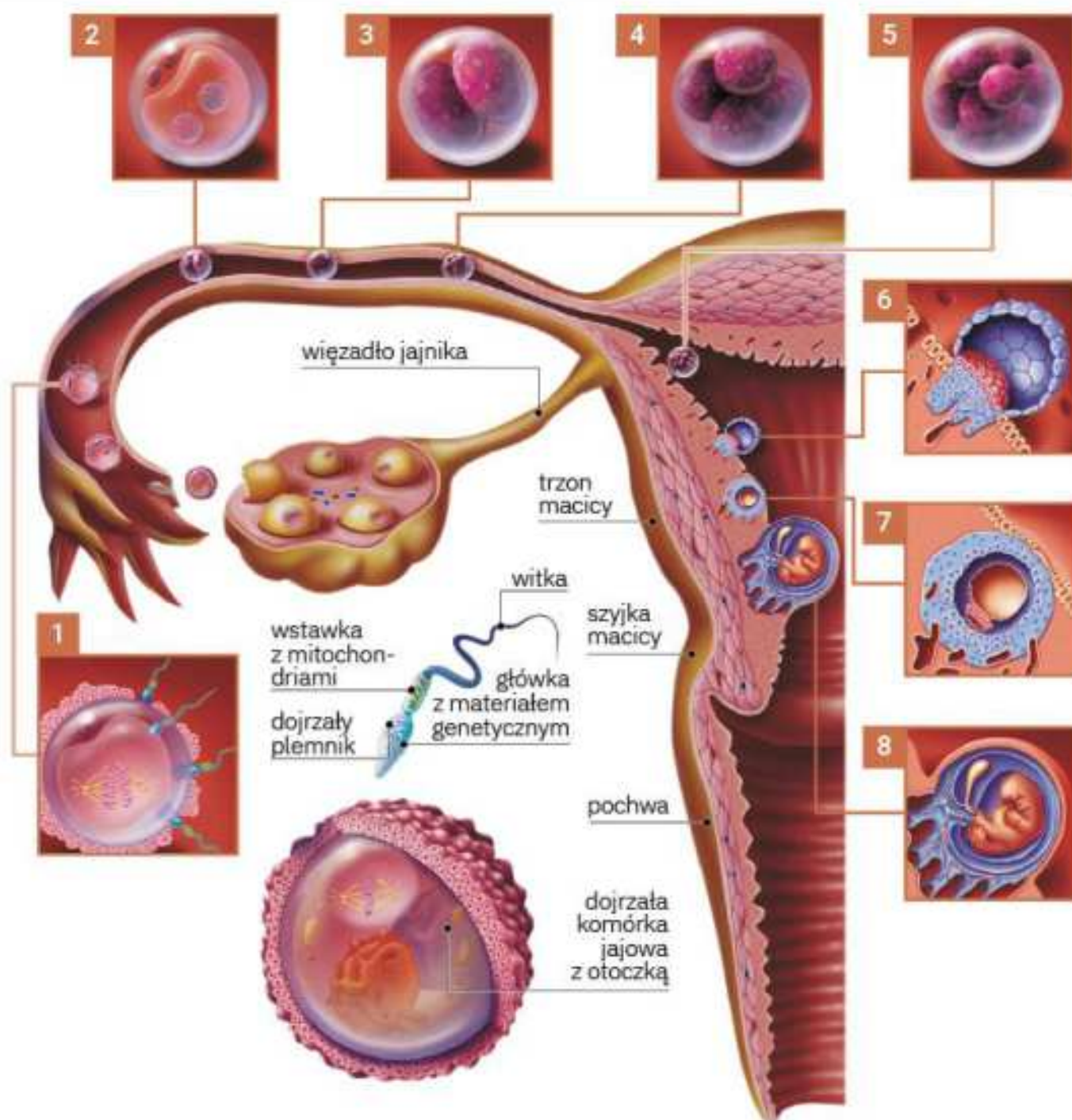
zapłodnienie

Zapłodnienie ma miejsce w jajowodzie. Rozpoczyna się w momencie kontaktu plemnika z komórką jajową i ich połączenia się (**ryc. I.22.1.**). Plemnik po dotarciu do komórki jajowej uwalnia enzymy, które rozpuszczają jej osłonkę. Gdy plemnik wnika do jej wnętrza, w błonie komórki jajowej zachodzą zmiany, uniemożliwiające innym plemnikom połączenie się z nią (reakcja korowa). Wniknięcie plemnika inicjuje dokończenie II podziału mejozy przez oocyt II rzędu. Następnie dochodzi do połączenia jąder obu komórek i powstania zygoty, czyli pierwszej komórki nowego organizmu. Po powstaniu zygoty rozpoczyna się mitoz. Po ok. 3–4 dniach zarodek z jajowodu przemieszcza się do macicy, gdzie zagnieżdża się w jej grubej błonie śluzowej. Ma to miejsce ok. 7. dnia po zapłodnieniu, kiedy zarodek składa się z ok. 100 komórek i jest w stadium rozwojowym zwanym **blastocystą** (**ryc. I.22.1.**).

blastocysta



Ryc. I.22.1. Przebieg zapłodnienia.



Ryc. I.22.2. Zapłodnienie i etapy rozwoju zarodkowego. 1 – zapłodnienie, 2, 3 – podział zygoty i rozpoczęcie bruzdkowania następuje ok. 30 h po zapłodnieniu, 4 – czterekomórkowy zarodek powstaje ok. 2 dni po zapłodnieniu, 5 – kolejne podziały komórkowe prowadzą do powstania kilkunastokomórkowej moruli, 6 – zarodek w stadium blastocysty zagnieżdża się w ścianie macicy ok. 8. dnia od zapłodnienia, 7 – w czasie gastrulacji (zob. s. 210) powstają pierwotne tkanki oraz łożysko, 8 – pod koniec 2. miesiąca ciąży zarodek ma masę ok. 10 g, długość 3 cm i ma wykształcone zawiązki wszystkich narządów.

Rozwój prenatalny obejmuje okres ciąży, która u człowieka trwa ok. 9 miesięcy (40 tygodni). Czas ten podzielono na dwa okresy: **zarodkowy** i **płodowy**. Okres zarodkowy trwa od powstania zygoty do momentu wytworzenia się wszystkich zawiązków narządów, czyli pierwsze 8 tygodni ciąży. Okres płodowy trwa od 9. tygodnia ciąży do porodu.

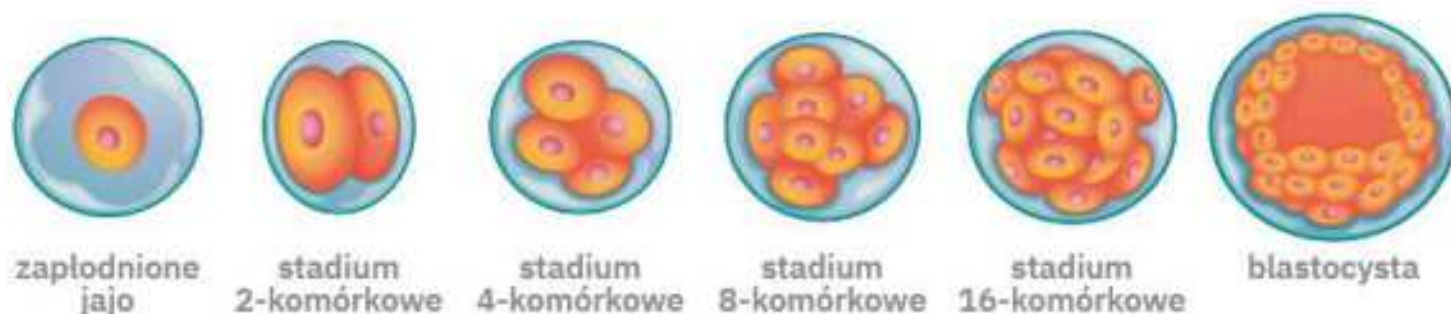
rozwój
prenatalny

Okres zarodkowy obejmuje bruzdkowanie, gastrulację i organogenezę. W czasie **bruzdkowania** komórki dzielą się i różnicują – przyjmują postać tzw. blastocysty (ryc. I.22.3.). Komórki zewnętrznej warstwy spłaszczają się, tworząc ścianę zwaną **trofoblastem**, który zawiera małą grupę komórek zwaną **węzłem zarodkowym**. Z trofoblastu rozwijają się błony płodowe (kosmówka i owodnia), a z węzła zarodkowego – właściwy zarodek. Zarodek w stadium blastocysty zagnieżdża się (implan-

okres zarodkowy



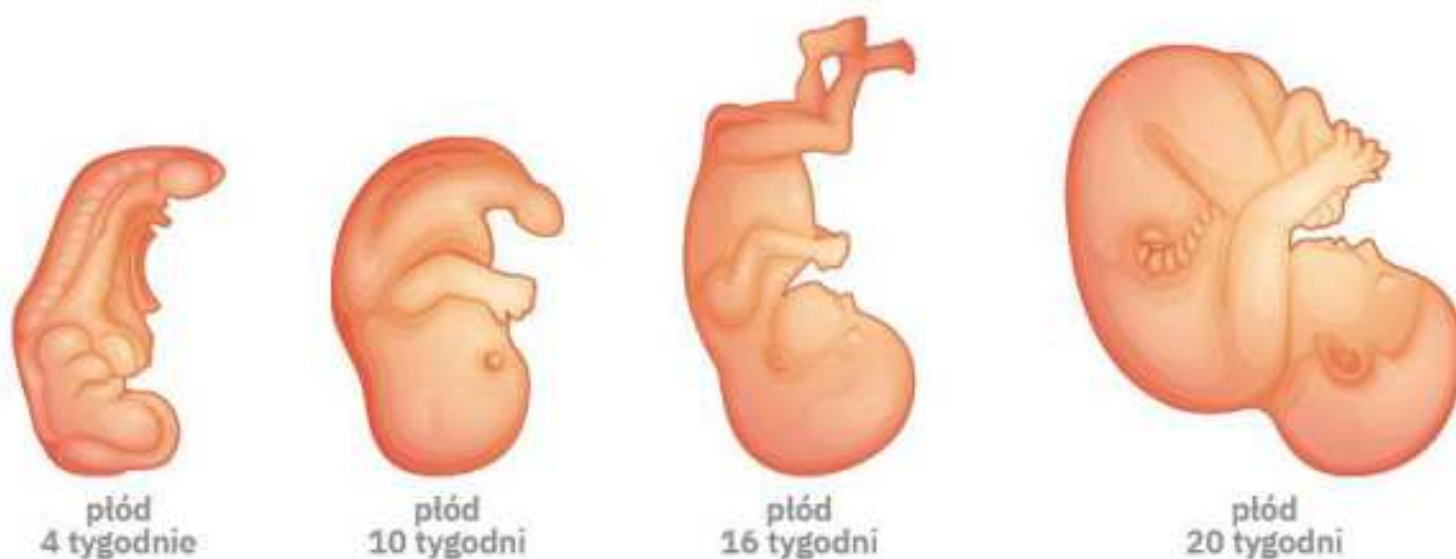
tuje) w błonie śluzowej macicy. W trakcie kolejnego etapu rozwoju zarodkowego, czyli **gastrulacji**, powstają pierwotne tkanki: ektoderma, mezoderma i endoderma, które dają początek narządom pierwotnym (m.in. strunie grzbietowej czy cewie nerwowej). Narządy te w czasie **organogenezy** zostają zastąpione przez narządy ostateczne (m.in. kręgosłup, rdzeń kręgowy).



Ryc. I.22.3. Etapy rozwoju zarodka.

okres płodowy

Okres płodowy obejmuje dalszy wzrost, różnicowanie budowy i czynności tkanek, narządów oraz układów (ryc. I.22.4.). Odżywianie i wymiana substancji między płodem i matką zachodzi przez łożysko.



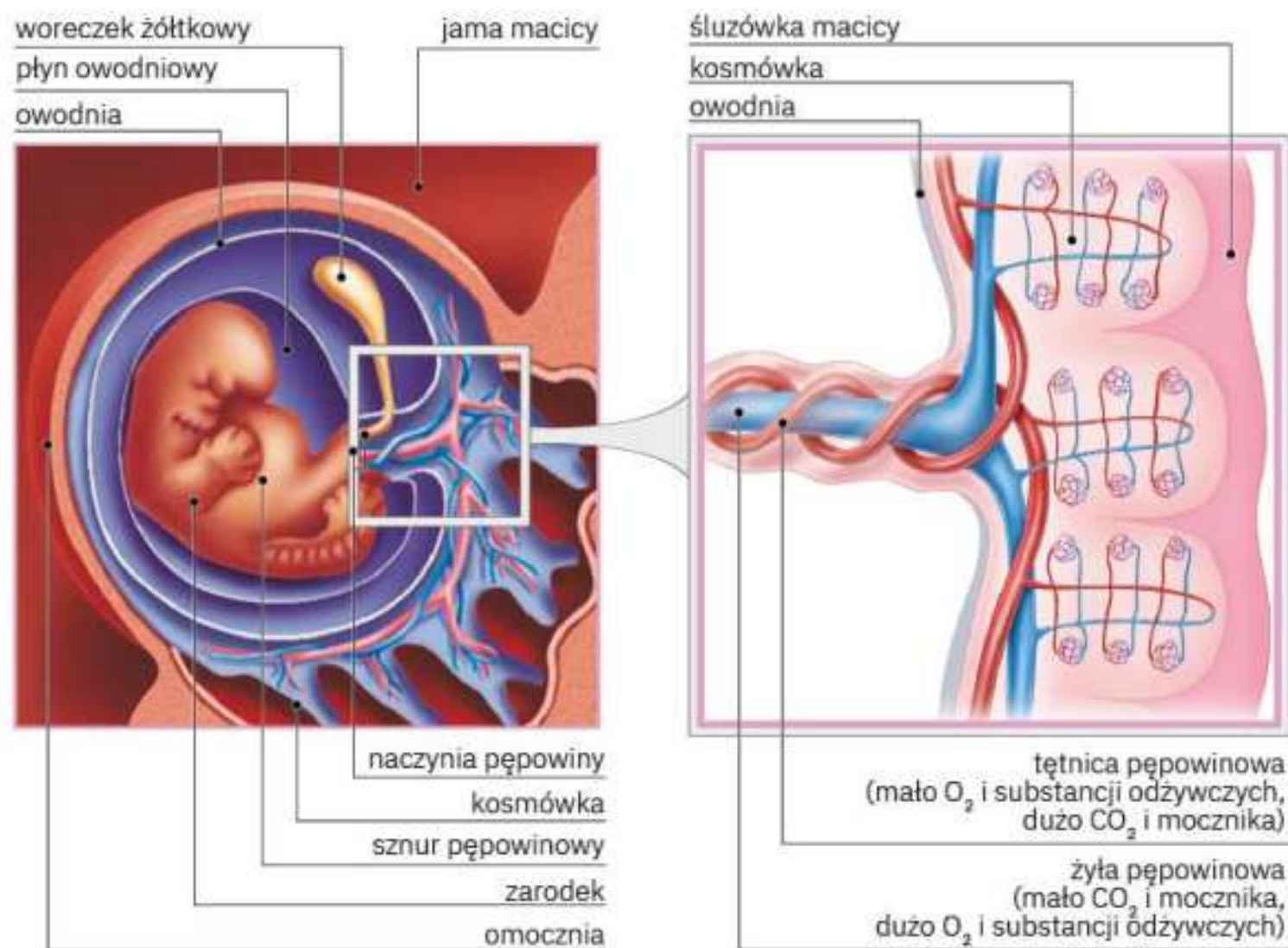
Ryc. I.22.4. Rozwój płodowy obejmuje wzrost, rozwój i specjalizację czynności narządów.

łożysko

Łożysko przekazuje składniki odżywcze i tlen dla zarodka, a odprowadza produkty przemiany materii, które wydała matka. Jest strukturą zbudowaną z części płodowej, jak i matczynej. Łączy się z płodem za pomocą **sznura pępowinowego**. Krwiobiegi matki i płodu są oddzielone błoną, tzw. **barierą łożyskową**, przez którą substancje są transportowane. Należy zwrócić uwagę, że tą drogą poza substancjami odżywczymi, wodą i gazami mogą przenikać także substancje trujące i niebezpieczne dla zdrowia i życia płodu, takie jak: nikotyna, alkohol, kofeina, metale ciężkie oraz wirusy i bakterie. Przez barierę łożyskową przechodzą do płodu również przeciwciała matczyne, zapewniające noworodkowi obronę, zanim zacznie on wytwarzać własne przeciwciała. Łożysko pełni ponadto funkcję gruczołu dokrewnego. Od momentu implantacji wydziela tzw. **ludzką gonadotropinę kosmówko-**



wą (hCG) (**ryc. I.22.5.**), a także progesteron i estrogeny. Pod wpływem hCG ciało żółte podtrzymuje produkcję progesteronu we wczesnych etapach ciąży, aby utrzymać prawidłową funkcję endometrium macicy. hCG pobudza także produkcję testosteronu przez rozwijające się jądra płodów męskich. Łożysko jest wydalone wraz z błonami płodowymi w czasie porodu.



Ryc. I.22.5. Budowa łożyska i błony płodowe.



Ryc. I.22.6. Domowe testy ciążowe pozwalają na wykrycie w moczu ludzkiej gonadotropiny kosmówkowej (hCG), która wydziela się od momentu zagnieżdżenia się zarodka w błonie śluzowej macicy, czyli na bardzo wczesnym etapie ciąży. Dawniej do wykonywania testów ciążowych używano królików, u których hCG wywołuje owulację.

Błony płodowe

błony płodowe

Błony płodowe zapewniają ochronę zarodka, a następnie płodu przed wpływem środowiska zewnętrznego oraz pośredniczą w wymianie substancji w trakcie rozwoju prenatalnego. Błony płodowe zaczynają powstawać ok. 8 dnia po zapłodnieniu. Do błon płodowych zaliczamy: owodnię, omoczninę oraz kosmówkę (**ryc. I.22.5.**).





Owodnia – cienka i przezroczysta błona otaczająca zarodek. Jest wypełniona płynem owodniowym (wody płodowe), w którym swobodnie porusza się płód. Owodnia zapewnia utrzymanie odpowiedniej temperatury jego ciała i amortyzuje wstrząsy. W płynie owodniowym znajdują się złuszczone komórki nabłonkowe zarodka, co wykorzystuje się w diagnostyce prenatalnej.

Kosmówka – pokryta palczastymi wypustkami zwanymi kosmkami. Pośredniczy w wymianie substancji między organizmem matki i płodu (zwłaszcza w początkowym okresie rozwoju). Część kosmówki uczestniczy w powstawaniu łożyska.

Omocznia – ma początkowo postać pasma komórek nabłonkowych. Około 4. tygodnia ciąży w ścianie omocznii powstają naczynia krwionośne, które później utworzą dwie tętnice pępkowe oraz żyłę pępkową.

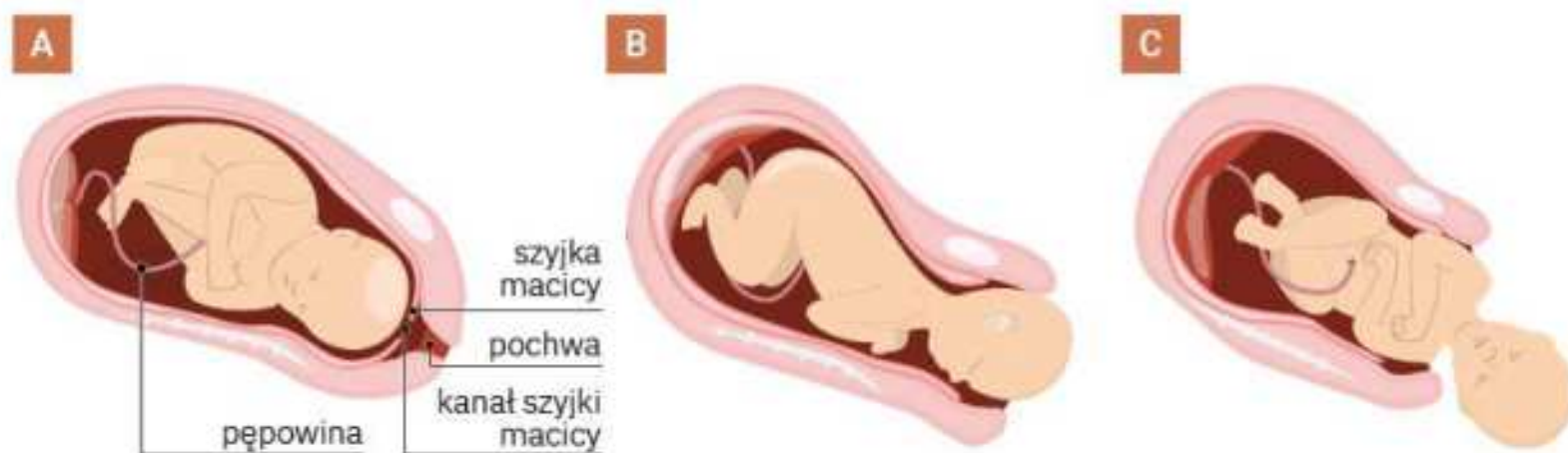
poród

Poród

Poród oznacza zakończenie rozwoju prenatalnego. Zwykle następuje po ok. 270 dniach od zapłodnienia (38.–40. tydzień ciąży). Akcję porodową rozpoczynają regularne skurcze macicy (tzw. bóle porodowe). Skurcze wywołuje hormon przysadkowy – **oksytocyna**. Poród obejmuje trzy fazy:

- **faza I** – od pojawienia się skurczów do pełnego rozwarcia szyjki macicy; płód przemieszcza się w kierunku rozszerzającej się szyjki macicy (**ryc. I.22.7.A**);
- **faza II** – **poród właściwy**, następuje pęknięcie owodni i odejście wód płodowych; silne skurcze macicy i mięśni brzucha przesuwają dziecko przez szyjkę macicy i pochwę na zewnątrz; po przecięciu i zawiązaniu pępowiny dziecko rozpoczyna samodzielne życie (**ryc. I.22.7.B i C**);
- **faza III** – obejmuje wydalenie łożyska i błon płodowych.

Zaraz po porodzie (w ciągu pierwszych 5 minut) ocenia się stan zdrowia dziecka za pomocą **skali Apgar**. Ocenie podlega pięć parametrów (tętno, oddech, napięcie mięśniowe, pobudliwość i barwa skóry), za które noworodek może otrzymać 0–2 pkt. Maksymalna liczba punktów to 10. Wynik poniżej 3 oznacza, że noworodek wymaga specjalistycznej opieki lekarskiej.



Ryc. I.22.7. Fazy porodu.



rozwój
prenatalny

Rozwój prenatalny a środowisko zewnętrzne

W trakcie rozwoju prenatalnego zmiany zachodzą w ogromnym tempie, niespotykanym na żadnym innym etapie ontogenezy człowieka. Rozwijający się organizm jest szczególnie wrażliwy na działanie czynników środowiskowych (fizycznych, chemicznych i biologicznych) (**tab. I.22.1.**). Wiele z nich działa jako tzw. **teratogeny**, czyli czynniki zaburzające organogenezę, co prowadzi do powstawania wad rozwojowych. Wpływ tych czynników zależy od stadium rozwojowego zarodka lub płodu, dawki oraz czasu działania. Najbardziej krytycznym momentem w rozwoju prenatalnym są pierwsze trzy miesiące, ponieważ wtedy kształtuje się większość struktur nowego organizmu.

Tab. I.22.1. Wpływ czynników środowiskowych na rozwój prenatalny

Czynniki	Przykład	Skutek
chemiczne	niska podaż substancji odżywczych, głównie białek i witamin (niedożywienie)	Następuje zahamowanie wzrostu, występuje mniejsza ilość komórek nerwowych, niedorozwój układu nerwowego, rozszczep kręgosłupa (niedobór kwasu foliowego), niska masa urodzeniowa.
	leki, nadmiar witamin	Kobiety w ciąży powinny stosować suplementy diety tylko w zalecanych dawkach. Konieczność przyjmowania leków musi stwierdzić lekarz.
	użytki: alkohol, narkotyki, papierosy	Dochodzi do upośledzenia umysłowego i fizycznego, spowolnienia wzrostu, występuje niska masa urodzeniowa, poronienia, wzrasta ryzyko śmierci noworodka.
biologiczne	wirus różyczki	Przenika przez łożysko, może prowadzić do głuchoty, wady serca, upośledzenia umysłowego. Profilaktyka obejmuje szczepienia przeciwko różyczce na kilka miesięcy przed planowanym poczęciem.
	wirus HIV, ospy, półpaśca	Pojawiają się zaburzenia neurologiczne, wady wzroku, przedwczesny poród, ryzyko poronienia.
	pasożyt <i>Toxoplasma gondii</i>	Wywołuje toksoplazmozę. Może prowadzić do <u>małogłowia</u> i <u>wodogłowia</u> , wad wzroku, wad serca i opóźnienia umysłowego.
fizyczne	promieniowanie jonizujące (głównie rentgenowskie)	Wzrasta ryzyko rozwoju wad rozwojowych i białaczki.

Diagnostyka prenatalna

Diagnostyka prenatalna to zespół badań przeprowadzanych w czasie ciąży, aby określić, czy płód rozwija się prawidłowo, oraz wykryć potencjalne wady rozwojowe i choroby genetyczne (m.in. wady cewy nerwowej czy zespół Downa). Daje to możliwość podjęcia odpowiedniego działania, np. leczenia niektórych chorób jeszcze przed urodzeniem.

diagnostyka
prenatalna

Badania prenatalne dzieli się na **nieinwazyjne** i **inwazyjne**. Do pierwszej grupy zaliczamy **ultrasonografię** (USG) (**ryc. I.22.8.**) oraz badania krwi obwodowej matki.



Za pomocą USG monitoruje się rozwój płodu, a także wykrywa się większość wad rozwojowych zarodka i płodu. Badania inwazyjne wykonuje się wówczas, gdy istnieje realne prawdopodobieństwo wady genetycznej płodu. Do tych metod należy m.in. **amniopunkcja** oraz **biopsja kosmówki**. W trakcie amniopunkcji nakłuwa się powłoki brzuszne i pobiera się do analizy płyn owodniowy (ryc. I.22.8.). Znajdujące się w nim komórki płodu poddaje się analizie pod kątem wad genetycznych. Biopsja kosmówki polega na pobraniu igłą (przez powłoki brzuszne) lub cewnikiem (przez szyjkę macicy) wycinka kosmówki płodu. Analiza DNA wyizolowanego z tego materiału pozwala wykryć m.in. zanik mięśni, wady chromosomalne czy niedokrwistość sierpowatą. Innowacyjnym, nieinwazyjnym testem prenatalnym jest coraz częściej wykonywane badanie DNA płodowego (z ang. NIPT od *non-invasive prenatal testing*). Badanie to polega na pobraniu krwi ciężarnej (po 10. tygodniu ciąży), a następnie analizie zawartego w niej DNA płodu (pochodzącego z komórek łożyska). Test NIPT służy głównie do wykrywania trisomii (np. zespołu Downa). Dodatni wynik testu jest wskazaniem do zabiegu inwazyjnego (np. amniopunkcji).



Ryc. I.22.8. Do badań prenatalnych nieinwazyjnych należy USG (A), a do inwazyjnych amniopunkcja (B).

Niepłodność i techniki wspomaganego rozwoju

niepłodność

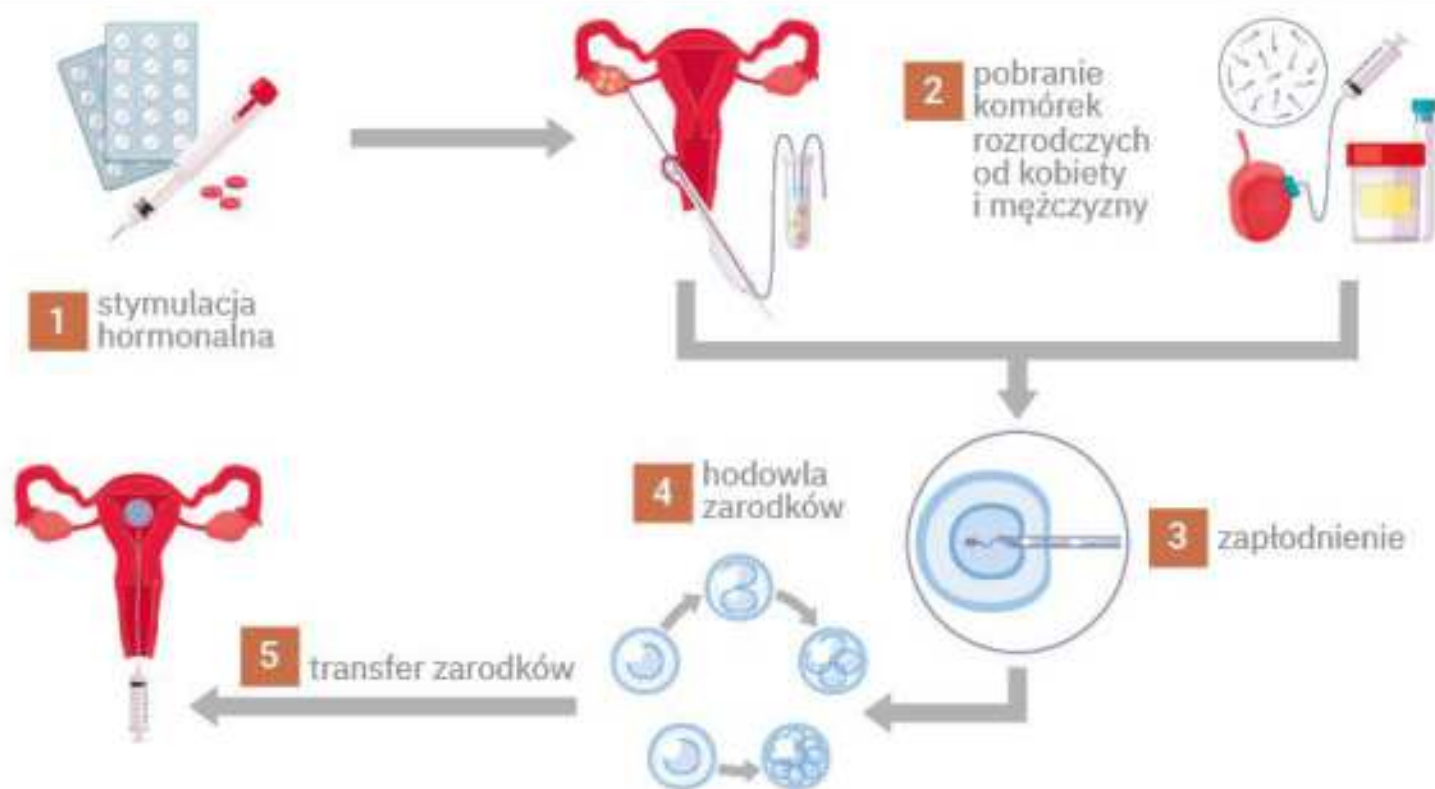
Niepłodność jest definiowana jako niezdolność pary do poczęcia dziecka w ciągu roku współżycia płciowego bez zabezpieczeń (pojęcie *niepłodność* jest często zamiennie stosowane z pojęciem *bezpłodność*; należy podkreślić, że w przeciwieństwie do niepłodności, bezpłodność oznacza trwałą niezdolność do zajścia w ciążę, której nie da się wyleczyć żadnymi z dostępnych metod). Niepłodność może dotyczyć tylko kobiety, tylko mężczyzny lub obojga partnerów. Najczęstszymi przyczynami niepłodności męskiej jest zbyt mała liczba plemników lub produkowanie plemników uszkodzonych. Podłoże żeńskiej niepłodności może być mechaniczne (np. niedrożność jajowodów) lub hormonalne, które prowadzi do zaburzeń lub braku owulacji. Dodatkowym problemem są samoistne poronienia w pierwszych tygodniach ciąży. Według badań około 1/3 wszystkich ciąż ulega zakończeniu, zanim kobieta dowie się, że jest w ciąży.

leczenie niepłodności

Do metod leczenia niepłodności zalicza się terapię hormonalną (zwiększenie liczby komórek jajowych) oraz techniki chirurgiczne (m.in. udrażnianie jajowodów). Pary, których dotyka problem niepłodności, mogą korzystać także z **technik wspomaganego rozrodu**. Najbardziej znaną techniką tego typu jest **zapłodnienie *in vitro*** (ryc. I.22.9.). Technika ta polega na hormonalnym stymulowaniu jajników kobie-



ty do uwolnienia w jednym czasie większej liczby komórek jajowych. Następnie komórki te są pobierane i zapładniane poza organizmem kobiety (*in vitro* znaczy „w szkle”). Rozwijający się zarodek zostaje następnie umieszczony w macicy. Procedura zapłodnienia *in vitro* jest bardzo złożona, a dodatkową przeszkodą dla wielu par są wysokie koszty jej przeprowadzenia. Jednak takie zapłodnienie dla tysięcy bezpłodnych par jest jedyną szansą na posiadanie potomka.



Ryc. I.22.9. Istota zapłodnienia *in vitro*.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

- Przedstaw ustnie kolejne etapy procesu prowadzącego do zagnieżdżenia się zarodka w błonie śluzowej macicy.
1) Plemnik zostaje wprowadzony do dróg rodnych kobiety → 2) → 3)
- Wyjaśnij różnice między podanymi pojęciami.
 - rozwój prenatalny i rozwój postnatalny
 - rozwój zarodkowy i rozwój płodowy
- Przerysuj do zeszytu tabelę dotyczącą rodzajów, funkcji i gruczołu wydzielającego hormony uwalniane w trakcie ciąży i porodu, a następnie ją uzupełnij.

Hormon	Funkcja	Wydzielany przez...
ludzka gonadotropina kosmówkowa		
progesteron		
oksytocyna		
prolaktyna		

- Wyjaśnij, dlaczego wszelkie zaburzenia budowy i funkcji łożyska w okresie ciąży mogą skutkować nieprawidłowym jej przebiegiem i stanowią zagrożenie dla zdrowia i życia płodu.



5. Spośród zdań dotyczących błon płodowych wybierz zdanie fałszywe.
 - a) Zarodek jest otoczony owodnią.
 - b) Część kosmówki uczestniczy w powstawaniu łożyska.
 - c) W celach diagnostycznych pobiera się płyn omoczeniowy (tzw. wody płodowe), w którym porusza się płód.
 - d) Z naczyń krwionośnych omocznia rozwijają się żyła i tętnice pępkowe.
6. Wyjaśnij, jakie niebezpieczeństwo niesie ze sobą palenie tytoniu i picie alkoholu przez ciężarne kobiety.
7. Co to jest amniopunkcja? Wymień sytuacje, w których konieczne jest jej przeprowadzenie.
8. Wytlumacz pojęcia: *niepłodność*, *zapłodnienie in vitro*.

PODSUMOWANIE LEKCJI

s. 208

Ontogeneza, czyli rozwój człowieka, obejmuje wszystkie procesy zachodzące od poczęcia aż do śmierci.

s. 208

Zapłodnienie zachodzi w jajowodzie i polega na połączeniu się plemnika z komórką jajową i powstaniu zygoty.

s. 208

Komórki zarodka dzielą się mitotycznie i przyjmują postać **blastocysty**, która zagnieżdża się w błonie śluzowej macicy.

s. 209

Rozwój prenatalny obejmuje czas ciąży i składa się z okresu zarodkowego (pierwsze 8 tygodni ciąży) i płodowego (od 9. tygodnia do porodu).

s. 209

Okres zarodkowy obejmuje bruzdkowanie (różnicowanie komórek, wytworzenie trofoblastu), gastrulację (powstanie pierwotnych tkanek i narządów) i organogenezę (wytworzenie narządów ostatecznych).

s. 210

Okres płodowy obejmuje wzrost, różnicowanie budowy i czynności tkanek narządów oraz układów, a kończy się porodem.

s. 210

Łożysko zapewnia wymianę substancji odżywczych i tlenu między płodem a matką. Jest zbudowane z części matczynej i płodowej. Łączy się z płodem sznurem pępowinowym.

s. 210

Łożysko wydziela hormony: ludzką gonadotropinę kosmówkową, progesteron i estrogeny.

s. 211

Błony płodowe (owodnia, omocznia i kosmówka) zapewniają ochronę zarodka i płodu przed wpływem środowiska zewnętrznego oraz pośredniczą w wymianie substancji między matką a płodem.

s. 212

Poród następuje po ok. 38–40 tygodniach od zapłodnienia. Rozpoczyna się od regularnych skurczów macicy wywołanych przez oksytocynę.

s. 213

Na **rozwój prenatalny** mają wpływ czynniki środowiskowe, m.in. chemiczne (np. leki, używki), biologiczne (np. wirusy, bakterie) oraz fizyczne (np. promieniowanie jonizujące).

s. 213

Diagnostyka prenatalna obejmuje zespół badań w trakcie ciąży, których celem jest określenie rozwoju płodu i wykrycie potencjalnych wad rozwojowych i chorób genetycznych.

s. 213

Diagnostyka prenatalna obejmuje ultrasonografię, amniopunkcję i biopsję kosmówki.

s. 214

Niepłodność to niezdolność pary do poczęcia dziecka przez okres roku w czasie stosunków płciowych bez zabezpieczeń.

s. 214

Metodą leczenia niepłodności jest m.in. terapia hormonalna. Do technik wspomaganego rozrodu zalicza się zapłodnienie *in vitro*.



23. Choroby układu rozrodczego i ich profilaktyka

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz najczęstsze choroby przenoszone drogą płciową;
- dowiesz się o chorobach nowotworowych układu rozrodczego.

Choroby przenoszone drogą płciową

choroby
weneryczne

Choroby przenoszone drogą płciową (**choroby weneryczne**) stanowią zaraz po grypie najbardziej pospolite choroby na świecie. Wśród nich najpowszechniejsze są stany zapalne. U kobiet najczęściej rozwijają się w okolicy zewnętrznych narządów płciowych oraz w pochwie, a u mężczyzn – w cewce moczowej. Ich przyczyną są bakterie, wirusy, grzyby i protisty. Wiele z nich ma charakter niegroźnych infekcji. Istnieją jednak takie, które wywołują poważne zaburzenia i mogą prowadzić nawet do śmierci. Charakterystykę chorób przenoszonych drogą płciową przedstawiono w tabeli.

Tab. I.23.1. Najczęstsze choroby przenoszone drogą płciową

Choroba	Przyczyna	Przebieg choroby i leczenie
Zakażenie HPV	wirus brodawczaka ludzkiego HPV (ang. <i>human papilloma virus</i>)	Powoduje powstawanie brodawek na skórze (kurzajki) oraz na narządach płciowych (tzw. kłykciny). Niektóre szczepy są przyczyną raka szyjki macicy. Aby zwalczyć zakażenie, stosuje się leczenie interferonem. Profilaktyka natomiast obejmuje stosowanie szczepień u dzieci i młodzieży przed rozpoczęciem współżycia seksualnego.
Rzeżączka	bakteria <i>Neisseria gonorrhoeae</i> (czyt. neisseria gonorrhoe), dwoinka rzeżączki	To ropne zapalenie cewki moczowej u mężczyzn (ale też jąder). U kobiet zakażenie dotyczy sromu, pochwy, szyjki macicy, jajowodów i jajników. Może prowadzić do zrośnięcia się jajowodów i bezpłodności. Powikłaniami rzeżączki są: zapalenie stawów, mięśnia sercowego i opon mózgowo-rdzeniowych. Rzeżączkę leczy się antybiotykami.
Kiła (syfilis)	bakteria <i>Treponema pallidum</i> , krętek błądy (ryc. I.23.1.)	Pierwsze objawy to owrzodzenie narządów płciowych i powiększenie węzłów chłonnych. Po cofnięciu się zmian, po ok. 4 miesiącach następuje nawrót choroby w postaci uogólnionej wysypki. Po latach pojawiają się zmiany wielonarządowe (m.in. na skórze, kościach, w układzie nerwowym). Bakterie przenikają przez łożysko i mogą prowadzić do uszkodzenia płodu. Kile leczy się najczęściej penicyliną.
Chlamydia	bakteria <i>Chlamydia trachomatis</i>	Powoduje stan zapalny narządów płciowych (m.in. szyjki macicy u kobiet i zapalenie cewki moczowej u mężczyzn). Leczy się ją antybiotykami.



Choroba	Przyczyna	Przebieg choroby i leczenie
Rzęsistkowica	protist <i>Trichomonas vaginalis</i> rzęsistek pochwo- wy	Powoduje zapalenie sromu i pochwy, upławy, bolesność. U mężczyzn przebiega bezobjawowo. Do jej zwalczenia stosuje się antybiotyki.
Grzybica	drożdże <i>Candida albicans</i>	U kobiet objawami zakażenia są: podrażnienie, zaczerwienie, bolesność, upławy. U mężczyzn choroba przebiega bezobjawowo. Grzybicę leczy się lekami przeciwgrzybiczymi.
Opryszczka	wirus <i>Herpes simplex</i> wirus opryszczki	Często zakażenie jest bezobjawowe lub występuje owrzodzenie narządów płciowych. Opryszczka jest chorobą nawracającą i groźną dla płodu. Leczy się ją lekami przeciwwirusowymi, które łagodzą objawy.



Ryc. I.23.1. Drobnoustroje będące podłożem chorób wenerycznych: krętek błądy wywołujący kiłę (A), dwoinka rzeżączki (B), drożdże *Candida albicans* wywołujące grzybicę (C).

choroby
nowotworowe
układu
rozdroczego

Choroby nowotworowe układu rozrodczego

Odrębny problem stanowią **choroby nowotworowe** narządów płciowych. U mężczyzn jest to najczęściej rak jądra i rak prostaty. **Rak jądra** o charakterze złośliwym stanowi ok. 1% nowotworów złośliwych u mężczyzn. Najczęściej dotyka młodych mężczyzn, między 15. a 44. rokiem życia. Objawia się zazwyczaj jako bolesny guz w mosznie. Czynniki ryzyka są m.in. wnętrostwo (brak jednego lub obu jąder w mosznie) i predyspozycje genetyczne. Profilaktyka polega na samobadaniu i wczesnym wykryciu zmian. Guzy usuwa się operacyjnie. **Rak prostaty** występuje najczęściej u mężczyzn po 50. roku życia. Podłożem tej choroby mogą być zmiany hormonalne lub zakażenia wirusowe. Wczesnymi objawami są bolesność przy oddawaniu moczu, pieczenie i bóle w podbrzuszu. Wczesny rak prostaty nie daje żadnych objawów, zatem kluczowa w tym przypadku jest profilaktyka. W tym celu każdy mężczyzna w wieku powyżej 45 lat powinien wykonywać kontrolne badanie gruczołu krokowego. W przypadku stwierdzenia przez lekarza zmian, przeprowadzana jest biopsja prostaty. Wczesne wykrycie daje dużą szansę na wyleczenie.

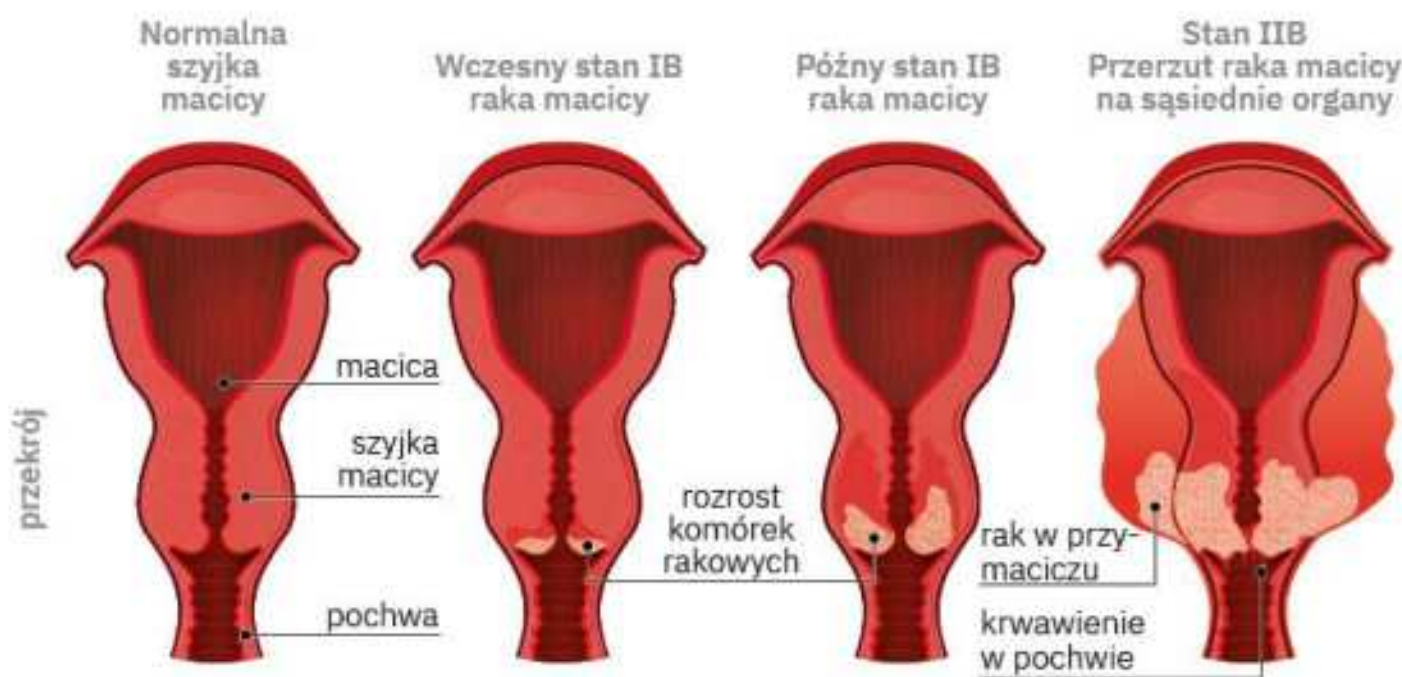
Do najczęstszych nowotworów układu rozrodczego żeńskiego należą rak szyjki macicy i rak jajnika. **Rak jajnika** występujący u kobiet w wieku 20–45 lat zwykle



ma charakter łagodny, natomiast złośliwy jest u dziewcząt w okresie pokwitania. Choroba długo rozwija się bezobjawowo, a nowotwór zostaje wykryty dopiero w późnym stadium. Osoby z ryzykiem wystąpienia tego typu nowotworu powinny regularnie badać **markery nowotworowe** we krwi (CA 125 i CA 19–9), które pomagają wykryć chorobę na wczesnym etapie, oraz podjąć stosowne leczenie. Ryzyko wystąpienia odmian dziedzicznych raka jajnika można określić na podstawie badań genetycznych.

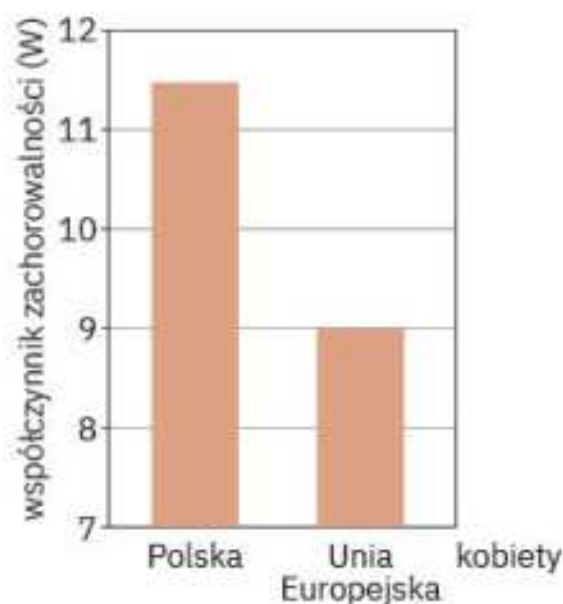
Rak szyjki macicy to jeden z najczęstszych nowotworów narządów płciowych u kobiet w Polsce, co wynika ze zbyt późnego jego wykrywania. Rozwija się w wyniku uszkodzenia komórek nabłonkowych szyjki macicy (**ryc. I.23.2.**). Choroba jest prawie zawsze wywoływana przez wirusa brodawczaka ludzkiego (HPV, z ang. *human papilloma virus*, czyt. hhuman papiloma wajrus). Wirus ten jest przenoszony

rak szyjki macicy



Ryc. I.23.2. Rozwój raka szyjki macicy.

drogą płciową, a zakażenia nim są dość powszechne. Większość zakażeń ulega samoistnemu wyleczeniu, ale niektóre powodują nieprawidłowości nabłonka i rozwój raka. Na wykrycie raka we wczesnym stadium pozwalają regularne **badania ginekologiczne i cytologiczne**, czyli rozmaz komórek pobranych z szyjki macicy. Wyleczalność raka wykrytego we wczesnym stadium wynosi między 90 a 100%. Niestety w Polsce wczesna wykrywalność raka szyjki macicy jest bardzo niska i u ponad 60% kobiet wykrywa się go w zaawansowanym stadium, kiedy daje przerzuty do innych narządów (**ryc. I.23.3.**). Wówczas stosuje się leczenie chirurgiczne i chemiotera-



Ryc. I.23.3. Porównanie zachorowalności na raka szyjki macicy w Polsce i krajach UE.



szczepionki
przeciwko
wirusowi HPV

pię, ale szanse na wyleczenie są małe. Podstawę profilaktyki raka szyjki macicy stanowią badania ginekologiczne i cytologiczne (przynajmniej raz w roku). W Polsce jest dostępna szczepionka przeciwko wirusowi HPV, która zmniejsza ryzyko zachorowania na raka szyjki macicy o ponad 90%. Szczepionka podana trzykrotnie będzie najskuteczniejsza u osób, które nie rozpoczęły jeszcze współżycia seksualnego.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Omów trzy przykłady bakteryjnych chorób wenerycznych.
2. Wymień przykłady chorób przenoszonych drogą płciową. Jak można im zapobiegać?
3. Wyjaśnij przyczynę wielu zachorowań na raka szyjki macicy w Polsce. Jakie działania profilaktyczne należy podjąć, aby zmniejszyć ryzyko wystąpienia tej choroby?
4. Przeczytaj poniższy tekst i wykonaj polecenie.

Wirus brodawczaka ludzkiego (HPV) jest przenoszony drogą płciową i sprzyja rozwojowi raka szyjki macicy u kobiet, dlatego w wielu krajach od ponad 10 lat szczepi się przeciwko niemu dziewczynki w wieku 11–13 lat, zanim jeszcze rozpoczną życie seksualne. Szczepionka zapobiega zakażeniu tym drobnoustrojem i chroni przed nowotworem. Wirus ten podczas kontaktów seksualnych przenoszą mężczyźni, ale mogą oni zarażać się także od zainfekowanych nim partnerek. Wirus HPV poza rakiem szyjki macicy może sprzyjać rozwojowi także innych nowotworów, takich jak rak jamy ustnej i gardła oraz rak odbytu.

Źródło: naukawpolsce.pl

Czy twoim zdaniem szczepienia przeciwko HPV zarówno dziewczynek, jak i chłopców mogłyby pomóc w ograniczeniu rozprzestrzeniania się tego wirusa? Uzasadnij swoją odpowiedź.

PODSUMOWANIE LEKCJI

s. 217 **Choroby weneryczne** są przenoszone drogą płciową. Wywołują je bakterie, wirusy i grzyby.

s. 217 Do najczęstszych **chorób wenerycznych** należą: rzeżączka, kila, rzesistkowica, chlamydia i grzybica.

s. 218 Do **chorób nowotworowych układu rozrodczego** zaliczamy raka jądra i prostaty (u mężczyzn) oraz raka jajnika i szyjki macicy (u kobiet).

s. 219 Rozpowszechnienie **raka szyjki macicy** w Polsce wynika ze zbyt późnego jego wykrywania.

s. 219 Przyczyną raka szyjki macicy jest wirus brodawczaka ludzkiego (HPV).

s. 220 **Szczepionka przeciwko HPV** zmniejsza ryzyko zachorowania na raka szyjki macicy nawet o 90%.



24. Wzrost i starzenie się człowieka

NA TEJ LEKCJI:

- przeanalizujesz etapy rozwoju postnatalnego człowieka;
- dowiesz się, jak przebiegają poszczególne etapy dojrzewania człowieka;
- poznasz przyczyny i konsekwencje wzrostu średniej długości życia ludzi.

Po rozwoju prenatalnym cykl życiowy człowieka przebiega dalej przez stadia: noworodkowe, niemowlęce, dzieciństwo, młodość, dorosłość, wiek średni i starość (ryc. I.24.1.). Zmiany te określane zbiorczo jako **rozwój postnatalny** dotyczą wszystkich ludzi, ale tempo ich przebiegu jest osobnicze, a przedziały czasowe orientacyjne.

rozwój
postnatalny

Okres dojrzewania

okres dojrzewania

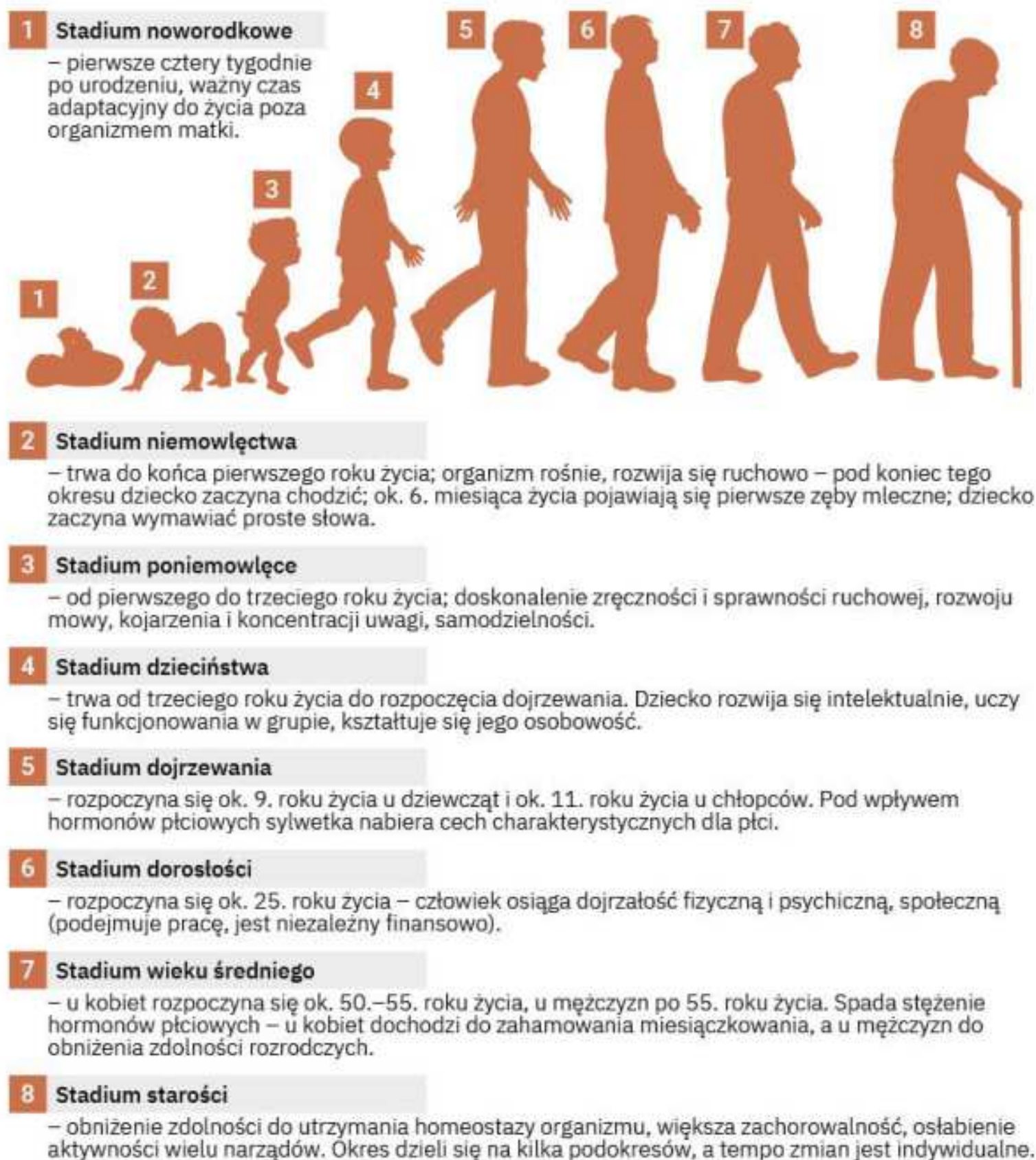
początek
dojrzewania

Początek dojrzewania (pokwitania) u dziewczynek objawia się wzrostem piersi oraz pierwszym cyklem miesiączkowym (tzw. *menarche*). Średni wiek wystąpienia pierwszej miesiączki to 12–13 lat. W tym czasie rozwijają się także piersi, pojawia się owłosienie łonowe i pachowe. Początek okresu dojrzewania u chłopców jest rozciągnięty w czasie, a jego oznakami są: owłosienie łonowe, zarost, obniżenie wysokości głosu, zmiana budowy sylwetki i szybki wzrost ciała. Następuje to między 9. a 14. rokiem życia. Proces dojrzewania jest kontrolowany hormonalnie na osi podwzgórze–przysadka–gonady. Osiągnięcie dojrzałości wiąże się ze zwiększonym wydzielaniem GnRH przez podwzgórze, który pobudza uwalnianie hormonów płciowych. Jednym z efektów działania tego hormonu jest także **przyspieszone wzrastanie**, czyli okres, w którym w szybkim tempie zwiększa się wysokość ciała (w ciągu roku nawet 8–12 cm).

Starzenie się i starość

starzenie się

Na dalsze etapy życia, w tym starość, znacząco wpływają tryb i warunki życia w okresach, w których organizm się rozwijał (m.in. warunki środowiskowe, nawyki żywieniowe). Proces starzenia jest wieloczynnikowy, a przez to bardzo trudny do zgłębiania dla badaczy. Wysuwane teorie starzenia się wskazują różne jego przyczyny, m.in. genetyczne, ewolucyjne, żywieniowe, związane z osłabieniem działania układu odpornościowego. Jedną z uznawanych teorii zakłada, że przyczyną starzenia się jest skracanie telomerów obecnych na końcach chromosomów, pełniących w stosunku do nich funkcje ochronne. Mówiąc o procesie starzenia, musimy uwzględniać wszystkie te przyczyny. Ponadto nie jest łatwo wskazać moment rozpoczęcia procesu starzenia się, gdyż jest to kwestia indywidualna i różni-



Ryc. I.24.1. Etapy rozwoju postnatalnego człowieka.

oznaki starości

cowana, m.in. płciowo, geograficznie. **Istnieją zmiany**, których pojawienie się wiąże się z procesem starzenia się: zmiany skórne (tzw. plamy starcze, **ryc. I.24.2.**), siwienie włosów, utrata elastyczności skóry (zmarszczki) czy większa wrażliwość na czynniki środowiskowe przez pogorszenie reakcji odpornościowych i osłabienie układu krążenia. Wpływa to także na częstsze niż we wcześniejszych okresach życia występowanie chorób towarzyszących procesowi starzenia się, m.in. nadciśnienia, niedosłuchu, osteoporozy, reumatyzmu czy chorób sercowo-naczyniowych.



średnia
długość życia

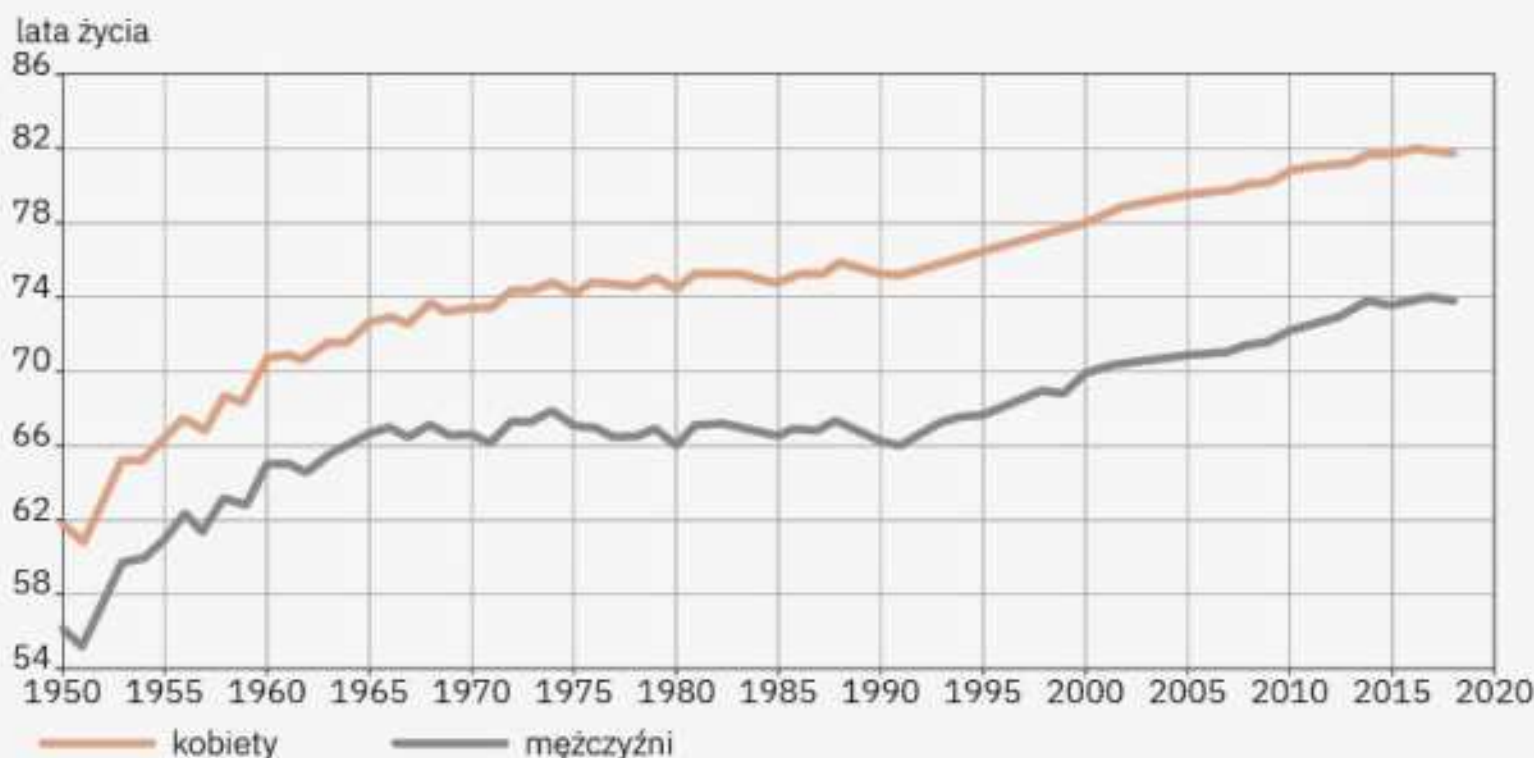
Obecnie obserwuje się znaczny wzrost **średniej długości życia** (w 2018 r. wynosiła ona 74 lata dla mężczyzn i 81,8 roku dla kobiet). Przybywa również osób w wieku zaawansowanym (powyżej 80 lat i więcej). Ma to związek m.in. z lepszą opieką medyczną i poprawą jakości życia. Zmiany demograficzne wymuszają także odmienne podejście do wyznaczania początków starości. Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) za początek starości uznaje 60.–65. rok życia, a cały okres starości dzieli na trzy podokresy: starość wczesną (tzw. młodzi starzy, 60–74 lat), starość późną (75–89 lat, tzw. starzy starzy) i starość bardzo późną (90 lat i więcej, tzw. najstarsi starzy).



Ryc. I.24.2. Starzeniu się towarzyszy pojawianie się plam starczych.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wymień etapy rozwoju postnatalnego i omów dwa z nich wybrane.
2. Porównaj okres dojrzewania u dziewcząt i chłopców.
3. Na poniższym wykresie przedstawiono średnią długość życia Polaków z podziałem na płeć w latach 1950–2018.



- a) Porównaj średnią długość życia kobiet i mężczyzn na przestrzeni lat.
 - b) Podaj kilka przyczyn wydłużającej się średniej długości życia.
- Zadanie wykonaj w zeszycie.

4. Wykonaj obserwację opisaną na stronie 404 podręcznika.



PODSUMOWANIE LEKCJI

- s. 221 **Rozwój postnatalny** obejmuje okresy: noworodkowy, niemowlęcy, dziecięcy, młodości, dorosłości, wieku średniego i starości.
- s. 221 **Okres dojrzewania** u płci żeńskiej rozpoczyna się od momentu wystąpienia pierwszego cyklu miesiączkowego.
- s. 221 **Początek dojrzewania** u chłopców wiąże się m.in. z pojawieniem się zarostu, obniżeniem głosu i zmianą budowy sylwetki.
- s. 221 **Starzenie** się jest procesem wieloczynnikowym, na który wpływają czynniki genetyczne, ewolucyjne, środowiskowe i fizjologiczne.
- s. 222 Do **znak starości** zaliczamy zmiany skórne, siwienie, utratę elastyczności skóry oraz częstsze występowanie chorób związanych z wiekiem, np. osteoporozy czy chorób sercowo-naczyniowych.
- s. 223 Ze względu na wydłużającą się **średnią długość życia** granica starości przesuwa się, a dodatkowo jest podzielona na okresy wczesnej i późnej starości.
- s. 223 Wzrost **średniej długości życia** jest związany z m.in. z lepszą opieką medyczną i poprawą jakości życia.



PODSUMOWANIE PRZED SPRAWDZIANEM

1. Hierarchiczna struktura ciała człowieka

- W powstaniu tkanek biorą udział trzy **listki zarodkowe**: ektoderma, endoderma i mezoderma. s. 8
- W organizmie człowieka występują cztery podstawowe **tkanki**: nabłonkowa, łączna, mięśniowa i nerwowa. s. 8
- **Tkanka nabłonkowa** pełni funkcję ochronną, transportującą, wydzielniczą, czuciową i rozrodczą. s. 9
- Ze względu na kształt i rozmieszczenie wyróżnia się **nabłonek jednowarstwowy** (płaski, sześcienny, walcowaty, wielorzędowy) oraz **wielowarstwowy** (płaski). s. 10
- Najbardziej zróżnicowaną pod względem budowy i funkcji jest **tkanka łączna**. Wyróżnia się tkankę łączną właściwą, tkankę oporową, płynną. Najważniejsze funkcje tkanki łącznej to: funkcja podporowa, transportowa i obronna organizmu. s. 11
- **Tkanka mięśniowa** dzieli się na mięśniową poprzecznie prążkowaną szkieletową, poprzecznie prążkowaną serca i gładką. Włókna mięśniowe (komórki mięśniowe) są zbudowane z kurczliwych białkowych miofibrili, które zapewniają tkance zdolność do skurczu. s. 19
- **Tkankę nerwową** budują zdolne do przekazywania impulsu nerwowego komórki nerwowe – neurony – oraz komórki głejowe, pełniące funkcje ochronne i odżywcze. s. 22
- Przekazywanie **impulsów nerwowych** zachodzi dzięki połączeniom – synapsom (nerwowo-nerwowym, nerwowo-mięśniowym, nerwowo-gruczołowym). s. 22

2. Narządy i ich układy w organizmie człowieka

- Prawidłowe funkcjonowanie organizmu jest możliwe dzięki równowadze wewnętrznej – **homeostazie**. s. 28
- **Homeostaza** polega na zachowaniu na odpowiednim poziomie takich parametrów, jak: temperatura ciała, ciśnienie oraz skład chemiczny krwi – pomimo zmiennych warunków środowiska. s. 28
- Homeostazę regulują przede wszystkim układ hormonalny i nerwowy. s. 28
- Istotnym czynnikiem wpływającym na zachowanie homeostazy jest **okołodobowy rytm biologiczny**. s. 29

3. Rola składników odżywczych w funkcjonowaniu organizmu

- O wartości odżywczej pokarmów decyduje zawartość w nich **składników odżywczych**. s. 30
- **Składnikami odżywczymi** są białka, węglowodany, tłuszcze, witaminy oraz sole mineralne. s. 30
- **Normy żywieniowe** określają ilość składników odżywczych koniecznych do zaspokojenia potrzeb życiowych u zdrowych ludzi. s. 30
- **Białka** warunkują prawidłowy wzrost i rozwój człowieka, są źródłem aminokwasów egzogennych i azotu. s. 31
- Większość **białek pełnowartościowych** zawartych w pokarmach jest pochodzenia zwierzęcego. s. 31
- **Niedobory białka** stanowią zagrożenie dla zdrowia i życia. s. 32
- **Tłuszcze pokarmowe** są niezbędne do prawidłowego funkcjonowania mózgu i stanowią źródło niezbędnych nienasyconych kwasów tłuszczowych (NNKT): linolowego i alfa-linolenowego. s. 32
- **NNKT** z grupy omega-3 są niezbędne do prawidłowego funkcjonowania mózgu i narządu wzroku. s. 32
- **Węglowodany pokarmowe** są podstawowym źródłem energii dla komórek oraz błonnika pokarmowego regulującego m.in. pracę układu pokarmowego. s. 33
- **Nadmierne spożycie cukrów prostych** i sacharozy zwiększa ryzyko chorób. s. 34

4. Rola witamin i minerałów w diecie

- **Witaminy** dzieli się na rozpuszczalne w tłuszczach (A, D, E i K) oraz rozpuszczalne w wodzie (m.in. B₁, B₂, C). s. 36
- Witaminy są niezbędne do prawidłowego funkcjonowania organizmu, o czym świadczą skutki ich **niedoboru** (m.in. anemia, wady wrodzone płodu, pelagra). s. 36
- **Nadmiar witamin** prowadzi do zaburzeń w funkcjonowaniu organizmu. s. 36
- **Woda** zapewnia aktywność życiową komórek i musi być dostarczana w odpowiedniej ilości, a jej ubytki należy uzupełniać. s. 39
- **Mikro- i makroelementy** są składnikami enzymów oraz regulują wiele reakcji metabolicznych. s. 39
- Stosowanie **suplementów diety** (m.in. preparatów witaminowych) musi być zasadne i skonsultowane z lekarzem. s. 41



5. Zasady zdrowego żywienia

- s. 42 • **Właściwe żywienie** jest podstawą prawidłowego wzrostu i rozwoju człowieka.
- s. 43 • **Zasady zdrowego żywienia** w postaci piramidy zdrowego żywienia podają proporcje niezbędnych składników odżywczych w codziennej diecie.
- s. 43 • Na zdrowie człowieka wpływa **zrównoważona dieta** oraz regularna, umiarkowana aktywność fizyczna.
- s. 44 • Prawidłowa dieta uwzględnia **zapotrzebowanie organizmu na energię**, która uwalnia się w czasie spalania składników pożywienia.

6. Budowa i funkcje układu pokarmowego

- s. 45 • Na **układ pokarmowy** składają się przewód pokarmowy, narządy dodatkowe (ślinianki, trzustka, wątroba) oraz procesy zachodzące na poszczególnych jego poziomach (rozdrabnianie, trawienie, wchłanianie).
- s. 45 • **Przewód pokarmowy** jest zbudowany z jamy ustnej, gardła, przełyku, żołądka, jelita cienkiego, jelita grubego i odbytnicy.
- s. 47 • W **jamie ustnej** mieszczą się zęby (mleczne do 6. r.ż. lub stałe) oraz język.
- s. 48 • Trzy pary **ślinianek** uchodzą do jamy ustnej i produkują ślinę zawierającą m.in. enzymy amylazy, które rozkładają skrobię do maltozy.
- s. 48 • **Gardło** jest wspólną częścią układu pokarmowego i oddechowego.
- s. 48 • **Przełyk** transportuje pokarm do żołądka, od którego jest oddzielony zwieraczem przełyku.
- s. 49 • **Żołądek** jest zbudowany z dna, trzonu i odźwiernika.
- s. 49 • **Gruzoły żołądkowe** znajdujące się w błonie śluzowej żołądka produkują sok żołądkowy zawierający m.in. kwas solny (zakwasza środowisko, aktywuje pepsynę i zabija drobnoustroje) oraz enzymy trawiące białka (pepsynę).
- s. 49 • **Jelito cienkie** dzieli się na dwunastnicę, jelito czcze i jelito kręte.
- s. 49 • W jelicie cienkim zachodzi **enzymatyczne trawienie pokarmów** oraz wchłanianie składników odżywczych.
- s. 50 • Wydajne wchłanianie jest możliwe dzięki obecności **kosmków i mikrokosmków** na błonie śluzowej jelita cienkiego.
- s. 51 • **Jelito grube** dzieli się na kątnicę, okrężnicę i esicę, a na jego końcu znajduje się odbytnica.
- s. 51 • W **jelicie grubym** zachodzi wchłanianie wody i soli mineralnych oraz powstawanie i oddawanie kału.
- s. 51 • Jelito grube jest środowiskiem życia **mikrobiomu**, czyli bakterii jelitowych niezbędnych do prawidłowego trawienia, wchłaniania i ochrony immunologicznej organizmu.

7. Dodatkowe narządy układu pokarmowego. Trawienie i wchłanianie substancji odżywczych

- s. 53 • **Trzustka** składa się z głowy, trzonu i ogona. Umiejscowiona jest za żołądkiem.
- s. 54 • Trzustka wytwarza i wydziela hormony (insulinę i glukagon) oraz produkuje **sok trzustkowy**, który uchodzi do dwunastnicy.
- s. 54 • **Sok trzustkowy** zawiera enzymy trawiące węglowodany, tłuszcze, białka i kwasy nukleinowe.
- s. 54 • **Wątroba** jest zbudowana z czterech płatów utworzonych ze zrazików.
- s. 54 • Komórki wątroby (**hepatocyty**) wydzielają żółć, która uchodzi do dwunastnicy.
- s. 54 • **Żółć** składa się m.in. z soli żółciowych, których zadaniem jest emulgacja tłuszczów, czyli rozdrobnienie ułatwiające enzymatyczne ich trawienie.
- s. 55 • **Wątroba to narząd pełniący wiele funkcji**, m.in. jest miejscem zachodzenia przemian glikogenu, syntezy mocznika, rozpadu erytrocytów czy unieszkodliwiania toksyn i leków.
- s. 55 • **Procesy trawienia i wchłaniania** umożliwiają transport i wykorzystanie substancji odżywczych ze środowiska zewnętrznego do wnętrza organizmu.
- s. 55 • **Trawienie** to chemiczny i mechaniczny proces rozkładu pokarmu na mniejsze cząsteczki, które zostają pobrane przez nabłonek do komórek organizmu.
- s. 55 • **Trawienie** wszystkich substancji odżywczych kończy się w jelicie cienkim: węglowodany zostają rozłożone do cukrów prostych przez amylazę trzustkową i disacharydazy; białka są rozkładane do peptydów i aminokwasów przez endo- i egzopeptydazy; kwasy nukleinowe są rozkładane do nukleotydów.
- s. 56 • **Wchłanianie** to przejście substancji odżywczych ze światła przewodu pokarmowego do krwi. Odbywa się ono na drodze osmozy, wspomaganej dyfuzji i czynnego transportu.
- s. 56 • Większość substancji odżywczych i wody jest **wchłaniana w jelicie cienkim**, w jelicie grubym jest wchłaniana część wody i witaminy K.



8. Zaburzenia funkcjonowania układu pokarmowego oraz ich profilaktyka

- **Choroby układu pokarmowego** mają podłoże bakteryjne (m.in. salmonelloza, choroba wrzodowa), wirusowe (np. wirusowe zapalenie wątroby) i genetyczne (choroba Leśniowskiego–Crohna, niektóre nowotwory). s. 59
- Metabolizm pokarmów jest regulowany przez **ośrodki głodu i sytości** w mózgu, które działają przeciwnie. s. 61
- Na **ośrodki głodu i sytości** wpływają zmiany poziomu glukozy we krwi oraz sygnały z tkanki tłuszczowej. s. 61
- **Otyłość** to zwiększenie masy ciała przez nadmierne gromadzenie się tkanki tłuszczowej. Ma podłoże endogenne (m.in. genetyczne) lub egzogenne (nieprawidłowa dieta, brak aktywności fizycznej). s. 62
- W walce z **otyłością** pomaga m.in. zrównoważona dieta i aktywność fizyczna. s. 62
- W **zaburzeniach odżywiania** (anoreksja, bulimia) istotną rolę odgrywa czynnik psychiczny. s. 63
- **Chorobom układu pokarmowego można zapobiec**, m.in. poprzez przestrzeganie podstawowych zasad higieny, stosowanie zrównoważonej diety i unikanie używek. s. 64
- Do **badania diagnostycznych układu pokarmowego** należą: morfologia krwi, ultrasonografia, gastroscopia i kolonoskopia. s. 65
- Narządy i tkanki układu pokarmowego można obrazować za pomocą **tomografii komputerowej** oraz **magnetycznego rezonansu jądrowego**. s. 66

9. Budowa i funkcje układu odpornościowego

- **Antygeny** (cząsteczki białek lub polisacharydów pochodzące od drobnoustrojów) pobudzają układ odpornościowy do odpowiedzi immunologicznej. s. 68
- **Układ odpornościowy** składa się z narządów limfatycznych (m.in. grasicy, śledziony, szpiku kostnego), komórek i substancji odpornościowych. s. 68
- Do najważniejszych **komórek odpornościowych** zaliczamy: limfocyty B i T, makrofagi, granulocyty, komórki dendrytyczne oraz komórki NK. s. 68
- **Substancjami odpornościowymi** są przeciwciała, cytokiny i białka ostrej fazy. s. 70
- **Przeciwciała** są produkowane przez limfocyty B, wiążą antygeny i aktywują procesy immunologiczne. s. 71
- **Cytokiny** (np. interferony, interleukiny) to białka, które są wydzielane przez jedną komórkę, a wpływają na aktywność innych komórek. Biorą udział w reakcjach zapalnych. s. 71
- **Białka ostrej fazy** są wydzielane przez wątrobę zaraz po infekcji lub urazie w celu opłaszczania patogenów albo hamowania aktywności enzymów. s. 72
- Na **odpowiedź immunologiczną** składają się mechanizmy nieswoiste oraz swoiste. s. 72
- Mechanizmy **odpornościowe nieswoiste** (skóra, fagocytoza, substancje bakteriobójcze, mechanizmy fizjologiczne) działają niewybiórczo i stanowią pierwszą linię obrony przed antygenami. s. 72
- **Mechanizmy odpornościowe swoiste** są skierowane przeciwko konkretnemu antygenowi. Należą do nich limfocyty B i wytwarzane przez nie przeciwciała, a także cytotoksyczna i pomocnicza aktywność limfocytów T. s. 73
- **Odporność swoistą można nabyć** w sposób czynny naturalny (przebyta choroba), czynny sztuczny (szczepienia), bierny naturalny (przechodzenie przeciwciał matki do noworodka przez łożysko), bierny sztuczny (podanie surowicy odpornościowej). s. 73
- Układ odpornościowy odróżnia komórki własne od obcych dzięki obecności unikalnego dla każdej osoby zestawu autoantygenów, tworzących **główny układ zgodności tkankowej (MHC)**. s. 76
- Wysoka zgodność tkankowa jest jednym z podstawowych warunków **transplantacji** (przeszczepów) narządów – im wyższa zgodność, tym większe prawdopodobieństwo przyjęcia przeszczepu. s. 77
- Celem stosowania **zabiegów immunosupresyjnych** (m.in. farmakologicznych) jest wygaszenie reakcji odpornościowej poprzez osłabienie reakcji odpornościowej i przyjęcie przeszczepu. s. 77
- Rolę antygenów ludzkich erytrocytów, których wysoka zgodność jest kluczowa w czasie transfuzji krwi, odgrywają **białka powierzchniowe** układów AB0 oraz Rh. s. 77
- Najważniejszym antygenem układu Rh jest **antygen D**. Osoby mające antygen D są Rh-dodatnie, a nieposiadające go – Rh-ujemne. s. 78
- **Konflikt serologiczny** może wystąpić w czasie ciąży, kiedy dojdzie do kontaktu krwi kobiety Rh-ujemnej i jej Rh-dodatniego dziecka. Produkowane przez matkę przeciwciała anti-D mogą przejść przez łożysko i doprowadzić do rozpadu (hemolizy) erytrocytów dziecka. s. 78
- **Konfliktowi Rh można zapobiec**, podając kobietom po porodzie przeciwciała anti-D, które niszczą erytrocyty płodu. s. 78



10. Zaburzenia funkcjonowania układu odpornościowego

- s. 81 • **Choroby nowotworowe** niekiedy mają związek z niewłaściwym funkcjonowaniem układu immunologicznego.
- s. 82 • W **leczeniu niektórych rodzajów nowotworów** stosuje się przeciwciała (np. w leczeniu pewnych typów raka piersi).
- s. 82 • **Choroby autoimmunizacyjne** (m.in. reumatoidalne zapalenie stawów, stwardnienie rozsiane) powstają w wyniku skierowania reakcji odpornościowej przeciwko własnym komórkom.
- s. 83 • **Alergia** to silna odpowiedź na antygen (alergen), np. kurz, pyłek roślin czy sierść zwierząt, który dla zdrowego człowieka jest nieszkodliwy.
- s. 83 • **Alergeny** wiążą się z przeciwciałami klasy IgE, powodując degranulację leukocytów i wyrzut histaminy.
- s. 83 • **Wstrząs anafilaktyczny** to ogólnoustrojowa, zagrażająca życiu reakcja organizmu na obecność alergenów we krwi. Mogą ją wywołać niektóre leki, toksyny zwierzęce i substancje roślinne.
- s. 84 • **Niedobory odporności** mogą mieć podłoże genetyczne (np. ciężki złożony niedobór odporności SCID dzieci) lub wtórne, czyli nabyte (np. wywołany przez wirus HIV zespół nabytego niedoboru odporności AIDS).
- s. 84 • Jedną z metod leczenia **AIDS** jest wysokoreaktywna terapia antyretrowirusowa HAART. W celu zapobiegania tej chorobie zaleca się unikanie ryzykownych kontaktów seksualnych, unikanie kontaktu z zakażoną krwią czy wykonywanie badań na obecność HIV.

11. Wymiana gazowa i krążenie

- s. 89 • Podstawową funkcją układu oddechowego jest **wymiana gazowa** i udział w transporcie powietrza. Układ oddechowy składa się z dróg oddechowych: jamy nosowej, gardła, krtani, tchawicy, oskrzeli i narządu oddechowego – płuc.
- s. 89 • **Wentylacja płuc** polega na czynnym wdechu i biernym wydechu; procesy te zachodzą dzięki pracy m.in. przepony i mięśni międzyżebrowych zewnętrznych, których skurcze zmieniają objętość klatki piersiowej.
- s. 89 • W płucach zachodzi **wymiana gazowa między powietrzem a krwią**, tlen łączy się nietrwale z hemoglobina podczas procesu utlenowania, tworząc oksyhemoglobinę. W komórkach ciała oksyhemoglobina oddaje tlen, a pobiera część dwutlenku węgla w postaci karbaminohemoglobiny. Pozostała część dwutlenku węgla jest transportowana przez osocze krwi.
- s. 90 • Do **chorób układu oddechowego** należą: grypa, przeziębienie i zapalenie płuc.
- s. 90 • Choroby układu oddechowego są wynikiem stale wzrastającego **zanieczyszczenia powietrza**.
- s. 93 • W ostatnich latach notuje się wyższą liczbę osób chorujących na **gruźlicę**.
- s. 91 • **Palenie tytoniu** jest szczególnie zagrażającym zdrowiu nałogiem prowadzącym do wielu chorób, m.in. raka płuc, krtani, warg. Równie niebezpieczne jest tzw. bierne palenie.
- s. 93 • **Rak płuc** jest najczęstszym nowotworem złośliwym na świecie i w Polsce. W jego leczeniu stosuje się metody operacyjne, radioterapię i chemioterapię.
- s. 95 • Do **profilaktyki chorób układu oddechowego** zalicza się zmniejszenie zanieczyszczenia powietrza, dbałość o higienę osobistą, niepalenie tytoniu i przeprowadzanie badań kontrolnych.

12. Budowa układu krwionośnego

- s. 102 • **Układ krążenia** składa się z układu krwionośnego i limfatycznego. Układ krwionośny jest układem zamkniętym zbudowanym z serca i naczyń krwionośnych. Tętnicami krew płynie z serca do tkanek, a żyłami odwrotnie. Naczynia włosowate mają cienkie ściany i umożliwiają wymianę substancji i gazów oddechowych między krwią a komórkami ciała.
- s. 106 • **Serce** jest narządem mięśniowym zaopatrywanym w tlen i substancje odżywcze przez układ wieńcowy. Składa się z dwóch przedsionków i dwóch komór oddzielonych całkowitą przegrodą. Przepływ krwi w sercu jest jednokierunkowy – od przedsionków do komór. Przed cofaniem się krwi zabezpieczają zastawki przedsionkowo-komorowe i półksiężycowate.
- s. 107 • Serce ma zdolność do samodzielnego kurczenia się dzięki **ośrodkom automatyzmu**. Rozrusznikiem serca jest węzeł zatokowy, który generuje impulsy nerwowe.
- s. 108 • Serce pracuje według schematu zwanego **cyklem pracy serca**, któremu towarzyszą zjawiska akustyczne – tzw. tony serca. Zapis pracy serca i ciśnienia krwi to EKG.
- s. 108 • **Krew krąży w dwóch krwiobiegach**: dużym (natlenowana krew jest transportowana do wszystkich komórek ciała) i małym (natlenowanie krwi w płucach).
- s. 113 • Utrzymanie homeostazy w organizmie zachodzi dzięki procesowi **krzepnięcia krwi**.



- **Układ limfatyczny** to układ otwarty połączony z układem krwionośnym. Jest zbudowany z naczyń limfatycznych i narządów limfatycznych. W naczyniach płynie limfa, która oprócz funkcji transportowych spełnia funkcję odpornościową. s. 114
- Najczęstsze choroby układu krążenia to nadciśnienie tętnicze krwi, miażdżycy, zawał i udar. W celu ich wykrycia stosuje się odpowiednią diagnostykę. s. 114
- Podwyższony **poziom cholesterolu** we krwi może prowadzić do miażdżycy. s. 114
- Czynniki sprzyjające wystąpieniu **nadciśnienia tętniczego** są: spożywanie nadmiernej ilości soli, siedzący tryb życia, palenie tytoniu, nadużywanie alkoholu, zbyt tłuste i obfite posiłki. s. 111

13. Osmoregulacja i wydalanie

- Na utrzymanie równowagi w organizmie człowieka składają się osmoregulacja oraz **wydalanie produktów przemiany materii** – głównie mocznika. Taką funkcję pełnią nerki, skóra, płuca i układ pokarmowy. s. 120
- Jednostką strukturalną i funkcjonalną nerki jest **nefron** zbudowany z ciałka nerkowego i kanalików nerkowych. s. 121
- **Powstanie moczu** jest złożonym procesem, na który składa się filtracja, resorpcja i sekrecja. s. 122
- **Mocz ostateczny** to roztwór mocznika, barwników i niektórych soli mineralnych. s. 123
- Nerki oprócz funkcji wydalniczej pełnią **funkcję wydzielniczą**. s. 124
- **Analiza składu moczu** pozwala na rozpoznanie wielu chorób, które mogą być niebezpieczne dla zdrowia, a nawet dla życia człowieka. s. 124
- Dializa i przeszczep nerki są metodami leczenia **niewydolności nerek**. s. 125

14. Budowa i funkcje układu hormonalnego

- **Układ dokrewny** działa za pośrednictwem hormonów wydzielanych do krwi. s. 129
- **Gruczoły dokrewne** znajdują się w różnych miejscach organizmu: przysadka, tarczyca, przytarczyce, szyszynka, nadnercza, trzustka, jajniki, jądra. s. 129
- **Hormony** są pochodnymi aminokwasów (np. adrenalina), polipeptydami (np. insulina), steroidami (kortyzol, testosteron, estrogeny). s. 130
- **Hormony** mogą działać ogólnoustrojowo (np. hormony tarczycy, przysadki) i lokalnie (np. gastryna). s. 130
- Do **hormonów tkankowych** zaliczamy erytropoetynę, gastrynę czy histaminę. s. 130
- Aktywność wydzielnicza gruczołów dokrewnych jest regulowana na **osi podwzgórze–przysadka–gruczoł dokrewny**. Podwzgórze uwalnia hormony pobudzające lub hamujące, które wpływają na produkcję hormonów tropowych w przysadce, a te z kolei regulują wydzielanie hormonów w gruczole docelowym (np. w nadnerczach). s. 131
- Wydzielanie hormonów jest regulowane poprzez mechanizm **ujemnego sprzężenia zwrotnego** – uwolnienie hormonu stanowi informację zwrotną dla przysadki i podwzgórze w celu zahamowania jego dalszego wydzielania. s. 132
- Na zasadzie **ujemnego sprzężenia zwrotnego** jest regulowane wydzielanie m.in. kortyzolu, hormonów tarczycy czy hormonów gonad. s. 132
- Działanie niektórych hormonów jest **przeciwstawne (antagonistyczne)**, np. insulina obniża poziom glukozy we krwi, a glukagon go podnosi; parathormon podnosi poziom wapnia w osoczu, a kalcytonina go obniża. s. 133
- **Cukrzyca** to choroba cywilizacyjna, która objawia się wysokim poziomem glukozy we krwi. s. 134
- Przyczyną **cukrzycy typu I** jest niedobór insuliny będący efektem niszczenia przez organizm własnych komórek trzustki. W **cukrzycy typu II** występuje upośledzenie wiązania i wykorzystania insuliny. s. 134
- Ryzyko zachorowania na **cukrzycę typu II** jest większe u osób z otyłością i prowadzących siedzący tryb życia. Nieleczona cukrzyca prowadzi do poważnych powikłań zdrowotnych. s. 134

15. Fizjologiczna rola hormonów

- Prawidłowy **wzrost człowieka** na poziomie hormonalnym jest regulowany przez aktywność wydzielniczą przysadki (hormon wzrostu), tarczycy (trójiodotyronina i tyroksyna), trzustki (insulina) oraz gonad (estrogeny, androgeny). s. 137
- **Hormony tarczycy** są niezbędne do prawidłowego wzrostu i rozwoju u dzieci, gdyż regulują prawidłowe działanie hormonu wzrostu i odpowiadają za rozwój kości. U dorosłych te hormony dostarczają substratów do metabolizmu tlenowego oraz zwiększają zużycie tlenu w tkankach. s. 137



- s. 137 • **Hormon wzrostu** pobudza syntezę białek, przez co stymuluje wzrost tkanek i kości. Pobudza rozpad tłuszczów i uwolnienie glukozy z wątroby. Maksimum jego wydzielania przypada na okres nocy.
- s. 137 • W **reakcji na stres** biorą udział hormony nadnerczy: adrenalina, noradrenalina, kortyzol i aldosteron. Ich rolą jest rozkład makrocząsteczek komórkowych (glikogenu, tłuszczów) i wyzwolenie energii do natychmiastowego wykorzystania w reakcjach „walki lub ucieczki”.
- s. 138 • **Melatonina** wydzielana przez szyszynkę reguluje funkcje organizmu zależne od długości dnia i nocy.
- s. 139 • **Niedobór hormonów** wiąże się z niedoczynnością gruczołów dokrewnych i prowadzi do zaburzeń w funkcjonowaniu organizmu, np. niedobór hormonu wzrostu przyczynia się do karłowatości, a niedobór kortyzolu – do choroby Addisona.
- s. 139 • **Nadmiar hormonów** jest związany z nadczynnością gruczołów dokrewnych i prowadzi do poważnych chorób, np. choroby Gravesa-Basedowa w przypadku nadmiaru hormonów tarczycy.

16. Regulacja nerwowa i budowa układu nerwowego

- s. 142 • **Układ nerwowy** odpowiada za koordynację i regulację wszystkich narządów w organizmie.
- s. 142 • Podstawą **przewodzenia** jest zmienność polaryzacji błony komórkowej, co wymaga aktywnego transportu jonów sodu i potasu przez białka przenośnikowe tworzące pompę sodowo-potasową.
- s. 144 • Przekazywanie impulsu nerwowego między neuronami i między neuronami a innymi komórkami odbywa się za pomocą **synaps**, które dzielimy na hamujące i pobudzające.
- s. 144 • Pod względem budowy układ nerwowy dzielimy na **ośrodkowy** (mózgowie i rdzeń kręgowy) oraz **obwodowy** (nerwy czaszkowe i rdzeniowe). W kresomózgowiu znajdują się nadrzędne ośrodki zmysłowe i ruchowe.
- s. 145 • Na podstawie kryterium czynnościowego wyróżnia się **autonomiczny i somatyczny układ nerwowy**. Autonomiczny reguluje pracę narządów wewnętrznych. Składa się z części współczulnej i przywspółczulnej, które działają antagonistycznie. Układ somatyczny unerwia mięśnie szkieletowe i skórę.
- s. 149 • Podstawową czynnością układu nerwowego jest **łuk odruchowy** składający się z receptora, neuronu czuciowego, ośrodka nerwowego, neuronu ruchowego i efektoru.
- s. 150 • Odruchy dzielimy na **warunkowe i bezwarunkowe**. Odruchy bezwarunkowe są wrodzone i obejmują proste czynności fizjologiczne organizmu i reakcje obronne. Odruchy warunkowe są nabyte i mogą powstawać przez całe życie, umożliwiają przystosowanie się organizmu do zmian w środowisku.
- s. 151 • **Uczenie się** to proces oparty na odruchach warunkowych.
- s. 151 • **Pamięć** jest procesem gromadzenia informacji wcześniej zdobytych. Wyróżnia się pamięć krótkotrwałą i długotrwałą.
- s. 153 • **Emocje** stanowią odpowiedź długotrwałą lub krótkotrwałą na bodźce środowiska. Stan silnego pobudzenia może być wywołany stresem, który prowadzi do wyniszczenia organizmu, jeśli długo się utrzymuje.
- s. 156 • Silnie utrwalone nawyki prowadzą do **nałogów**, np.: lekomanii, narkomanii czy alkoholizmu, które działają szkodliwie na układ nerwowy, a także na cały organizm.
- s. 158 • **Chorobami neurologicznymi** są choroba Alzheimera, Parkinsona, schizofrenia.
- s. 158 • **Sen** pozwala na uwolnienie organizmu od stresu, napięć i regeneruje siły.

17. Narządy zmysłów

- s. 161 • **Receptory** odbierają bodźce ze środowiska i przekazują je do ośrodkowego układu nerwowego. Klasyfikujemy je na podstawie rodzaju odbieranego bodźca oraz jego pochodzenia.
- s. 162 • **Narząd wzroku** odbiera bodźce wzrokowe, ucho jest narządem słuchu i równowagi, a narządy smaku i węchu odbierają bodźce chemiczne ze środowiska.
- s. 163 • Narząd wzroku składa się z gałki ocznej i narządów dodatkowych (powiek, brwi, gruczołów łzowych). Światło dochodzące do oka przechodzi przez rogówkę, soczewkę, ciało szkliste i dociera do siatkówki, gdzie jest odbierane przez komórki światłoczułe – **czopki i pręciki** – oraz zamienia się w impulsy nerwowe analizowane w mózgu.
- s. 164 • **Wady wzroku** są wywołane nieprawidłowym skupianiem się promieni świetlnych na siatkówce.
- s. 165 • **Jaskra i zaćma** są często spotykanymi chorobami narządu wzroku u osób starszych.
- s. 166 • **Ucho jest zbudowane** z ucha zewnętrznego, środkowego i wewnętrznego. Ucho zewnętrzne zbiera fale dźwiękowe i przekazuje je do ucha środkowego, gdzie ulegają wzmocnieniu dzięki trzem kosteczkom słuchowym. W uchu wewnętrznym odebrane fale dźwiękowe zostają przekształcone na impulsy nerwowe.
- s. 166 • W **uchu wewnętrznym** znajduje się narząd równowagi, który kontroluje ruchy i położenie głowy.
- s. 168 • **Zmysł smaku** jest pobudzany przez substancje rozpuszczone w wodzie i pozwala na odbiór pięciu podstawowych smaków: słodkiego, słonego, kwaśnego, gorzkiego i smaku mięsnego – umami.



- **Receptory węchu** są rozmieszczone w nabłonku węchowym górnej części jamy nosowej i odbierają bodźce węchowe ze środowiska zewnętrznego. s. 168

18. Poruszanie się

- **Układ ruchu** składa się z układu szkieletowego i mięśniowego. s. 170
- W **szkielecie człowieka** można wyróżnić szkielet osiowy i szkielet kończyn. s. 170
- Kości wchodzące w skład szkieletu są połączone ze sobą. Większą część połączeń kości stanowią połączenia ruchome – **stawy**. s. 171
- W układzie mięśniowym człowieka wyróżnia się **mięśnie antagonistycznie działające** (zginacze i prostowniki). s. 180
- Podstawową jednostką funkcjonalną mięśnia jest **sarkomer**, w którym następuje skurcz mięśnia. s. 180
- Intensywna praca mięśni **wymaga energii**, której bezpośrednim **źródłem jest ATP**. W warunkach beztlenowych dochodzi do zakwaszenia mięśni. s. 180
- Wysoka **sprawność fizyczna** jest jednym z warunków zachowania zdrowia. s. 182
- Jednym z problemów współczesnego sportu jest stosowanie **dopingu**, który szkodzi zdrowiu. s. 183

19. Skóra

- **Skóra** stanowi barierę odgraniczającą organizm od środowiska zewnętrznego. s. 186
- **Skóra składa się** z naskórka oraz skóry właściwej. s. 186
- **Naskórek** to powierzchniowa warstwa skóry. Jest zbudowany z wielu warstw rogowaciejących komórek nabłonkowych. s. 186
- **Warstwa rogową** naskórka zawiera keratynę zapewniającą wytrzymałość i elastyczność. **Warstwa rozrodcza** produkuje nowe komórki i syntetyzuje melaniny odpowiadające za kolor skóry. s. 186
- **Skóra właściwa** jest utworzona z tkanki łącznej i włókien kolagenowych. Pod skórą właściwą znajduje się tkanka podskórna. s. 187
- W **skórze właściwej** znajdują się fibroblasty, komórki odpornościowe, naczynia krwionośne, receptory czuciowe, gruczoły oraz włosy. s. 187
- **Wytworami naskórka** są włosy, paznokcie oraz gruczoły łojowe, potowe i mlekowe. s. 188
- Skóra pełni funkcje ochronne, termoregulacyjne, czuciowe i wydzielnicze. W jej obrębie przebiega **synteza witaminy D**. s. 190
- Do **schorzeń skóry** zaliczamy: brodawki, grzybice, łuszczycę oraz trądzik. s. 191
- **Czerniak** to jeden z nowotworów złośliwych skóry objawiający się rozlanym znamieniem. Ryzyko zachorowania znacznie wzrasta pod wpływem ekspozycji na promieniowanie słoneczne. s. 192

20. Układ rozrodczy męski

- **Męski układ rozrodczy** składa się z narządów zewnętrznych (moszna, prącie) oraz wewnętrznych (jądra, nasieniowody, przewód wytryskowy, cewka moczowa, gruczoły dodatkowe). s. 195
- **Jądra** to gruczoły rozrodcze (gonady) zbudowane z płacików, w których znajdują się kanaliki nasienne. Kanaliki tworzą najądrze, w którym powstają plemniki. s. 196
- **Nasieniowód** łączy jądro z pęcherzykiem nasiennym, który produkuje płyn nasienny zawierający substancje odżywcze dla plemników. s. 196
- **Plemnik** jest komórką haploidalną i składa się z główki, wstawki i wici. s. 196
- **Nasienie** to mlecznobiały płyn, zawierający plemniki, komórki odpornościowe zawieszone w płynie nasiennym, który jest wspólną wydzieliną najądrzy, nasieniowodów, pęcherzyków nasiennych i prostaty. s. 196

21. Budowa i funkcjonowanie żeńskiego układu rozrodczego. Gametogeneza

- **Żeński układ rozrodczy** odpowiada za produkcję i dojrzewanie komórek jajowych. s. 198
- **Układ rozrodczy żeński składa się** z narządów płciowych zewnętrznych (sromu) oraz wewnętrznych (pochwa, macica, jajowody i jajniki). s. 198
- **Pochwa** to kanał łączący narządy zewnętrzne z wewnętrznymi, jest miejscem pozostawiania nasienia w czasie stosunku płciowego i drogą wyprowadzającą dla płodu w czasie porodu. s. 198
- **Macica** to pojedynczy narząd, którego błona śluzowa (endometrium) podlega comiesięcznym zmianom w czasie cyklu miesięczkowego. Macica jest miejscem rozwoju zarodka i płodu w czasie ciąży. s. 199



- s. 199 • **Jajowody** to parzyste narządy transportujące komórki jajowe z jajników do macicy. W jajowodzie dochodzi najczęściej do zapłodnienia.
- s. 200 • Parzyste **jajniki** są miejscem produkcji komórek jajowych. Komórki jajowe o różnym stopniu dojrzałości znajdują się w pęcherzykach Graafa, z których są uwalniane w czasie owulacji.
- s. 200 • Komórki jajowe powstają w czasie **oogenezy**, która rozpoczyna się w czasie życia płodowego, a w wieku dojrzałym przyjmuje postać cykliczną (co ok. 28 dni dojrzewa jedna komórka jajowa).
- s. 200 • W czasie **spermatogenezy** powstają plemniki. Pierwsze etapy procesu zachodzą w okresie płodowym, są kontynuowane w okresie dojrzewania i powtarzane przez wiele lat.
- s. 202 • **Cykl miesięczkowy** jest regulowany hormonalnie i obejmuje zmiany w jajniku (cykl jajnikowy) oraz w błonie śluzowej macicy (cykl maciczny).
- s. 202 • Zmiany w obrębie endometrium (cykl maciczny) zachodzą pod wpływem hormonów jajnikowych i mają postać **czterofazową**: fazę miesięczkową (krwawienia), fazę odbudowy (dojrzewanie i pęknięcie pęcherzyka Graafa oraz uwolnienie komórki jajowej), fazę wydzielniczą (wydzielanie progesteronu przez ciało żółte, zgrubienie endometrium) oraz fazę martwiczą (niedokrwienie i kolejne krwawienie).
- s. 203 • W **cyklu jajnikowym** odbywają się procesy dojrzewania pęcherzyków Graafa i powstawania ciała żółtego. Cykl jajnikowy dzieli się na trzy fazy: folikularną, owulacji i lutealną.
- s. 203 • **Cykl płciowy** jest regulowany przez układ podwzgórzowo-przysadkowy. Hormony folikulotropowy i luteinizujący regulują aktywność wydzielniczą jajników, które są źródłem estrogenów i progesteronu.
- s. 203 • Hormony płciowe męskie i żeńskie odpowiadają za rozwój **pierwszo- i drugorzędowych cech płciowych**.
- s. 204 • Cykl płciowy może być regulowany sztucznie za pomocą dostępnych **metod antykoncepcyjnych**.
- s. 204 • **Metody antykoncepcyjne dzielimy** na naturalne (metoda śluzowa, pomiar temperatury), barierowe (prezerwatywa), zapobiegające implantacji zapłodnionej komórki jajowej (wkładka wewnątrzmaciczna) oraz hormonalne (pigułki antykoncepcyjne).
- s. 206 • Skuteczność dostępnych metod antykoncepcyjnych określa **wskaźnik Pearl**a, oznaczający liczbę stwierdzonych ciąży na 100 kobiet, które stosowały daną metodę przez rok, wyrażoną w procentach.

22. Rozwój prenatalny człowieka

- s. 208 • **Ontogeneza**, czyli rozwój człowieka, obejmuje wszystkie procesy zachodzące od poczęcia aż do śmierci.
- s. 208 • **Zapłodnienie** zachodzi w jajowodzie i polega na połączeniu się plemnika z komórką jajową i powstaniu zygoty.
- s. 208 • Komórki zarodka dzielą się mitotycznie i przyjmują postać **blastocysty**, która zagnieżdża się w błonie śluzowej macicy.
- s. 209 • **Rozwój prenatalny** obejmuje czas ciąży i składa się z okresu zarodkowego (pierwsze 8 tygodni ciąży) i płodowego (od 9. tygodnia do porodu).
- s. 209 • **Okres zarodkowy** obejmuje bruzdkowanie (różnicowanie komórek, wytworzenie trofoblastu), gastrulację (powstanie pierwotnych tkanek i narządów) i organogenezę (wytworzenie narządów ostatecznych).
- s. 210 • **Okres płodowy** obejmuje wzrost, różnicowanie budowy i czynności tkanek narządów oraz układów, a kończy się porodem.
- s. 210 • **Łożysko** zapewnia wymianę substancji odżywczych i tlenu między płodem a matką. Jest zbudowane z części macicznej i płodowej. Łączy się z płodem sznurem pępowinowym.
- s. 210 • **Łożysko** wydziela hormony: ludzką gonadotropinę kosmówkową, progesteron i estrogeny.
- s. 211 • **Błony płodowe** (owodnia, omocznia i kosmówka) zapewniają ochronę zarodka i płodu przed wpływem środowiska zewnętrznego oraz pośredniczą w wymianie substancji między matką a płodem.
- s. 212 • **Poród** następuje po ok. 38–40 tygodniach od zapłodnienia. Rozpoczyna się od regularnych skurczów macicy wywoływanych przez oksytocynę.
- s. 213 • Na **rozwój prenatalny** mają wpływ czynniki środowiskowe, m.in. chemiczne (np. leki, używki), biologiczne (np. wirusy, bakterie) oraz fizyczne (np. promieniowanie jonizujące).
- s. 213 • **Diagnostyka prenatalna** obejmuje zespół badań w trakcie ciąży, których celem jest określenie rozwoju płodu i wykrycie potencjalnych wad rozwojowych i chorób genetycznych.
- s. 213 • **Diagnostyka prenatalna** obejmuje ultrasonografię, amniopunkcję i biopsję kosmówki.
- s. 214 • **Niepłodność** to niezdolność pary do poczęcia dziecka przez okres roku w czasie stosunków płciowych bez zabezpieczeń.
- s. 214 • **Metodą leczenia niepłodności** jest m.in. terapia hormonalna. Do technik wspomaganego rozrodu zalicza się zapłodnienie *in vitro*.



23. Choroby układu rozrodczego i ich profilaktyka

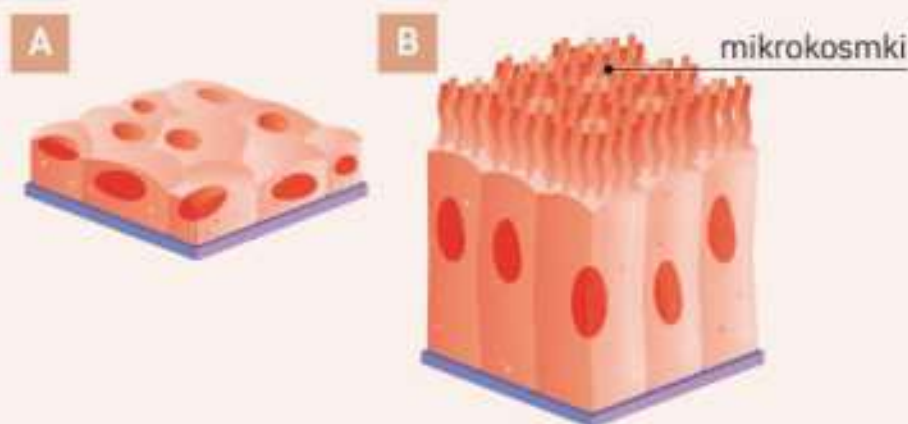
- **Choroby weneryczne** są przenoszone drogą płciową. Wywołują je bakterie, wirusy i grzyby. s. 217
- Do najczęstszych **chorób wenerycznych** należą: rzeżączka, kiła, rzesistkowica, chlamydia i grzybica. s. 217
- Do **chorób nowotworowych układu rozrodczego** zaliczamy: raka jądra i prostaty (u mężczyzn) oraz raka jajnika i szyjki macicy (u kobiet). s. 218
- Rozpowszechnienie **raka szyjki macicy** w Polsce wynika ze zbyt późnego jego wykrywania. s. 219
- Przyczyną raka szyjki macicy jest wirus brodawczaka ludzkiego (HPV). s. 219
- **Szczepionka przeciwko HPV** zmniejsza ryzyko zachorowania na raka szyjki macicy nawet o 90%. s. 220

24. Wzrost i starzenie się człowieka

- **Rozwój postnatalny** obejmuje okresy: noworodkowy, niemowlęcy, dziecięcy, młodości, dorosłości, wieku średniego i starości. s. 221
- **Okres dojrzewania** u płci żeńskiej rozpoczyna się od momentu wystąpienia pierwszego cyklu miesiączkowego. s. 221
- **Początek dojrzewania** u chłopców wiąże się m.in. z pojawieniem się zarostu, obniżeniem głosu i zmianą budowy sylwetki. s. 221
- **Starzenie się** jest procesem wieloczynnikowym, na który wpływają czynniki genetyczne, ewolucyjne, środowiskowe i fizjologiczne. s. 221
- Do **oznak starości** zaliczamy zmiany skórne, siwienie, utratę elastyczności skóry oraz częstsze występowanie chorób związanych z wiekiem, np. osteoporozy czy chorób sercowo-naczyniowych. s. 222
- Ze względu na wydłużającą się **średnią długość życia** granica starości przesuwana się, a dodatkowo jest podzielona na okresy od wczesnej do późnej starości. s. 223
- Wzrost **średniej długości życia** jest związany z m.in. z lepszą opieką medyczną i poprawą jakości życia. s. 223

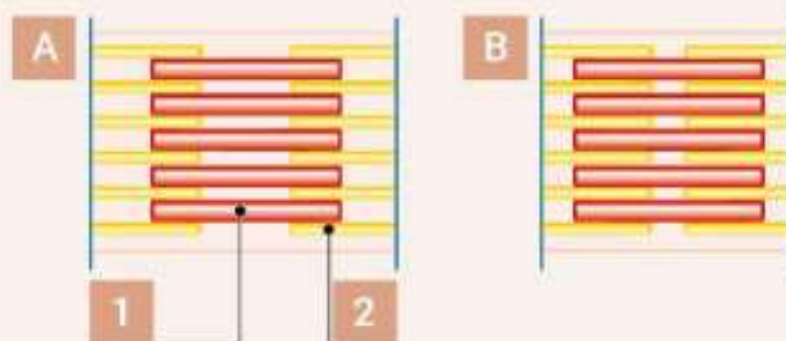
SPRAWDŹ, CZY UMIESZ

1. Na rysunkach przedstawiono dwa różne jednowarstwowe nabłonki.



- Wskaż po jednym przykładzie miejsca ich występowania w organizmie.
- Wyjaśnij przystosowania w budowie nabłonków do pełnionych funkcji.

2. Na schemacie przedstawiono budowę sarkomeru – fragmentu włókna mięśnia szkieletowego – w różnych fazach jego skurczu.



- Podaj nazwy białek, z których są zbudowane elementy sarkomeru, oznaczonych na schemacie numerami 1 i 2.

b) Wybierz schemat przedstawiający skurcz sarkomeru.



3. Tkanka ta jest bogato unaczyniona i unerwiona, ulega ciągłym procesom przebudowy. Stanowi także aktywny magazyn jonów, głównie wapniowych. W istocie podstawowej znajdują się liczne włókna kolagenowe. Występuje w dwóch rodzajach.

Na podstawie tekstu określ typ przedstawionej tkanki. Wymień cechy, które umożliwiły jej identyfikację. Zadanie wykonaj w zeszycie.

4. Wymień cztery czynniki, które w istotny sposób wpływają na zachowanie homeostazy organizmu.

5. Błonnik pokarmowy to niejednorodna mieszanina związków chemicznych, które nie są trawione w organizmie człowieka, zatem nie pełnią funkcji odżywczej. W skład błonnika pokarmowego wchodzi m.in.: pektyny, inulina, celuloza, hemicelulozy oraz skrobia oporna.

a) Wskaż, do której grupy substancji odżywczych zaliczamy związki wchodzące w skład błonnika pokarmowego.

b) Wymień pięć pokarmowych źródeł błonnika. Podaj, na którym poziomie piramidy zdrowego żywienia znajdują się wymienione przez Ciebie pokarmy. Wyjaśnij ich rolę.

6. W poniższej tabeli przedstawiono wyniki doświadczenia przeprowadzonego na grupie kilkudziesięciu osób i dotyczącego wpływu błonnika oraz wody na perystaltykę jelit.

Parametr	Przed suplementacją błonnikiem i wodą	Po suplementacji błonnikiem i wodą
ilość spożywanego błonnika [gram/dobę]	12,7	25
ilość wypijanej wody [litr/dobę]	1,0	2,1
częstotliwość wypróżnień w ciągu tygodnia	1,8	4,2

Źródło: A. Platta, „Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni” 2014, nr 86.

Sformułuj hipotezę badawczą oraz wnioski do opisanego doświadczenia.

7. Laktoza występuje w mleku ssaków. Zbudowana jest z reszt glukozy i galaktozy. Rozkład laktozy zachodzi pod wpływem enzymu laktazy.

Z podanych grup enzymów trawiennych wybierz tę, do której zalicza się laktaza.

amylazy, peptydazy, nukleazy, disacharydazy, lipazy

8. U pewnego pacjenta w czasie badania w rozmazie krwi stwierdzono wysoki poziom eozynofiliów.

Dokończ poniższe zdanie i zapisz je w zeszycie.

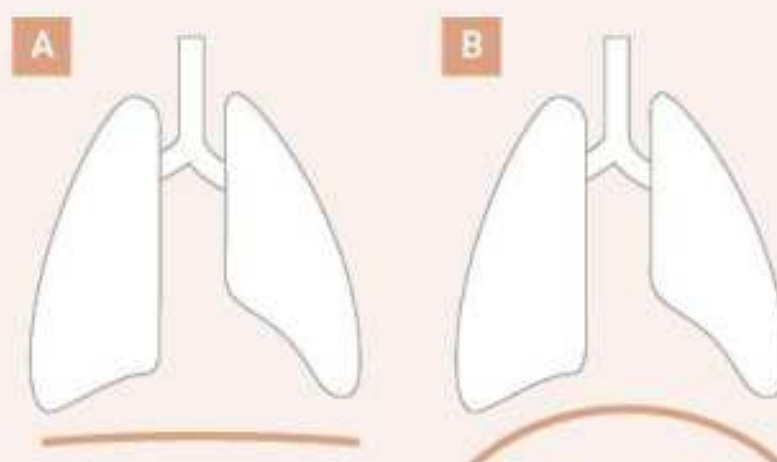
Przyczyną zwiększonego poziomu eozynofiliów jest najczęściej:

- zakażenie pasożytnicze,
- zakażenie wirusowe,
- zakażenie bakteryjne,
- choroba wrzodowa żołądka,

ponieważ ...

9. Na schemacie przedstawiono kształt klatki piersiowej oraz położenie przepony podczas wydechu i wdechu.

Wskaż, który rysunek przedstawia wydech, i uzasadnij odpowiedź.



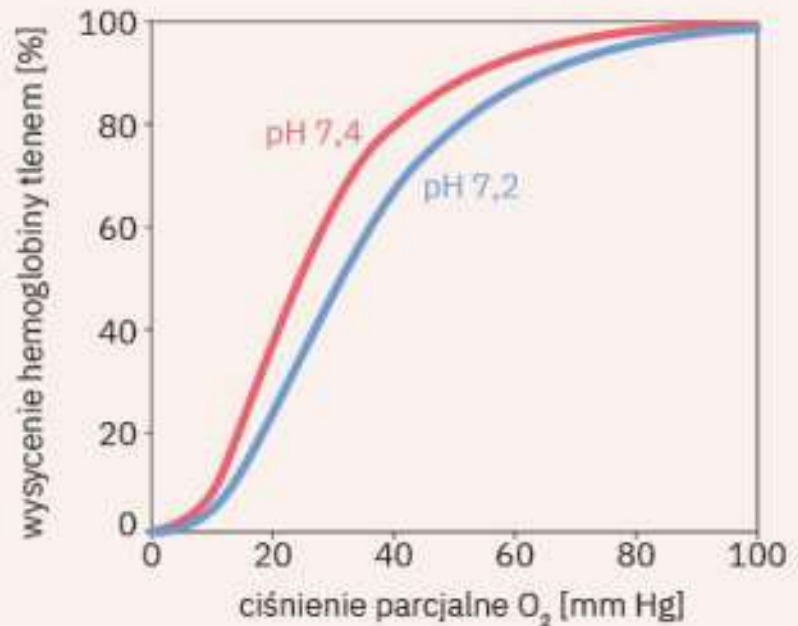


10. Na wykresie przedstawiono krzywe wysycenia hemoglobiny tlenem przy różnym pH osocza krwi człowieka.

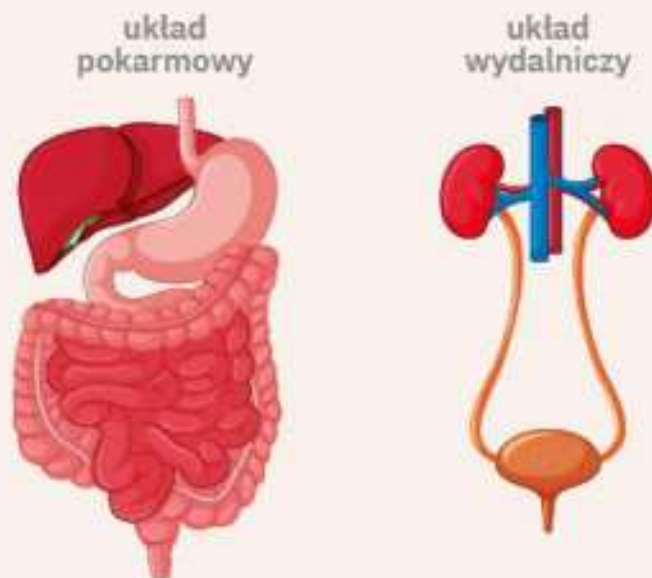
Przedstaw wniosek wynikający z zależności pH i dysocjacji hemoglobiny przedstawionej na wykresie.

11. Ściany poszczególnych części serca człowieka mają różną grubość. Ściana prawej komory ma około 5 mm, a ściana lewej komory ma 15 mm grubości.

Wyjaśnij, dlaczego ściana lewej komory serca jest znacznie grubsza od ściany prawej komory.



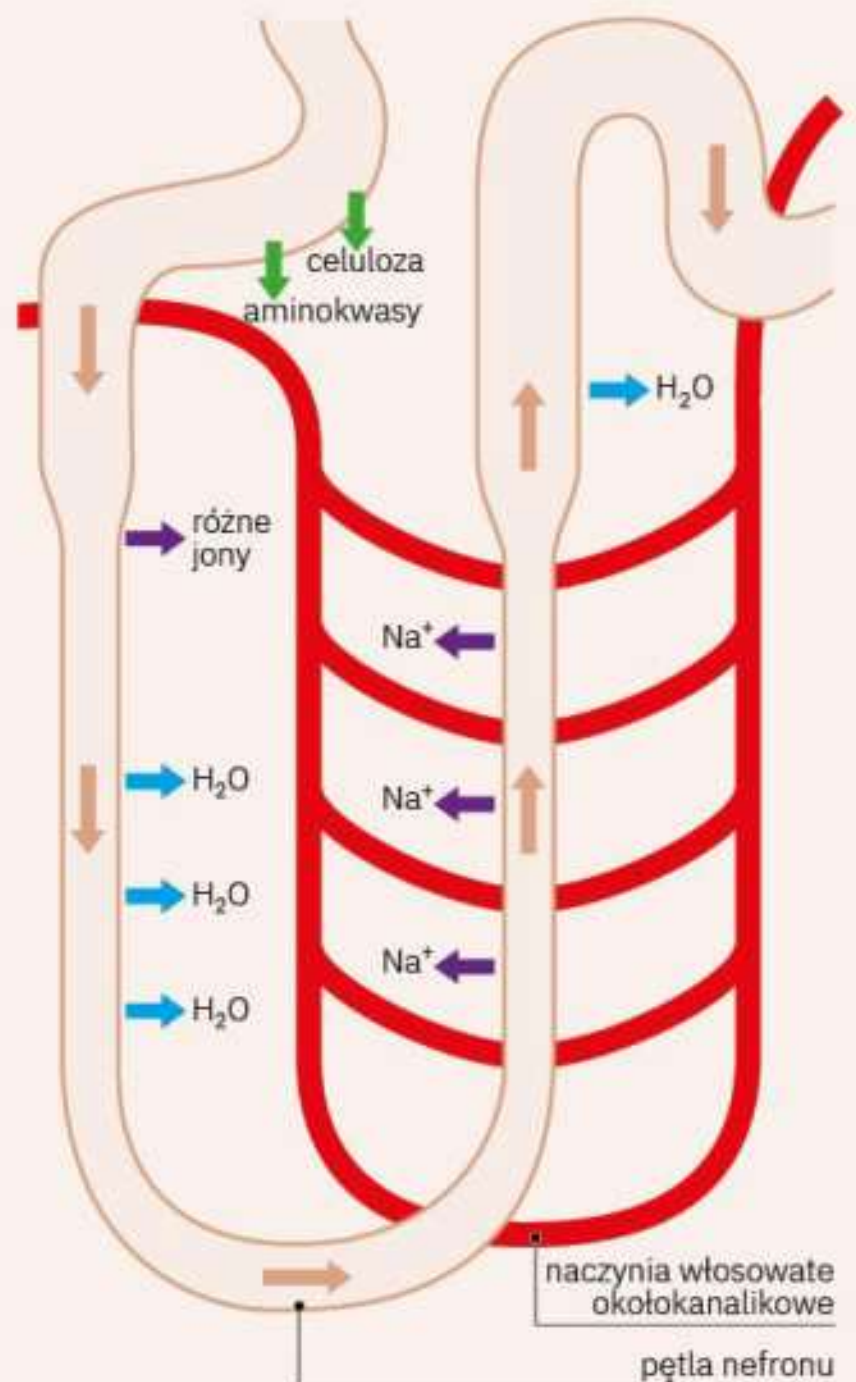
12. Na rysunku przedstawiono schemat układu pokarmowego i wydalniczego.



- a) W którym układzie zachodzi proces defekacji, a w którym wydalania?
b) Wyjaśnij różnicę między pojęciami *defekacja* i *wydalanie*.

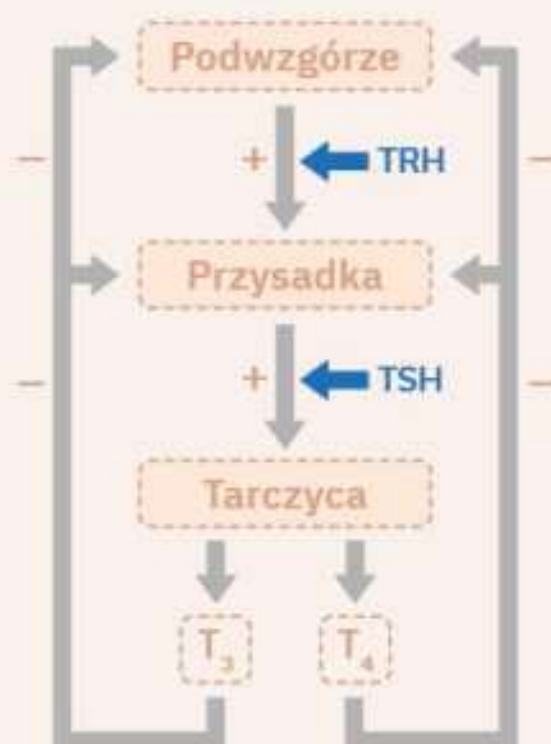
13. Na rysunku przedstawiono pętlę nefronu.

- a) Na podstawie rysunku wyjaśnij, na czym polega mechanizm zagęszczania moczu.
b) Wyjaśnij, jakie znaczenie dla ilości moczu ostatecznego ma jego zagęszczanie w pętli nefronu.



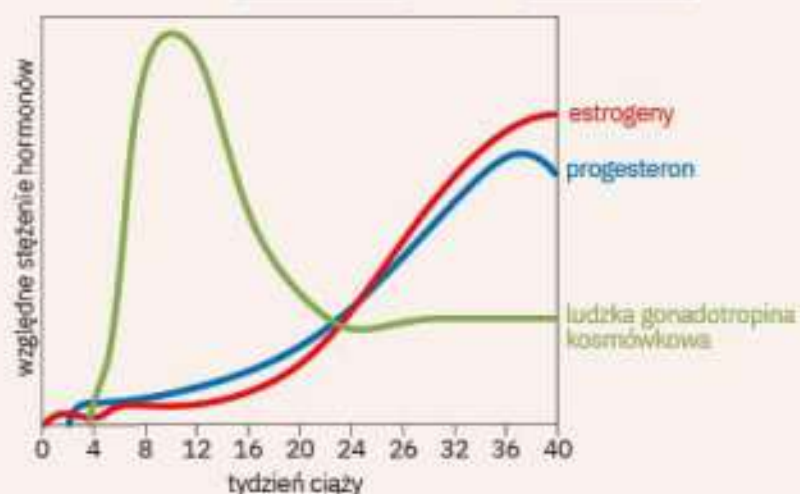


14. Niedoczynność tarczycy jest zaburzeniem, w którym tarczyca produkuje za mało hormonów: trójjodotyroniny (T_3) oraz tyroksyny (T_4). Jednym z objawów niedoczynności tarczycy jest wysoki (ponad normę) poziom hormonu tyreotropowego, w skrócie TSH. Leczenie niedoczynności tarczycy polega na przyjmowaniu leku lewotyroksyny, która ma takie samo działanie jak hormon wytwarzany w tarczycy. Poniższy schemat przedstawia mechanizm ujemnego sprzężenia zwrotnego na osi podwzgórze–przysadka–tarczyca.



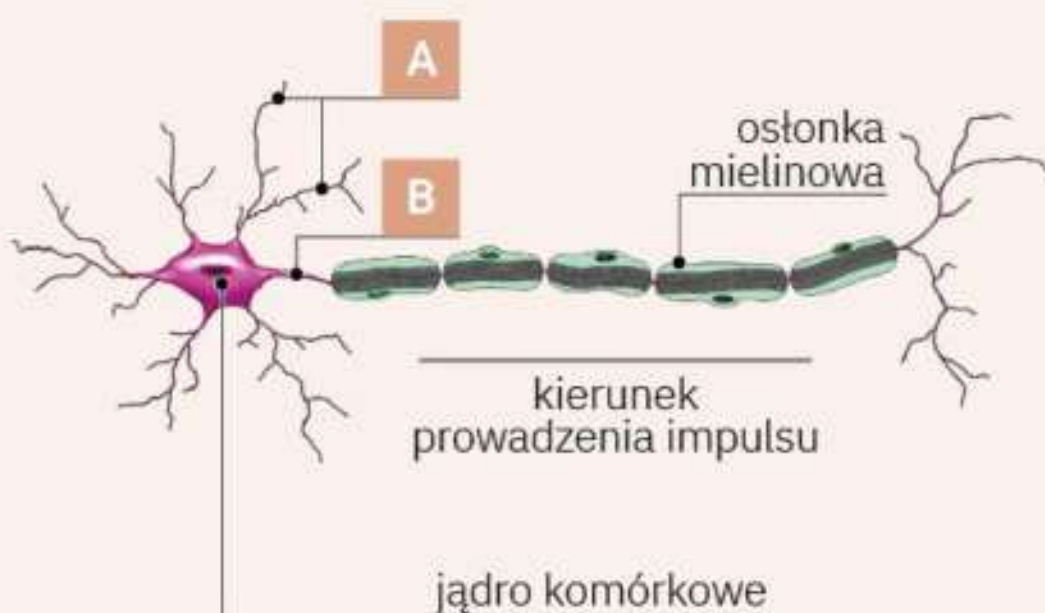
- a) Wyjaśnij związek poziomu TSH z poziomem hormonów tarczycy w przypadku jej niedoczynności.
b) Wytłumacz, dlaczego w celu uregulowania poziomu hormonu przysadkowego TSH stosuje się leczenie lewotyroksyną, czyli odpowiednikiem hormonu tarczycy.

15. Na wykresie przedstawiono zmiany poziomu hormonów w czasie kolejnych tygodni ciąży. Przeanalizuj wykres, a następnie wykonaj polecenia.



- a) Sformułuj wnioski na podstawie danych przedstawionych na rycinie.
b) Podaj po jednym przykładzie znaczenia przedstawionych na wykresie hormonów dla prawidłowego funkcjonowania ciąży.

16. Podaj ustnie nazwy elementów neuronu oznaczonych literami A i B oraz wyjaśnij, jaką funkcję spełnia osłonka mielinowa w przewodzeniu impulsów nerwowych.

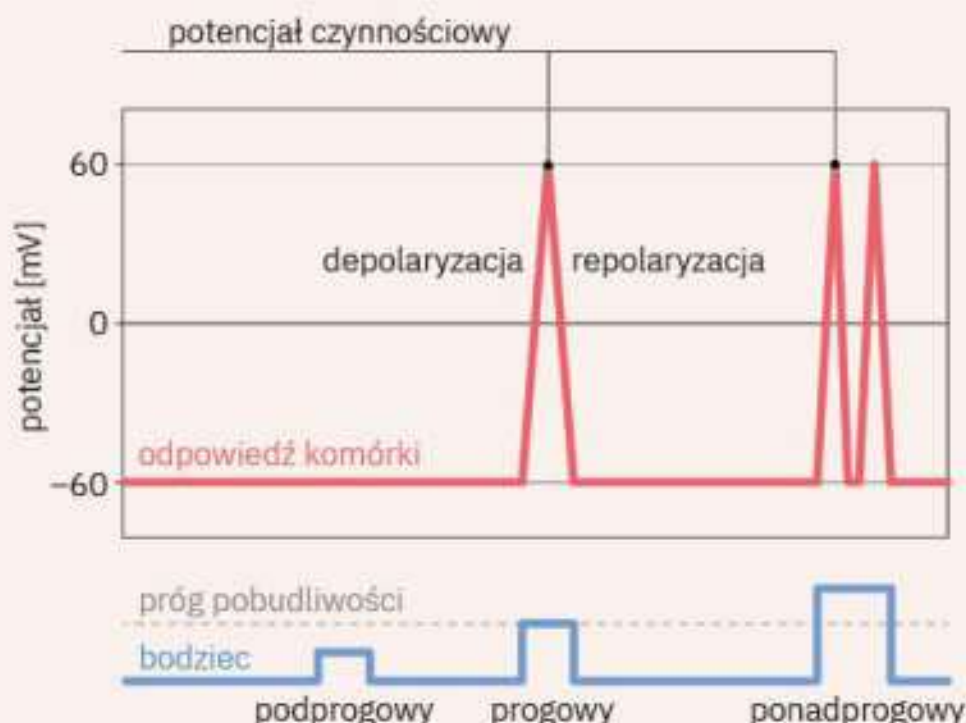


17. Zapisz w zeszycie, jakich rodzajów synaps dotyczą opisy.

- a) Przewodzi impulsy między neuronem a gruczołem.
b) Przewodzi impulsy między aksonem jednego neuronu a dendrytem drugiego neuronu.
c) Przewodzi impulsy nerwowe między neuronem a mięśniem.



18. Na rysunku przedstawiono zmiany potencjału błony neuronu prowadzące do powstania potencjału czynnościowego.



Na podstawie schematu wyjaśnij różnice między bodźcem podprogowym i ponadprogowym.

19. Neurotransmitter uwolniony do szczeliny synaptycznej powoduje zmianę właściwości błony neuronu. Następuje wówczas przechodzenie jonów K^+ z wnętrza neuronu na zewnątrz przy jednoczesnym wnikaniu jonów Cl^- do wnętrza. Prowadzi to do hiperpolaryzacji błony spowodowanej zwiększeniem ujemnego potencjału elektrycznego we wnętrzu komórki.

a) Nazwij rodzaj synapsy opisany w tekście.

b) Wskaż, jakie inne rodzaje synaps uczestniczą w przekazywaniu impulsu nerwowego, oraz podaj różnice między nimi.

c) Wybierz nazwy komórek, które mogą się kontaktować za pomocą synaps.

komórki chłonne, komórki mięśniowe, komórki kostne, komórki tkanki tłuszczowej, erytrocyty, komórki nabłonka wydzielniczego

20. Przyporządkuj w zeszycie części mózgowia do pełnionych przez nie funkcji.

Części mózgowia	Funkcje
a) kresomózgowie	1. Ośrodki podstawowych czynności wegetatywnych organizmu.
b) międzymózgowie	2. Nadzoruje większość czynności fizycznych i umysłowych.
c) śródmózgowie	3. Uczestniczy w odruchach bezwarunkowych.
d) mózdzek	4. Ośrodki głodu, pragnienia i sytości.
e) rdzeń przedłużony	5. Koordynacja postawy ciała i równowagi.
f) rdzeń kręgowy	6. Koordynacja ruchów gałki ocznej.
	7. Steruje pracą mięśni szkieletowych.
	8. Centrum koordynacji nerwowej i hormonalnej.

21. Przerysuj do zeszytu tabelę oraz wpisz do niej nazwy i cechy odruchów wybrane z poniższych.

uczenie się, odruch źreniczny, zatrzymanie się na czerwonym świetle, odruch kolanowy, jazda na rowerze, wydzielanie śliny na widok pokarmu, pisanie na klawiaturze komputera, wrodzone, nabyte, niedziedziczne, dziedziczne, niezmiennie w ciągu życia, zmienne w ciągu życia, ośrodki w korze mózgowej, ośrodki w rdzeniu przedłużonym i kręgowym, pozwalają na dostosowanie się do zmiennych warunków, nie pozwalają na dostosowanie się do zmiennych warunków

Odruchy	
warunkowe	bezwarunkowe



22. Ustal prawidłową kolejność przechodzenia bodźca świetlnego prowadzącego do powstania obrazu na siatkówce.

ciało szkliste, rogówka, soczewka, siatkówka, komora przednia oka, źrenica

23. Przerysuj do zeszytu tabelę według wzoru. Porównaj w niej zmysły węchu i smaku.

Cecha	Zmysł	
	węchu	smaku
Rodzaj receptorów		
Rozmieszczenie receptorów		
Rodzaj bodźca (substancja lotna/stała)		



24. Na rysunku przedstawiono szkielet człowieka, na którym literami A–C oznaczono wybrane połączenia stawowe.

- Wymień nazwy stawów oznaczone literami A, B, C.
- Podaj, który z oznaczonych stawów umożliwia wykonywanie ruchów w wielu płaszczyznach.
- Wskaż, jakie inne połączenia kości występują w szkielecie człowieka.

25. Na rysunku przedstawiono budowę kręgosłupa człowieka.

- Podaj ustnie nazwy zaznaczonych odcinków kręgosłupa.
- Wskaż odcinki, w których występuje kifoza i lordoza fizjologiczna.
- Wyjaśnij znaczenie lordozy i kifozy fizjologicznej dla organizmu człowieka.

26. Kręgosłup człowieka jest zbudowany z kręgów różniących się budową w zależności od odcinka, w którym występują. Na rysunkach przedstawiono budowę kręgu lędźwiowego oraz położenie krążka międzykręgowego między dwoma kręgami lędźwiowymi.

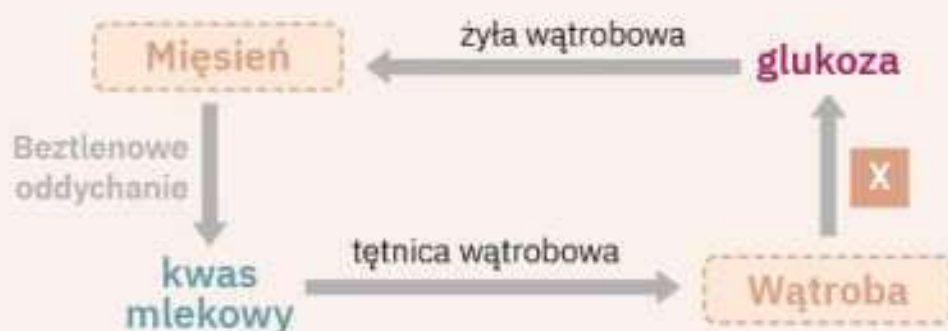


- Wyjaśnij, dlaczego w kręgosłupie najbardziej masywne są kręgi lędźwiowe.
- Podaj znaczenie obecności krążków międzykręgowych między kolejnymi kręgami w kręgosłupie.



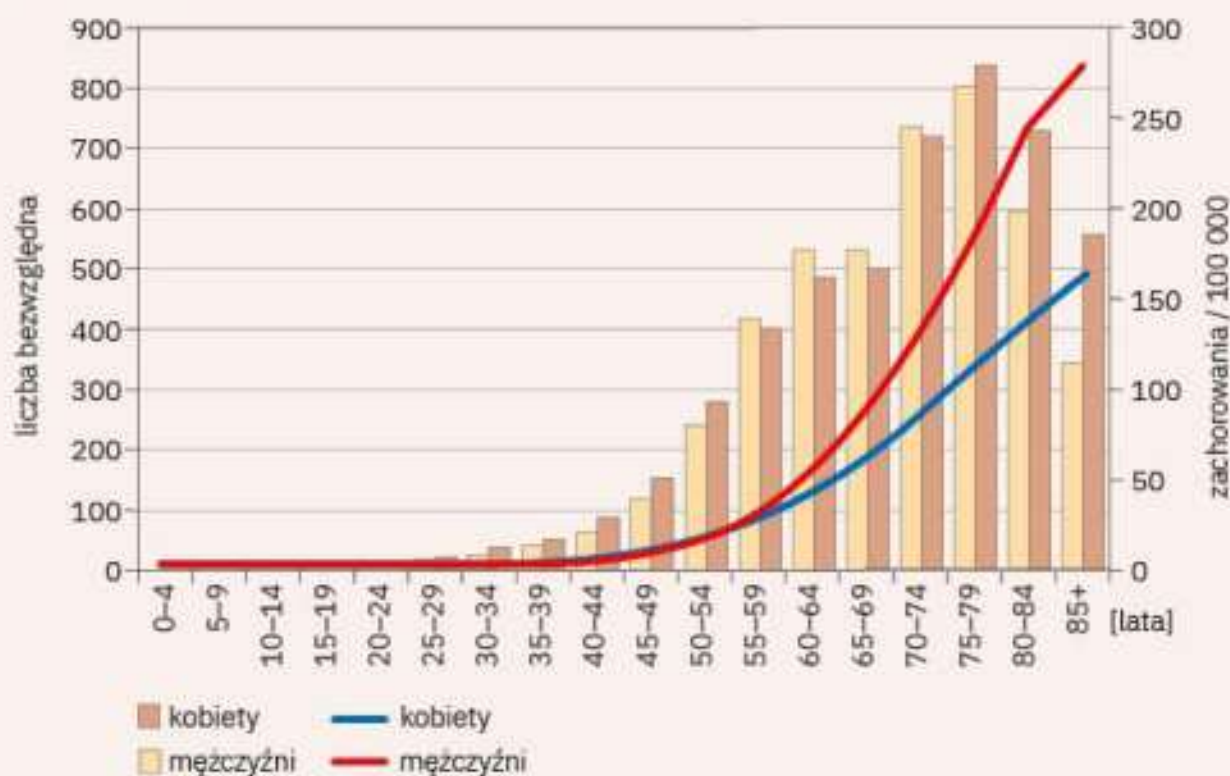


27. Na schemacie przedstawiono przemiany kwasu mlekowego, który powstaje w mięśniach człowieka.



- a) Wyjaśnij znaczenie dla organizmu procesu oznaczonego na schemacie literą X.
b) Podaj rodzaj mięśni, w których dochodzi do powstania kwasu mlekowego.

28. Poniższy wykres przedstawia dane dotyczące zachorowalności na nowotwory skóry w różnych przedziałach wiekowych.



- a) Sformułuj dwa wnioski dotyczące danych zaprezentowanych na wykresie.
b) Podaj pięć zasad, których przestrzeganie może istotnie zmniejszyć ryzyko wystąpienia nowotworu skóry.

29. Pewna pacjentka będąca w trzecim miesiącu ciąży trafiła z bólem zęba do gabinetu stomatologicznego. Po wstępnym wywiadzie lekarz stomatolog stwierdził, że wykonanie zdjęcia RTG w przypadku tej pacjentki nie jest możliwe.

Wyjaśnij, dlaczego kobietom w ciąży nie wolno wykonywać prześwietleń rentgenowskich.



II. Ekspresja informacji genetycznej

- ▶ 1. DNA jako materiał genetyczny
- ▶ 2. Ekspresja informacji genetycznej
- ▶ 3. Translacja – biosynteza białka



1. DNA jako materiał genetyczny

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz kluczowe odkrycia związane z rolą DNA w dziedziczeniu;
- dowiesz się, czym jest podstawowy dogmat biologii molekularnej;
- przeanalizujesz przebieg replikacji;
- poznasz organizację genomu.

odkrycie roli DNA

Choć DNA został odkryty jeszcze w XIX w., jego funkcje poznano dopiero w drugiej połowie XX w. Wcześniej uważano, że materiałem genetycznym są białka. Do poznania fundamentalnej roli DNA w dziedziczeniu przyczyniło się wiele odkryć i eksperymentów, z których kluczowe uwzględniono w **tabeli II.1.1.**

Tab. II.1.1. Najważniejsze odkrycia dotyczące DNA

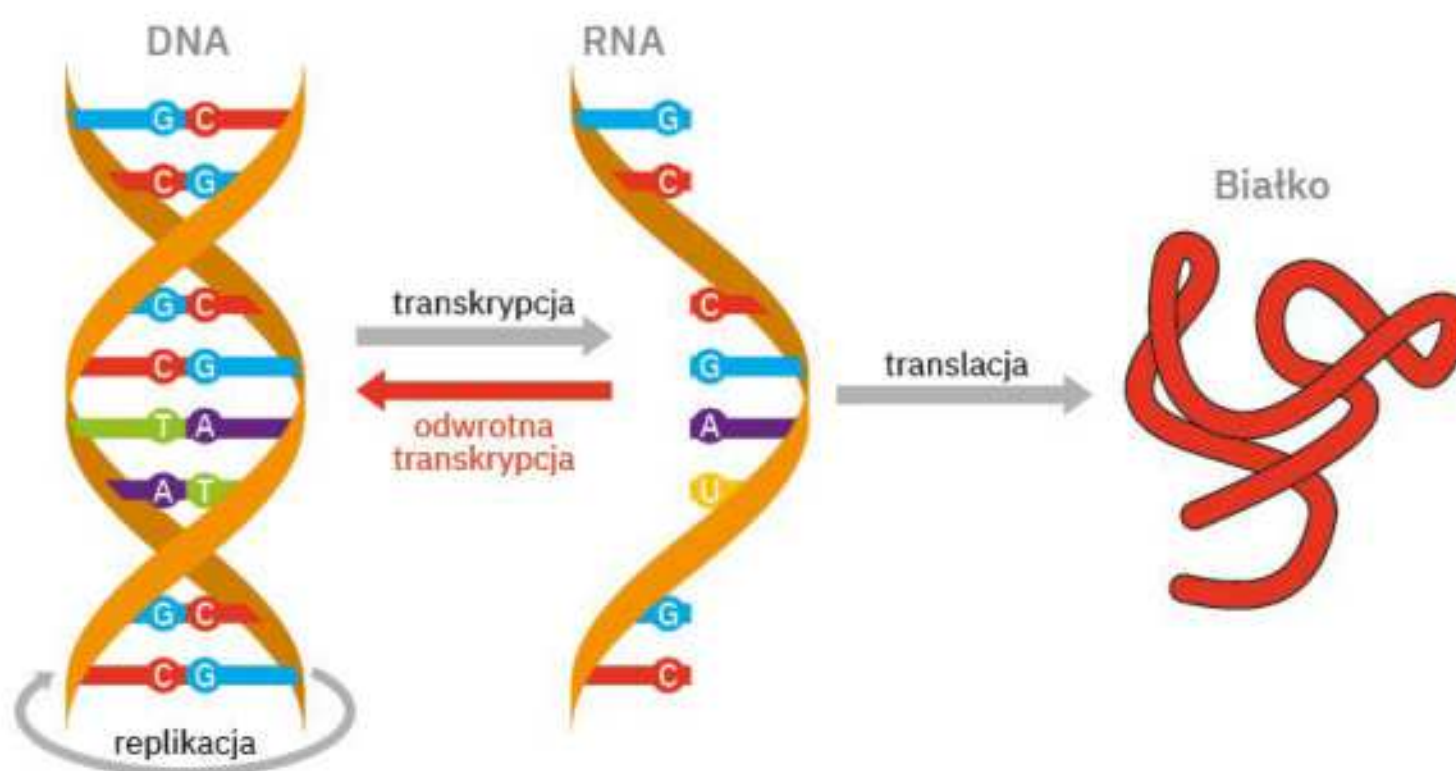
Data	Odkrywca	Odkrycie
1869	Friedrich Miescher (czyt. fridrich miszer)	Odkrył DNA w jądrach komórkowych białych krwinek jako tzw. nukleiny – substancje bogate w fosfor.
1928	Frederick Griffith (czytaj: fredrik grifif)	Odkrył substancję, która przenosi zdolności chorobotwórcze bakterii.
1944	Oswald Avery (czyt. osłold awery), Colin MacLeod (czyt. kolin maklaud) i Maclyn McCarty (czyt. maklin makarti)	Odkryli, że substancją transformującą w eksperymencie Griffitha jest DNA.
1949	Erwin Chargaff (czyt. erlin czargraf)	Sformułował prawo, nazwane prawem Chargaffa, które mówi, że w dwuniciowej cząsteczce DNA liczba puryn jest równa liczbie pirymidyn (liczba adenin jest równa liczbie tymin, a liczba guanin – liczbie cytozyn; $T+C = A+G$ lub $(T+C)/(A+G) = 1$)
1953	James Watson (czyt. dżejms łotson), Francis Crick (czyt. fransis krik), Maurice Wilkins (czyt. moris tilkins)	Praca tych naukowców doprowadziła do opisanie struktury DNA i przedstawienia modelu jego budowy. Odkrycie to w 1962 r. zostało uhonorowane Nagrodą Nobla.
1958	Matthew Meselson (czyt. matju meselson), Franklin Stahl (czyt. franklin stal)	Wykazali, że replikacja DNA jest procesem semi-konserwatywnym (półzachowawczym).
1961	Robert Holley (czyt. holi), Har Gobind Khorana, Marshall Nirenberg	Odkryli zasady kodu genetycznego.
1977	Walter Gilbert (czyt. łolter gilbert), Frederick Sanger (czyt. fredrik senger)	Opracowali metody sekwencjonowania DNA.



Wyjaśnienie struktury DNA przez Watsona i Cricka dało początek biologii molekularnej i genetyce, ale przede wszystkim doprowadziło do zrozumienia przepływu informacji genetycznej. Na bazie tych odkryć dowiedziono, że informacja zawarta w DNA jest najpierw w jądrze komórkowym przepisywana na cząsteczkę informacyjnego RNA (mRNA), a dopiero mRNA w cytoplazmie służy jako wzór do tworzenia sekwencji aminokwasowej białka. Droga przepływu informacji od DNA przez RNA do białka została nazwana **podstawowym dogmatem biologii molekularnej** (ryc. II.1.2.). Każdy etap na tej drodze ma swoją własną nazwę. Proces tworzenia wiernej kopii DNA z wyjściowego DNA nazywa się **replikacją**. Proces kopiowania DNA w celu wytworzenia cząsteczki informacyjnego RNA to **transkrypcja**. Natomiast proces przekształcenia informacji zapisanej w „języku” nukleotydów mRNA na język aminokwasów nosi nazwę **translacji** (od ang. *translate* – tłumaczyć). Dodatkowym procesem jest odwrotna transkrypcja, czyli wytwarzanie jednoniciowej kopii DNA na bazie cząsteczki RNA, przeprowadzana przez enzym – odwrotną transkryptazę.



Ryc. II.1.1. Frederick Sanger – dwukrotny laureat Nagrody Nobla (1958, 1980) wraz ze współpracownikami opracował metodę sekwencjonowania DNA (z ang. *The Sanger Sequencing Method*, czytając: de senger sektensin metod), którą wykorzystywano w początkowych etapach programu Poznania Genomu Ludzkiego.



Ryc. II.1.2. Podstawowy dogmat biologii molekularnej opisuje drogę przepływu informacji genetycznej: od DNA przez RNA do białka.

Replikacja DNA

replikacja DNA

Replikacja DNA to proces jego **kopiowania**, który zachodzi w fazie S cyklu komórkowego. W procesie tym uczestniczą kilkanaście enzymów i białek. Podstawą



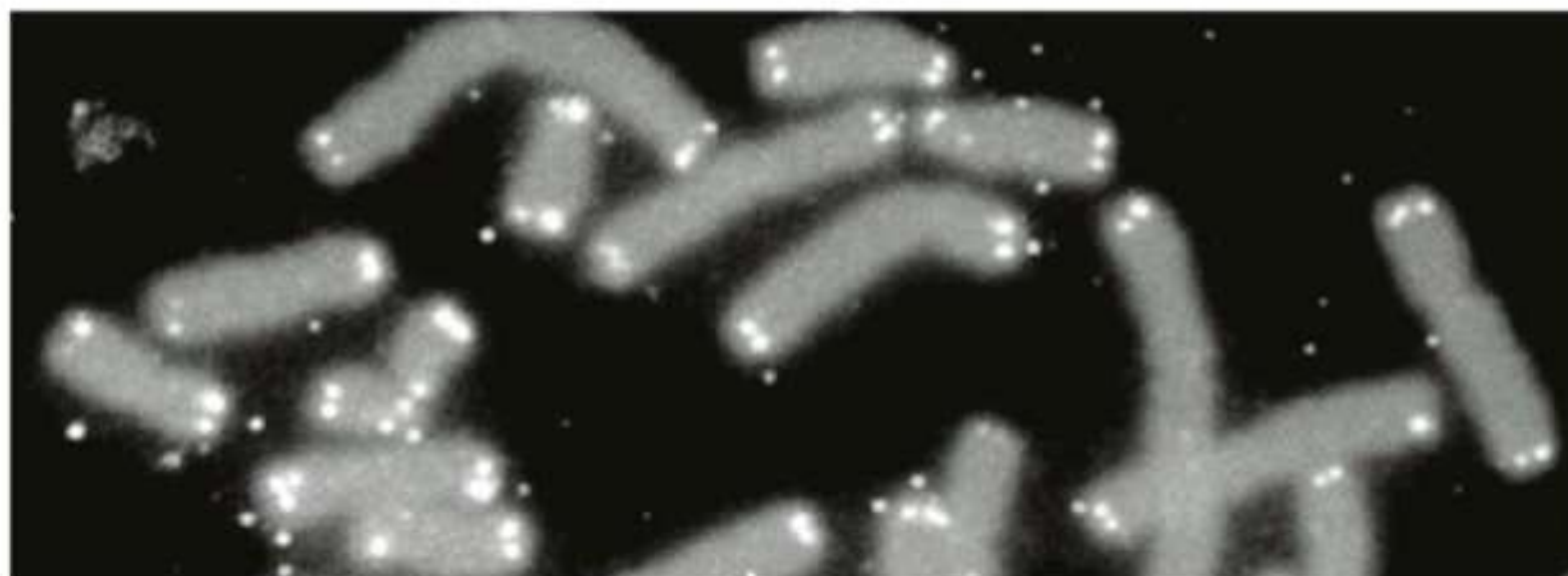
widelki
replikacyjne

proces semi-
konserwatywny

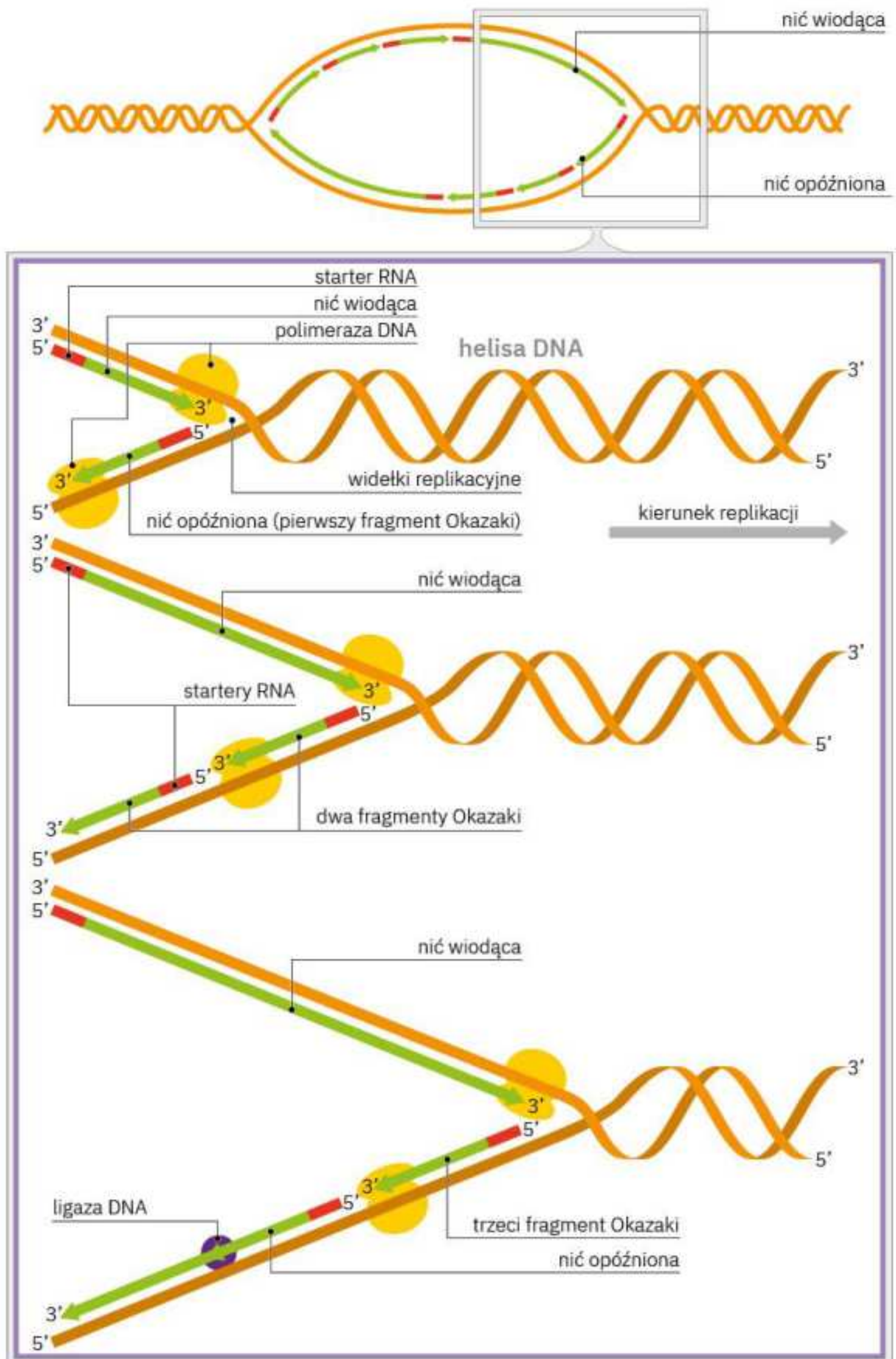
telomery

replikacji jest komplementarność zasad azotowych w powstającej dwuniciowej cząsteczce DNA. Replikacja cząsteczki DNA rozpoczyna się w specyficznych miejscach zwanych **miejscami inicjacji replikacji** lub **ori**. Są one wyznaczone przez określoną sekwencję nukleotydów, która jest rozpoznawana przez białka i przez nie „znakowana” w wyniku przyłączenia się do nich. Zadaniem tych białek jest rozplecenie nici DNA na pewnym odcinku i ułatwienie rozpoczęcia replikacji. W wyniku tego tworzą się **widelki replikacyjne**, czyli obszar w kształcie litery Y (**ryc. II.1.4.**). Do rozpoczęcia syntezy nowej nici DNA potrzeba krótkiego odcinka RNA zwanego **starterem**. Starter jest komplementarny do nici DNA, a za jego syntezę odpowiada enzym zwany **prymazą**. Dopiero do startera enzym **polimeraza DNA** dobudowuje nukleotydy nowej nici komplementarne do starej nici matrycowej DNA. Nowa nić DNA jest syntetyzowana w kierunku $5' \rightarrow 3'$. Replikacja przebiega równocześnie na obu niciach. Ze względu na to, że nici w helisie DNA są ułożone w stosunku do siebie przeciwległe, replikacja na jednej nici przebiega w sposób ciągły (**nić wiodąca**), a na drugiej nowa nić jest syntetyzowana w postaci krótkich fragmentów (**nić opóźniona**) zwanych fragmentami Okazaki (**ryc. II.1.4.**). Po ich utworzeniu enzymy – ligazy DNA – łączą je w ciągłą nić DNA. Utworzone w wyniku replikacji potomne cząsteczki DNA zawierają jedną starą nić pochodzącą z cząsteczki macierzystej i jedną nową. Dlatego o procesie replikacji mówimy, że jest **semikonserwatywny (półzachowawczy)**.

Zasadniczy mechanizm replikacji jest taki sam u organizmów prokariotycznych i eukariotycznych. Różnica dotyczy replikacji końców cząsteczek DNA. U bakterii cząsteczka DNA ma postać kolistą, więc jest pozbawiona końców. U eukariontów DNA jest liniowy, a powtarzające się cykle replikacyjne prowadzą do skracania się cząsteczki. Aby proces skracania nie zachodził zbyt szybko, końce chromosomów są chronione przez odcinki zwane **telomerami** (**ryc. II.1.4.**). Telomery nie zawierają genów. Ich rola polega na ochronie odcinków chromosomów zawierających geny i opóźnieniu skracania się chromosomów. Wraz z wiekiem telomery także ulegają skróceniu, a niektóre teorie wskazują, że szybkość ich skracania leży u podstaw starzenia się organizmu. Wyjątkiem w organizmie człowieka są pierwotne komórki płciowe, z których powstają gamety. W komórkach tych enzym zwany telomerazą dobudowuje maksymalną długość telomerów. W pozostałych komórkach aktywność telomerazy spada wraz z wiekiem.



Ryc. II.1.3. Telomery (białe) znajdują się na końcach chromosomów człowieka.



Ryc. II.1.4. Przebieg replikacji DNA i struktura widełek replikacyjnych.



Gen a genom

genom

Informacja biologiczna konieczna do życia wszystkich organizmów znajduje się w ich **genomie**. Badaniem całego genomu organizmów zajmuje się dziedzina nauki zwana **genomiką**. Większość genomów, w tym genom człowieka, jest zbudowana z DNA (**tab. II.1.2.**). Niektóre wirusy, czyli bezkomórkowe formy życia, mają genomy zbudowane z RNA. Genomy znanych gatunków mają różną strukturę: genom eukariontów tworzą dwuniciowe, liniowe cząsteczki DNA, u bakterii genom ma postać dwuniciowej kolistej cząsteczki, a z kolei u bakteriofagów genom DNA ma formę cząsteczki jednoniciowej kolistej lub liniowej dwuniciowej. Wielkość cząsteczek dwuniciowego DNA zazwyczaj określa się, podając liczbę par zasad (pz) na cząsteczkę.

Tab. II.1.2. Różnorodność genomów zbudowanych z DNA wybranych gatunków

Gatunek	Liczba par zasad [pz*]	Długość DNA [mm]	liczba chromosomów (1n)
bakteriofag lambda	$4,85 \times 10^4$	0,017	1
pałeczka okrężnicy <i>Escherichia coli</i> (czyt. koli, bakteria)	$4,7 \times 10^6$	1,4	1
drożdże piekarskie <i>Saccharomyces cerevisiae</i> (czyt. sakkaromyces cerewizje, grzyb)	$1,25 \times 10^7$	4,6	16
muszka owocowa <i>Drosophila</i> (czyt. drosofiła) <i>melanogaster</i>	$1,65 \times 10^8$	56	4
człowiek	$3,2 \times 10^9$	999,0	23

*pz – para zasad – liczba par zasad jest liczbą nukleotydów składających się na oba łańcuchy kwasu nukleinowego; służy do określania długości kwasów nukleinowych.

genom człowieka

Genom człowieka składa się z dwóch oddzielnych części:

- **genomu jądrowego**, zbudowanego z DNA obecnego w 24 chromosomach: 22 autosomach i 2 chromosomach płci X i X lub X i Y; każdy z chromosomów jest pojedynczą liniową cząsteczką DNA związaną z białkami i nazwaną **chromatyną**;
- **genomu mitochondrialnego**, który jest kolistą cząsteczką DNA zlokalizowaną w mitochondriach.

Każda komórka ciała dorosłego człowieka ma swoją własną kopię genomu. Komórki diploidalne mają dwie kopie każdego autosomu plus dwa chromosomy płci (XX u kobiet i XY u mężczyzn), łącznie 46 chromosomów. Komórki haploidalne, czyli gamety, mają 23 chromosomy (22 autosomy i jeden chromosom płci). Oba typy komórek zawierają wiele kopii genomu mitochondrialnego (w każdym mitochondrium jest ich ok. 10).

geny

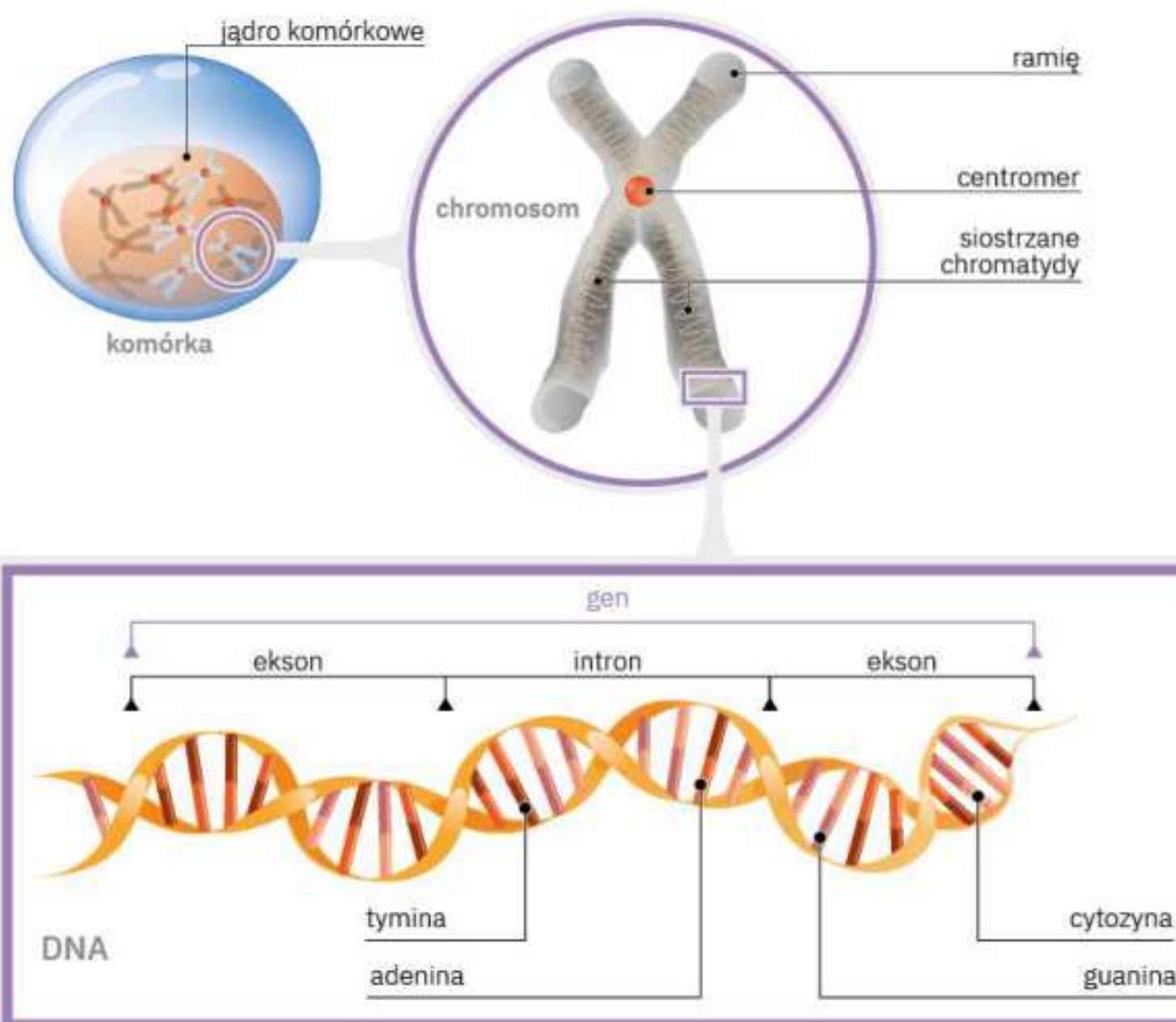
ekspresja genów

Genom zawiera **geny**, czyli odcinki nukleotydów DNA zawierające informację potrzebną do utworzenia cząsteczki RNA, a następnie białka. **Ekspresja genu** oznacza proces, w którym informacja zawarta w DNA jest przekształcana w RNA, a po-



tem w białko. Warto zaznaczyć, że niektóre regiony DNA ulegają ekspresji tylko do cząsteczek RNA (m.in. rRNA, tRNA), co oznacza, że ma miejsce transkrypcja, a nie zachodzi translacja. Szacuje się, że liczba genów człowieka wynosi około 20 000. Liczbę genów u innych organizmów przedstawiono w **tabeli II.1.3**. Geny organizmów eukariotycznych składają się z rejonów nukleotydów, które nie kodują białka i nie ulegają translacji, nazwanych **intronami**, oraz z rejonów kodujących, czyli **eksonów**. Rejony niekodujące i kodujące występują naprzemiennie (**ryc. II.1.5**). Analiza odczytanych do tej pory genomów licznych organizmów eukariotycznych wykazała, że przeważająca część DNA jądrowego nie koduje białek. U człowieka odsetek sekwencji kodujących białka wynosi ok. 1%. Reszta DNA składa się z rejonów regulatorowych, sekwencji powtarzalnych (np. w rejonie centromerów i telomerów chromosomów) oraz znacznej części sekwencji niekodujących o nieznanej dotąd funkcji.

introny i eksony



Ryc. II.1.5. Gen to odcinek DNA. U organizmów eukariotycznych geny zawierają naprzemiennie ułożone odcinki kodujące (eksony) oraz niekodujące (introny).



Tab. II.1.3. Rozmiar genomów i liczba genów kodujących białka u wybranych gatunków

Gatunek	Wielkość genomu [pz]	Przewidywana liczba genów
drożdże piekarskie <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	12 milionów	6 000
zarodziec malarii <i>Plasmodium falciparum</i>	23 miliony	5 000
nicień <i>Caenorhabditis</i> (czyt. cenorabditis) <i>elegans</i>	95,5 miliona	18 000
muszka owocowa <i>Drosophila melanogaster</i>	170 milionów	14 000
rzodkiewnik pospolity <i>Arabidopsis thaliana</i>	125 milionów	25 000
ryż siewny <i>Oryza sativa</i>	470 milionów	51 000
kura domowa <i>Gallus gallus</i>	1 miliard	20 000–23 000
pies domowy <i>Canis familiaris</i>	2,4 miliarda	19 000
mysz domowa <i>Mus musculus</i>	2,5 miliarda	25 000
człowiek <i>Homo sapiens</i>	2,9 miliarda	20 000

Sekwencjonowanie genomów

sekwencjonowanie

Pod koniec lat 70. XX w. opracowano skuteczną metodę, która pozwoliła na odczytywanie kolejności nukleotydów DNA i zapisanej tam informacji, czyli **sekwencjonowanie**. Początkowo sekwencjonowano pojedyncze geny, a następnie całe genomy. W 1981 r. podano pełną sekwencję genomu mitochondrialnego człowieka (ok. 16,5 tys. pz, 37 genów). Następnie w 1985 r. uruchomiono wsparty przez rząd Stanów Zjednoczonych Program Poznania Genomu Ludzkiego (Human Genome Project, czytaj: hhuman dżinom prodżekt; <https://www.genome.gov/human-genome-project>). W jego ramach podjęto

pracę nad zsekwencjonowaniem genomu jądrowego człowieka. Przy udziale firm prywatnych (m.in. Celera Genomics, czytaj: selera dżenomiks) w 2001 r. rozszyfrowano genom człowieka. Jednak już wcześniej, bo w 1995 r., opublikowano pierwsze sekwencje całych genomów innych organizmów – na początku były to mykoplazmy i bakterie. W 1998 r. opublikowano sekwencję pierwszego organizmu eukariotycznego – drożdży. Obecnie dzięki udoskonaleniu metody sekwencjonowania, miniaturyzacji urządzeń do sekwencjonowania, czyli **sekwenatorów** (ryc. II.1.6.), osiągnięciom **bioinformatyki**, a przede wszystkim obniżeniu kosztów tych analiz poznano kilkadziesiąt genomów organizmów należących do wszystkich domen życia.

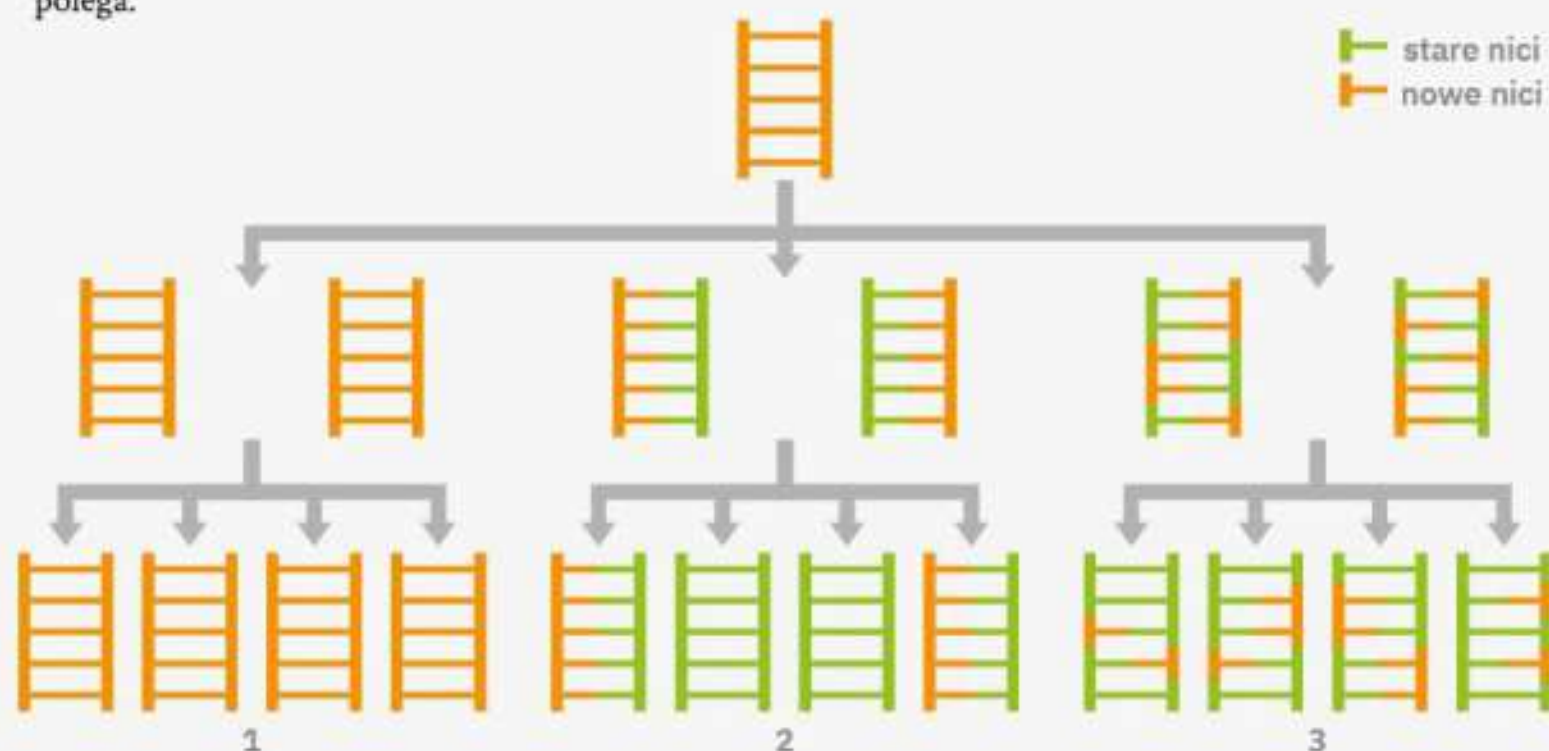


Ryc. II.1.6. Sekwenator służy do analizy kolejności nukleotydów w DNA.



ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

- Wyjaśnij, co oznacza podstawowy dogmat biologii molekularnej. Nazwij procesy będące jego składowymi.
- Przepisz do zeszytu zapis zgodny z regułą Chargraffa. Uzasadnij swój wybór.
 - $T = A$
 - $(A+C)/(T+G) = 2$
 - $T+C = A+G$
 - $(T+C)/(A+G) = 0,5$
- Na którym rysunku przedstawiono replikację semikonserwatywną? Wyjaśnij ustnie, na czym ona polega.



- Wyjaśnij rolę wymienionych poniżej elementów w replikacji DNA.
 - widelki replikacyjne
 - polimeraza DNA
 - fragmenty Okazaki
 - nić wiodąca
- Przeczytaj poniższy tekst, a następnie wykonaj polecenia.

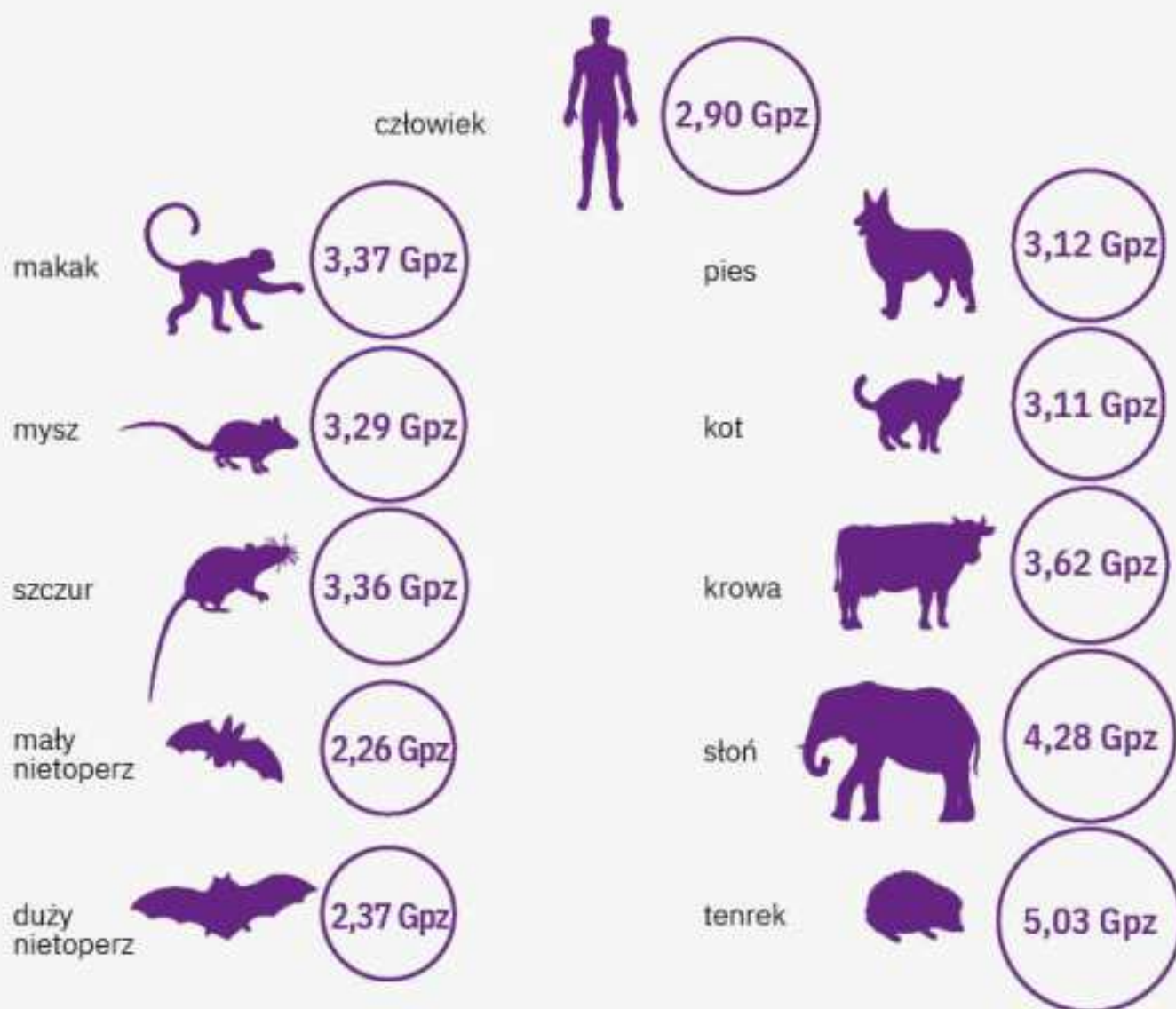
Naukowcy z Uniwersytetu w Lipsku porównywali wpływ trzech rodzajów treningu – wytrzymałościowego, siłowego oraz interwałowego o wysokiej intensywności – na starzenie się komórek, którego wyznacznikiem jest długość telomerów. Okazało się, że zarówno trening wytrzymałościowy, jak i interwałowy o wysokiej intensywności spowalniały proces starzenia się na poziomie komórkowym. Podobnego działania nie zaobserwowano w przypadku treningu siłowego. Trening odbywał się trzy razy w tygodniu i trwał 45 minut. W momencie rozpoczęcia badań, a także po zakończeniu półrocznego programu treningowego naukowcy pobierali krew we wszystkich grupach w celu zbadania długości telomerów oraz poziomu aktywności telomerazy. Stwierdzili wówczas, że u osób uczestniczących w treningu wytrzymałościowym i interwałowym długość telomerów zwiększyła się, a poziom telomerazy wzrósł 2-, a nawet 3-krotnie.

Źródło: <http://link.operon.pl/n7436e> (dostęp: 10.10.2020)

- Wyjaśnij, co to są telomery i jaki udział w ich wydłużaniu ma enzym telomeraza.
- Podaj wniosek wypływający z opisanego eksperymentu.



6. Na schemacie zaprezentowano wielkość genomów (podanych w miliardach par zasad; Gpz) wybranych ssaków. Przeanalizuj te informacje i sformułuj wnioski.



7. W dostępnych źródłach znajdź informacje na temat wkładu Rosalind Franklin w odkrycie struktury DNA. Sporządź notatkę w zeszycie.
8. Wykonaj doświadczenie opisane na stronie 404 podręcznika.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- s. 242 Do zrozumienia roli DNA przyczyniło się **wiele odkryć**, m.in. rozwiązanie jego struktury przez Watsona i Cricka w 1953 r.
- s. 243 Proces kopiowania DNA nazywa się **replikacją**, proces syntezy mRNA na matrycy DNA – **transkrypcją**, a proces syntezy białka – **translacją**.
- s. 243 **Replikacja DNA** to proces jego kopiowania, który rozpoczyna się w miejscach *ori* od wstawienia krótkiego odcinka RNA zwanego starterem.
- s. 244 W czasie replikacji DNA ulega lokalnemu rozpleceniu, tworząc **widelki replikacyjne**. Jedna nić, zwana wiodącą, jest syntetyzowana w sposób ciągły, a druga – nić opóźniona – w postaci fragmentów Okazaki.
- s. 244 Replikacja jest **procesem semikonserwatywnym**, ponieważ w potomnych cząsteczkach DNA jedna nić jest nowa, a druga – stara.



Telomery stanowią ochronę końców chromosomów i ulegają skróceniu wraz z wiekiem.

s. 244

Informacja biologiczna każdego organizmu jest zapisana w **genomie** zbudowanym z DNA (u większości organizmów) lub RNA (u niektórych wirusów).

s. 246

Genom człowieka składa się z genomu jądrowego w postaci 46 chromosomów oraz genomu mitochondrialnego.

s. 246

Genom zawiera **geny**, czyli odcinki DNA niosące informację o budowie białek. W ludzkim genomie znajduje się ok. 20 000 genów, które stanowią około 1% całkowitego DNA.

s. 246

Geny ulegają **ekspresji**, czyli przekształceniu informacji zawartej w DNA na RNA, a następnie na białko.

s. 246

Geny organizmów eukariotycznych składają się z **intronów** (odcinków niekodujących białek) oraz **eksonów** (odcinków kodujących).

s. 247

Sekwencjonowanie genomów to odczytywanie kolejności nukleotydów DNA i obszar działania dziedziny nauki zwanej genomiką.

s. 248

2. Ekspresja informacji genetycznej

NA TEJ LEKCJI:

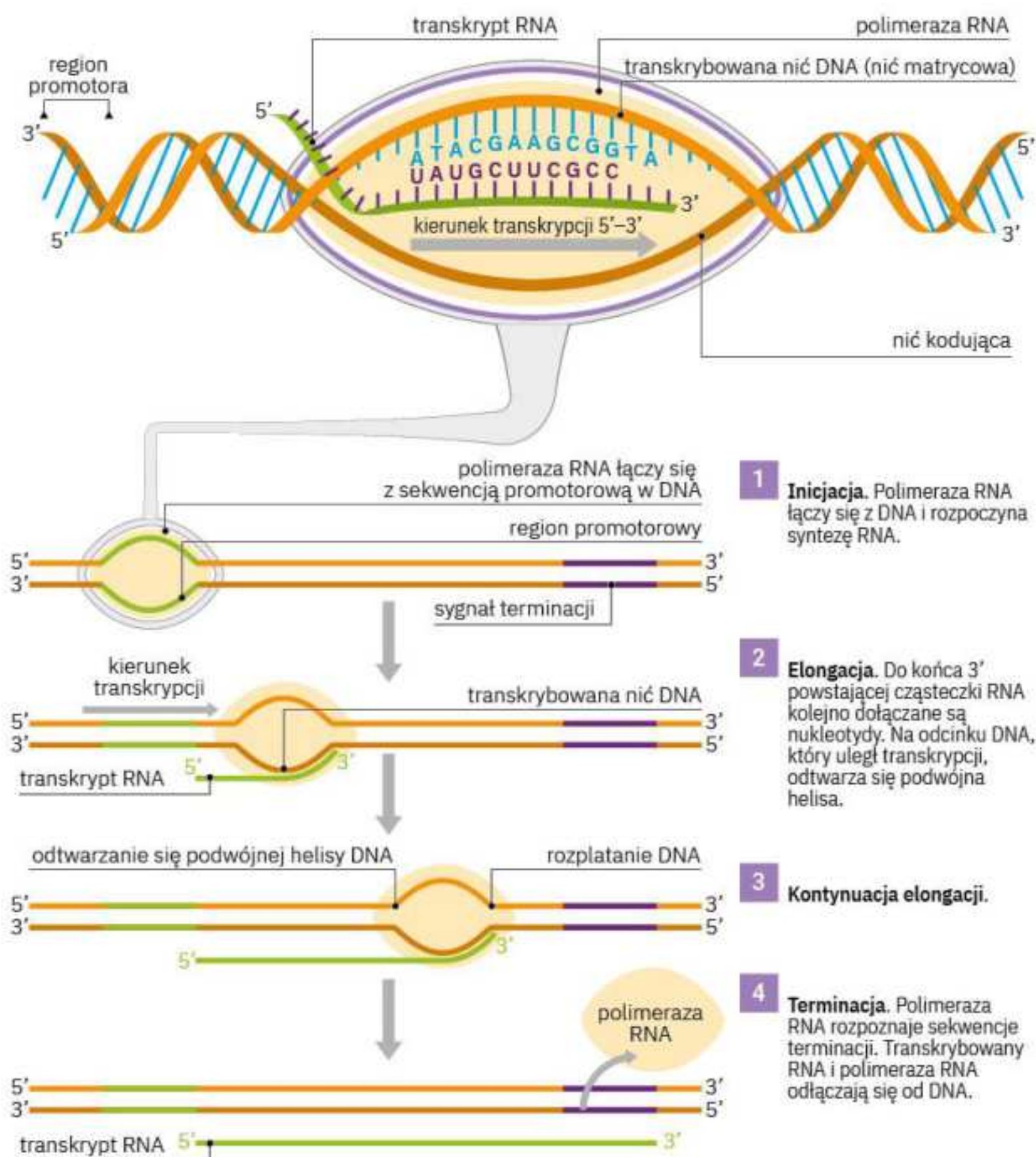
- poznasz przebieg i znaczenie transkrypcji;
- dowiesz się, na czym polega proces dojrzewania RNA;
- uzyskasz informacje na temat kodu genetycznego.

Transkrypcja – synteza RNA na matrycy DNA

Transkrypcja to proces syntezy RNA na bazie DNA. Produktem transkrypcji genów kodujących białka jest cząsteczka RNA zwana **informacyjnym RNA (mRNA)**, która jest kopią genu i zawiera „instrukcję” przepisaną z DNA, służącą do budowy białka. Należy podkreślić, że dla każdego genu transkrypcji ulega tylko jedna z nici DNA, nazwana **nicia matrycową**. Jeśli weźmiemy pod uwagę liczbę i rozmieszczenie genów w genomie człowieka, to pojawia się pytanie – skąd wiadomo, który gen ma ulec ekspresji i w którym miejscu ma się ona rozpocząć, tak aby powstało to właśnie mRNA? Miejsce rozpoczęcia transkrypcji na nici DNA nazywa się **promotorem** i jest dokładnie „oznakowane” przez określone sekwencje nukleotydów. Proces transkrypcji obejmuje trzy etapy: inicjację, elongację oraz terminację (por. s. 253). Kluczową rolę w transkrypcji u organizmów eukariotycznych odgrywa enzym **polimeraza II RNA** (ryc. II.2.1.).

transkrypcja

promotor



Ryc. II.2.1. Przebieg transkrypcji.

zasada komplementarności

Inicjacja transkrypcji polega na związaniu się polimerazy II RNA z promotorem, rozpleceniu nici DNA i rozpoczęciu syntezy RNA na **zasadzie komplementarności** do matrycowej nici DNA, z uwzględnieniem tego, że odpowiednikiem tyminy (T) w RNA jest uracyl (U), i to on tworzy parę z adeniną (U-A), a guanina z cytozyną (G-C) (ryc. II.2.1.). U organizmów eukariotycznych w inicjacji transkrypcji i wiąz-



niu polimerazy II RNA biorą także udział białka zwane **czynnikami transkrypcyjnymi**. Cały kompleks związanych z promotorem czynników transkrypcyjnych oraz polimerazy II RNA nazywamy **transkrypcyjnym kompleksem inicjującym**.

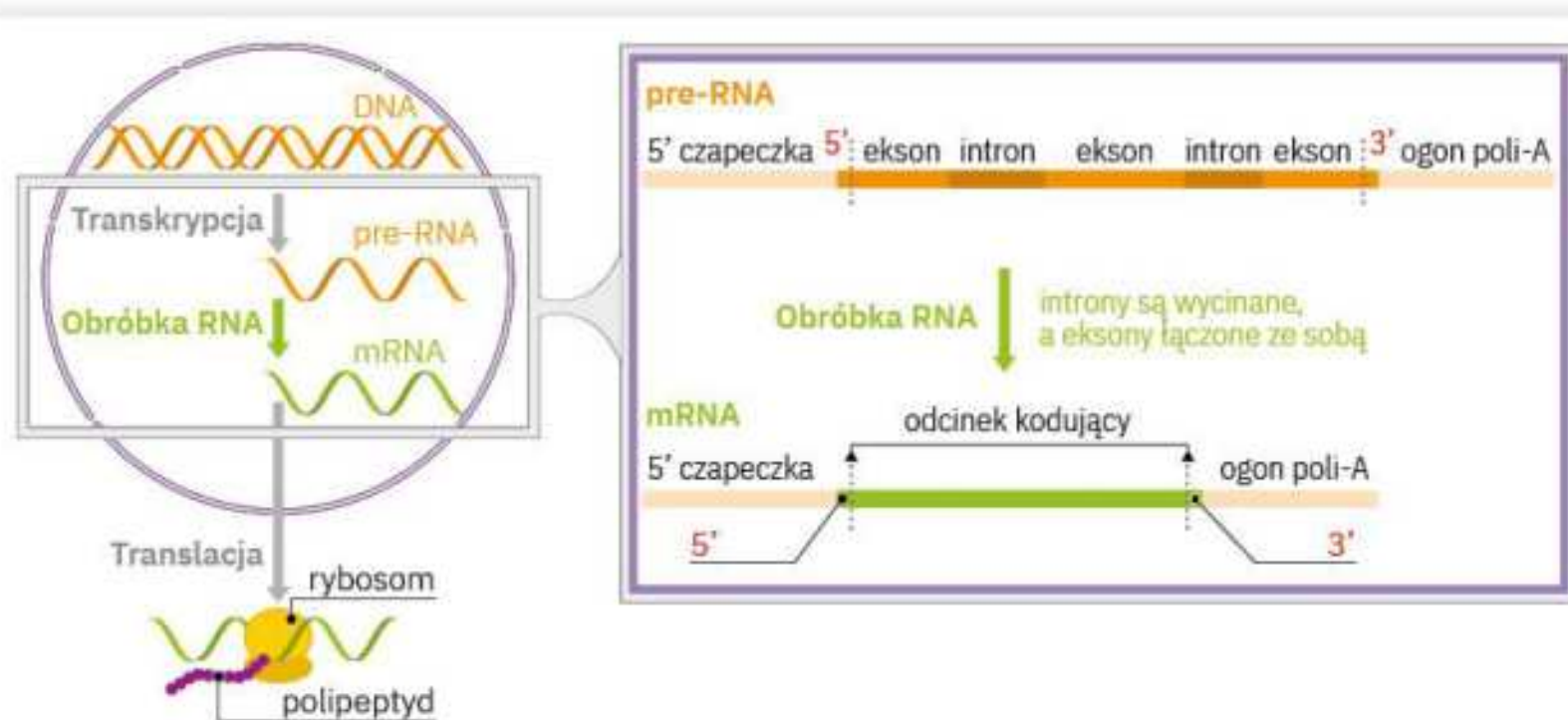
Elongacja transkrypcji polega na przesuwaniu się polimerazy II RNA wzdłuż nici DNA, rozplataniu kolejnych jej odcinków i dobudowywaniu komplementarnych nukleotydów do nowo syntetyzowanej cząsteczki RNA (**ryc. II.2.2.**). Po ukończeniu transkrypcji w danym miejscu nici DNA splatają się z powrotem.

Terminacja transkrypcji polega najpierw na odłączeniu nowo utworzonej cząsteczki RNA, a następnie na uwolnieniu polimerazy II RNA. Sygnałem do jej zakończenia są także specyficzne sekwencje nukleotydowe (AAUAAA).

terminacja
transkrypcji

Nowo powstałą cząsteczkę mRNA nazywamy **transkryptem**. U bakterii transkrypt od razu jest wykorzystywany do translacji, natomiast u eukariontów produktem transkrypcji jest cząsteczka zwana **pierwotnym transkryptem** lub **pre-mRNA**. Zanim pre-mRNA dotrze do cytoplazmy, enzymy w jądrze komórkowym przeprowadzają jej modyfikacje zwane **dojrzwaniem RNA**. Dojrzwienie RNA polega na modyfikacji jej końców 3' i 5' oraz wycinaniu intronów. Na końcu 5' dodawana jest **czapeczka 5'**, którą stanowi zmodyfikowany nukleotyd G. Z kolei na końcu 3' jest dołączany odcinek 50–250 nukleotydów adeninowych (A) zwany ogonem poli-A. Modyfikacje końców mają ułatwić eksport mRNA do cytoplazmy, zapewnić ochronę cząsteczki przed enzymami hydrolitycznymi i umożliwić przyłączenie się do niej rybosomów. Ponieważ syntetyzując nową cząsteczkę RNA, polimeraza II RNA przepisuje z DNA zarówno eksony, jak i introny, przed opuszczeniem jądra z pre-mRNA muszą zostać usunięte odcinki niekodujące. Z udziałem kompleksu enzymatyczno-rybonukleinowego introny są wycinane, a eksony łączone ze sobą. Proces ten nazywamy **splicingiem RNA**. W efekcie splicingu powstaje cząsteczka mRNA o ciągłej sekwencji kodującej. Dopiero tak przygotowana cząsteczka jest transportowana do cytoplazmy, gdzie bierze udział w translacji.

pre-mRNA

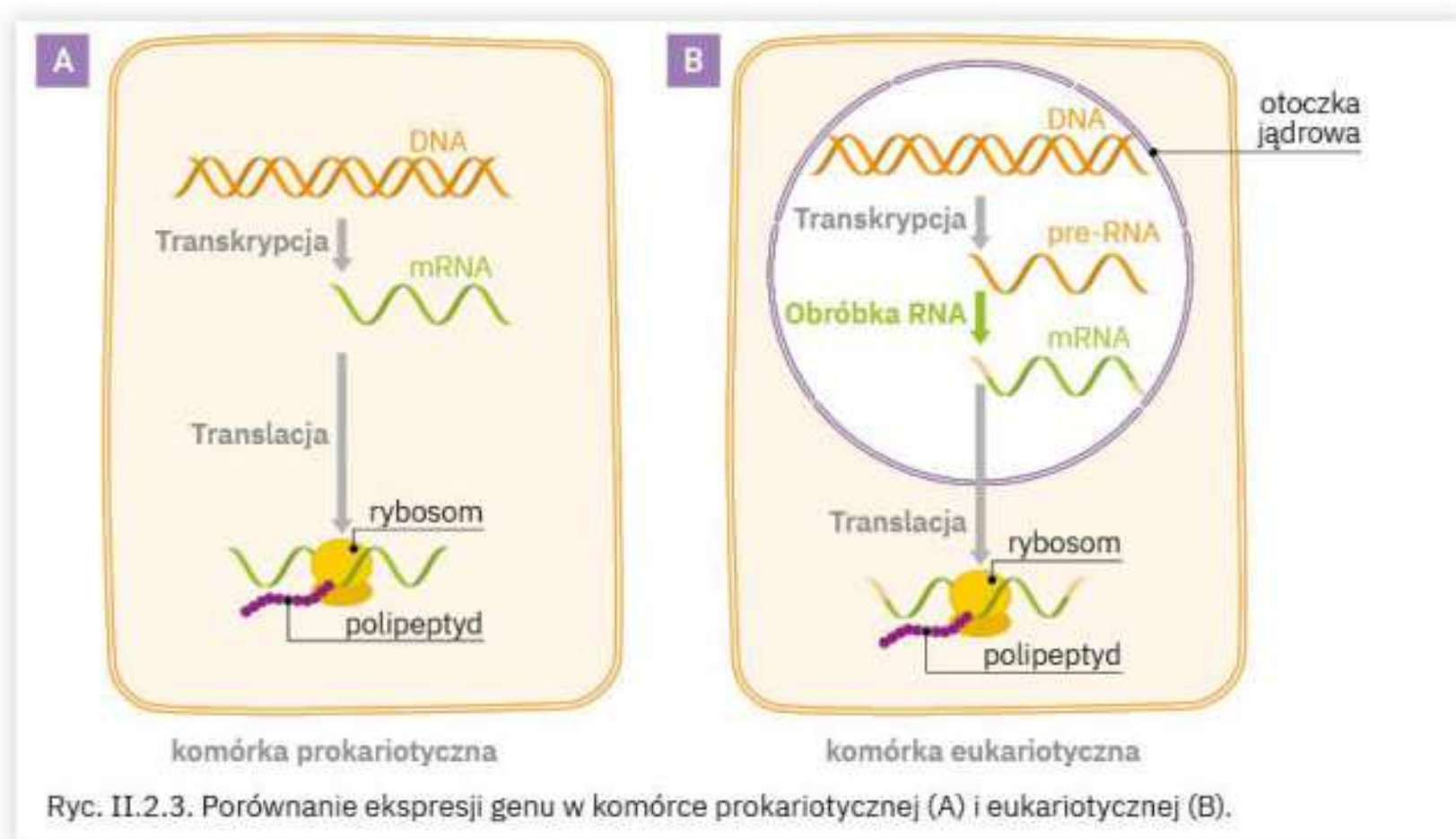


Ryc. II.2.2. Dojrzwienie RNA – splicing RNA.



Różnice w transkrypcji u bakterii i eukariontów

Podstawowy mechanizm transkrypcji i translacji jest podobny u wszystkich organizmów. Zasadnicza różnica dotyczy drogi przepływu informacji genetycznej pomiędzy organizmami prokariotycznymi, które nie mają wyodrębnionego jądra komórkowego, a eukariotycznymi, które mają jądro komórkowe. Brak jądra komórkowego u bakterii powoduje, że utworzony w trakcie transkrypcji mRNA od razu jest poddawany translacji. U organizmów eukariotycznych transkrypcja zachodzi w jądrze, a powstały pre-mRNA musi zostać poddany obróbce potranskrypcyjnej, zanim zostanie przetransportowany jako mRNA do cytoplazmy i tam ulegnie translacji (**ryc. II.2.3.**). U bakterii w proces transkrypcji jest zaangażowany jeden rodzaj polimerazy RNA, podczas gdy u organizmów eukariotycznych są co najmniej trzy rodzaje.



Ryc. II.2.3. Porównanie ekspresji genu w komórce prokariotycznej (A) i eukariotycznej (B).

Kod genetyczny

kod genetyczny

Kod genetyczny został rozszyfrowany 60 lat temu. Stanowi on zbiór podstawowych zasad wskazujących, w jaki sposób komórka ma odczytywać informację genetyczną zapisaną w postaci czterech nukleotydów, aby na drodze translacji uzyskać białko. Eksperymenty wykazały, że przepływ informacji od genu do białka opiera się na **kodzie trójkowym**. Oznacza to, że instrukcja genetyczna jest zapisana w postaci serii trójek nukleotydowych zwanych **kodonami** lub **tripletami** (**ryc. II.2.4.**). Na przykład kodon AGT znajdujący się w określonym miejscu łańcucha DNA oznacza, że w nowo utworzonym łańcuchu polipeptydowym zostanie wstawiony aminokwas seryna.

kodony

Kod genetyczny składa się z 64 kodonów, które znajdują się w **tabeli kodu genetycznego** (**ryc. II.2.4.**). 61 kodonów koduje 20 aminokwasów białkowych, 3 po-



zostałe oznaczają sygnał zakończenia syntezy białka. Kodon AUG pełni podwójną funkcję: koduje aminokwas metioninę oraz jest sygnałem startu translacji. Kod genetyczny uwzględnia kodony mRNA, ponieważ to one służą bezpośrednio jako szablony do syntezy białka. Należy pamiętać, że mRNA ma sekwencję komplementarną do nici matrycowej DNA, więc w tym ujęciu kod genetyczny ma również zastosowanie do DNA. W czasie translacji sekwencja mRNA jest odczytywana w postaci kolejnych tripletów zasad (jest to **ramka odczytu**), z których każdy stanowi jeden aminokwas dodawany kolejno do nowo tworzonego łańcucha polipeptydowego.

		DRUGA LITERA				
		U	C	A	G	
PIERWSZA LITERA	U	UUU fenyloalanina	UCU	UAU tyrozyna	UGU cysteina	U
		UUC	UCC seryna	UAC	UGC	C
		UUA leucyna	UCA	UAA STOP	UGA STOP	A
		UUG	UCG	UAG	UGG tryptofan	G
	C	CUU leucyna	CCU prolina	CAU histydyna	CGU arginina	U
		CUC	CCC	CAC	CGC	C
		CUA	CCA	CAA glutamina	CGA	A
		CUG	CCG	CAG	CGG	G
	A	AUU	ACU	AAU asparagina	AGU seryna	U
		AUC izoleucyna	ACC	AAC	AGC	C
		AUA	ACA	AAA lizyna	AGA arginina	A
		AUG metionina – START	ACG	AAG	AGG	G
	G	GUU walina	GCU alanina	GAU asparaginian	GGU glicyna	U
		GUC	GCC	GAC	GGC	C
		GUA	GCA	GAA glutaminian	GGA	A
		GUG	GCG	GAG	GGG	G

Ryc. II.2.4. Kod genetyczny zapisany w postaci kodonów mRNA. Trzy zasady kodonu (tripletu) mRNA są zapisane w pozycji pierwszej (lewa strona tabeli), drugiej (nagłówek tabeli) i trzeciej (prawa strona tabeli).

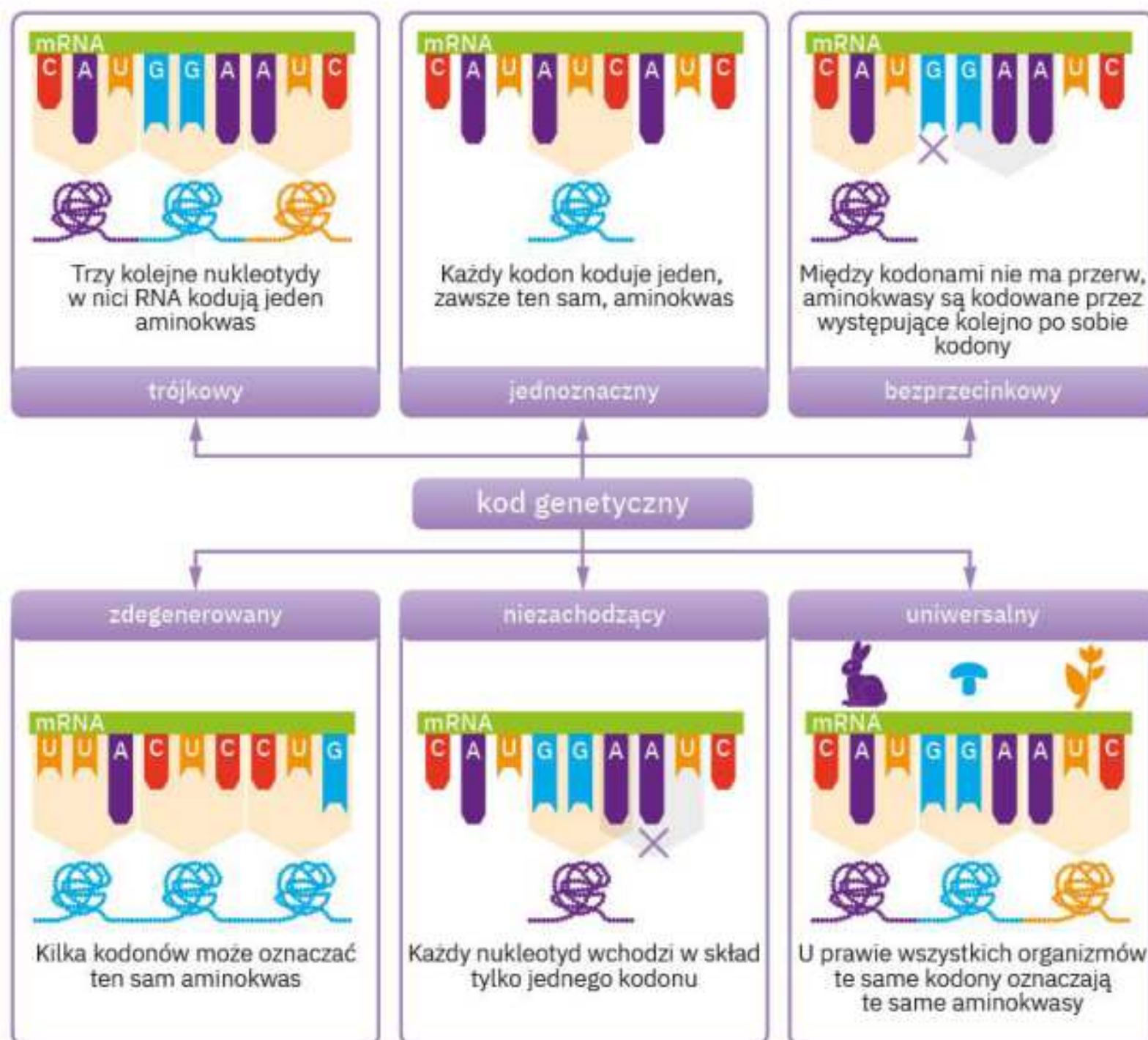
Cechy kodu genetycznego

cechy kodu
genetycznego

Kod genetyczny działa na podstawie kodonów nukleotydowych, dlatego mówimy, że jest **trójkowy**. Kod genetyczny jest **zdegenerowany**, co oznacza, że kilka kodonów koduje ten sam aminokwas. Na przykład leucynę koduje sześć różnych kodonów. Z drugiej strony kod genetyczny jest **jednoznaczny**, gdyż dany kodon odpowiada tylko jednemu aminokwasowi. W czasie translacji kolejne nukleotydy mRNA są odczytywane trójkami w kierunku 5'→3', jako ciąg nienachodzących na siebie tripletów (**ryc. II.2.5.**). Z tego względu kod genetyczny nazywamy **niezachodzącym**. Dodatkowo między kolejnymi kodonami nie występują przerwy (wolne nu-



kleotydy), co oznacza, że kod genetyczny jest **bezprzecinkowy** (ryc. II.2.5.). Początkowo uznawano, że kod genetyczny ma charakter **uniwersalny**, czyli wspólny dla wszystkich organizmów. W większości przypadków kodony u bakterii, roślin czy zwierząt oznaczają te same aminokwasy. Wyjątkami od uniwersalności kodu genetycznego są niektóre organizmy (m.in. grzyby) oraz niektóre organelle. Na przykład kodon UGA, który w kodzie uniwersalnym oznacza STOP, w mitochondriach koduje tryptofan.



Ryc. II.2.5. Cechy kodu genetycznego.



ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Uzupełnij tekst, wybierając spośród terminów podanych w nawiasie jeden właściwy. Poprawny tekst zapisz w zeszycie.

Inicjacja transkrypcji polega na związaniu się (polimerazy II RNA/polimerazy II DNA) z (promotorem/starterem), rozpleceniu nici DNA i rozpoczęciu syntezy RNA na zasadzie komplementarności do matrycowej nici DNA, czyli (A–U, G–C/A–T, G–C). Elongacja transkrypcji polega na przesuwaniu się polimerazy wzdłuż nici (RNA/DNA) i dobudowywaniu komplementarnych nukleotydów do nowo syntetyzowanej cząsteczki. Sygnałem do jej zakończenia są także (specyficzne sekwencje nukleotydowe/kodony STOP).

2. Porównaj pierwotny produkt transkrypcji u bakterii i u organizmów eukariotycznych.
3. Korzystając z tabeli kodu genetycznego, wypisz w zeszycie kodony kodujące podane aminokwasy.
 - a) walina
 - b) seryna
 - c) metionina
 - d) lizyna
4. Sporządź w zeszycie tabelę przedstawiającą cechy kodu genetycznego.

PODSUMOWANIE LEKCJI

Transkrypcja to proces syntezy RNA na matrycy DNA. Produktem transkrypcji jest cząsteczka informacyjnego RNA (mRNA). s. 251

Transkrypcja genu rozpoczyna się w miejscu DNA zwanym **promotorem** i obejmuje trzy etapy: inicjację, elongację i terminację. s. 251

Synteza nowej nici RNA opiera się na **zasadzie komplementarności** z nukleotydami nici matrycowej DNA. Za dobudowywanie kolejnych nukleotydów i wydłużanie nici odpowiada polimeraza II RNA. s. 252

Terminacja transkrypcji jest wyznaczana przez specyficzne sekwencje nukleotydowe nici DNA. s. 253

U organizmów eukariotycznych produktem transkrypcji jest pierwotny transkrypt, czyli **pre-mRNA**, który podlega dojrzewaniu, czyli modyfikacji końców 3' oraz 5', a także wycinaniu intronów i łączeniu ze sobą eksonów w procesie splicingu RNA. s. 253

Kod genetyczny to zbiór podstawowych zasad wskazujących, w jaki sposób komórka ma odczytywać informację zapisaną w sekwencji nukleotydów (DNA lub RNA), aby uzyskać z niej białko. s. 254

Kod genetyczny opiera się na kolejnych trójkach nukleotydów mRNA, zwanych **kodonami** lub **tripletami**, z których każdy stanowi jeden aminokwas dodawany do nowo tworzonego łańcucha polipeptydowego. s. 254

Kod genetyczny jest trójkowy, zdegenerowany (kilka kodonów koduje ten sam aminokwas), **jednoznaczny** (dany kodon odpowiada tylko jednemu aminokwasowi), **niezachodzący** (informacja odczytywana jest jako ciąg kolejnych tripletów), **bezprzecinkowy** (brak w kodzie wolnych nukleotydów pomiędzy kodonami) oraz **uniwersalny** (u zdecydowanej większości organizmów te same kodony oznaczają te same aminokwasy). s. 255



3. Translacja – biosynteza białka

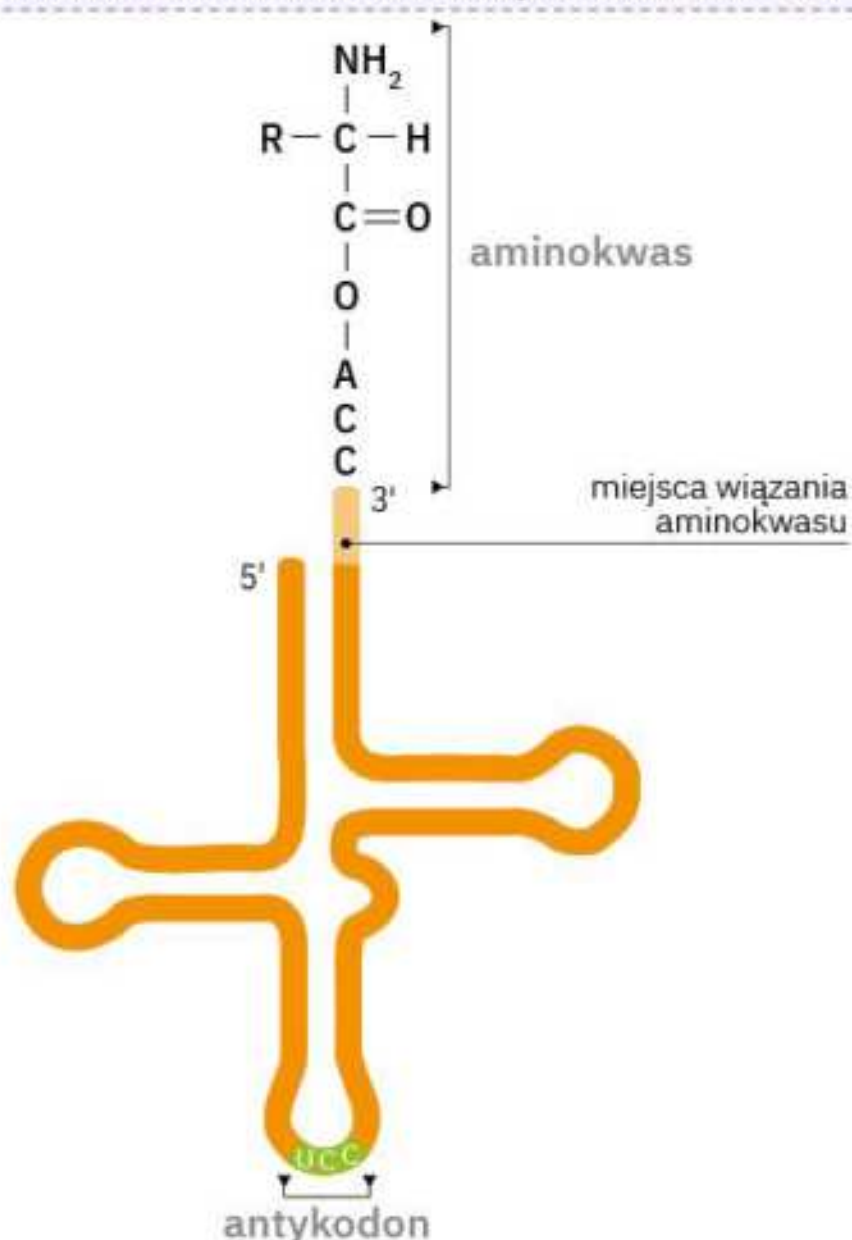
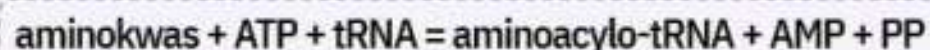
NA TEJ LEKCJI:

- zapoznasz się z budową i funkcją tRNA;
- zrozumiesz, jakie znaczenie mają rybosomy w translacji;
- poznasz przebieg translacji;
- uzyskasz informacje na temat modyfikacji posttranslacyjnych białek;
- dowiesz się, na czym polega regulacja ekspresji genów.

translacja

Translacja to synteza białka, w czasie której informacja zawarta w sekwencji kodonów mRNA zostaje przetłumaczona na sekwencję aminokwasów w łańcuchu polipeptydowym. Częsteczką pośredniczącą w jej odczytywaniu jest **transportujący RNA**, czyli **tRNA**. Do jego funkcji należy przeniesienie wolnego aminokwasu do rybosomu, który wbudowuje go do powiększającego się łańcucha polipeptydowego.

tRNA



Budowa i znaczenie tRNA

Cząsteczka tRNA składa się z pojedynczej nici RNA o długości ok. 80 nukleotydów, która zwija się na pewnych odcinkach i tworzy komplementarne fragmenty dwuniciowe (ryc. II.3.1.). Trójwymiarowa struktura tRNA przypomina kształtem odwróconą literę L. Na jednym końcu cząsteczki tRNA znajduje się **antykodeon**, czyli triplet nukleotydów komplementarny do kodonu w mRNA. Na drugim końcu (3') znajduje się **miejsce wiązania aminokwasu**. tRNA rozpoznaje właściwy kodon na mRNA, na podstawie którego wiąże i transportuje jeden konkretny aminokwas. Cząsteczki tRNA nie są identyczne – różnią się antykodeonami, a ich liczbę oszacowano na 45. Oznacza to, że niektóre z nich są zdolne do wiązania się z więcej niż jednym kodonem w mRNA.

Ryc. II.3.1. Struktura transferowego RNA.

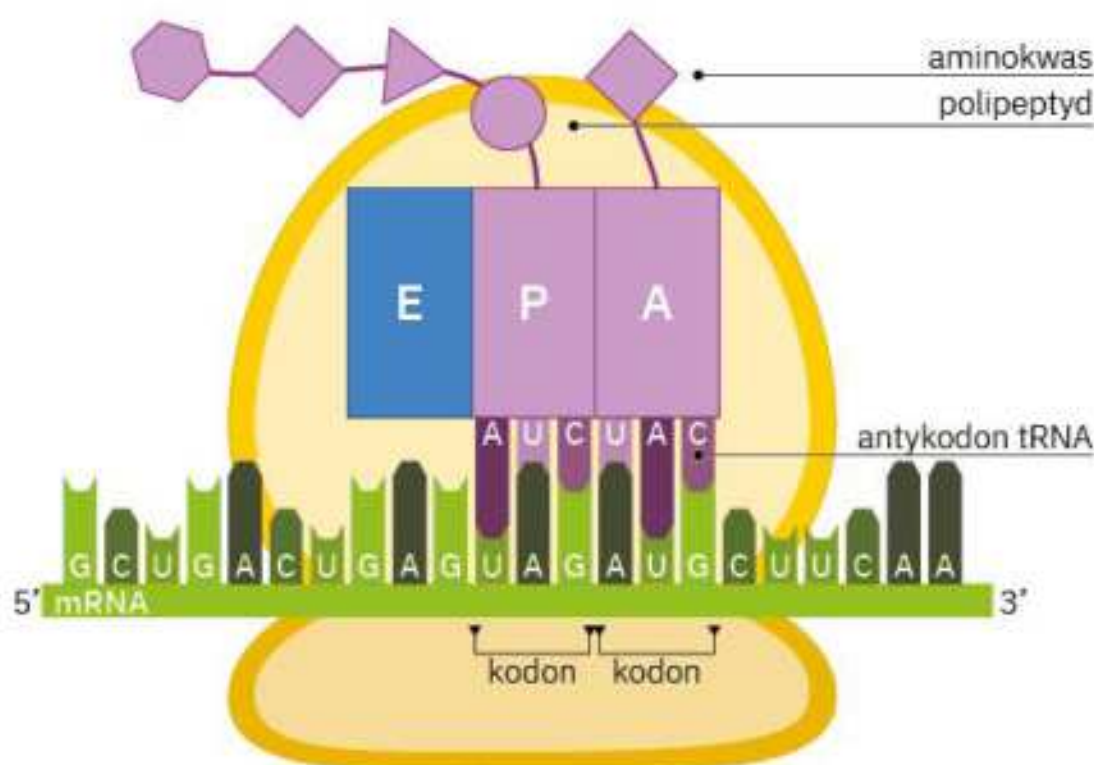


Budowa i funkcja rybosomów

Translacja zachodzi na **rybosomach**, które ułatwiają parowanie się kodonów mRNA z antykodonami tRNA. Dodatkowo pełnią funkcję rusztowania, przytrzymując cały kompleks w taki sposób, aby możliwa była reakcja pomiędzy kolejnymi aminokwasami i wytworzenie łączącego je wiązania peptydowego. Rybosom składa się z dwóch podjednostek – małej i dużej. Obie są zbudowane z białek i cząsteczek **rybosomowego RNA (rRNA)**. Podjednostki rybosomu łączą się ze sobą po połączeniu z mRNA. Oprócz **miejsca wiązania mRNA** rybosomy mają trzy miejsca wiązania tRNA (**ryc. II.3.2.**). **Miejsce P** (nazwa pochodzi od peptydylo-tRNA) to obszar, w którym cząsteczka tRNA jest związana z rosnącym łańcuchem polipeptydowym. **Miejsce A** (od aminoacylo-tRNA) to region, do którego przyłącza się tRNA niosący aminokwas, który ma zostać przyłączony do łańcucha polipeptydowego. **Miejsce E** (od *exit*) to miejsce, w którym wolny tRNA opuszcza rybosom.

rybosomy

miejsca wiązania
mRNA



Ryc. II.3.2. Budowa rybosomu i miejsca wiązania A (tRNA niosącego aminokwas), P (tRNA niosącego łańcuch polipeptydowy) i E (miejsca opuszczania rybosomu przez wolny tRNA).

Przebieg translacji

Translację dzielimy na trzy etapy: inicjację, elongację oraz terminację. Oprócz głównych elementów kompleksu translacyjnego w procesie tym bierze udział wiele białek, a dodatkowo wymaga on dostarczenia energii. Co ważne, w jednym czasie na tej samej nici mRNA translacja jest prowadzona równolegle przez wiele rybosomów (są to tzw. **poliribosomy**), co zwiększa szybkość syntezy wielu kopii danego polipeptydu.



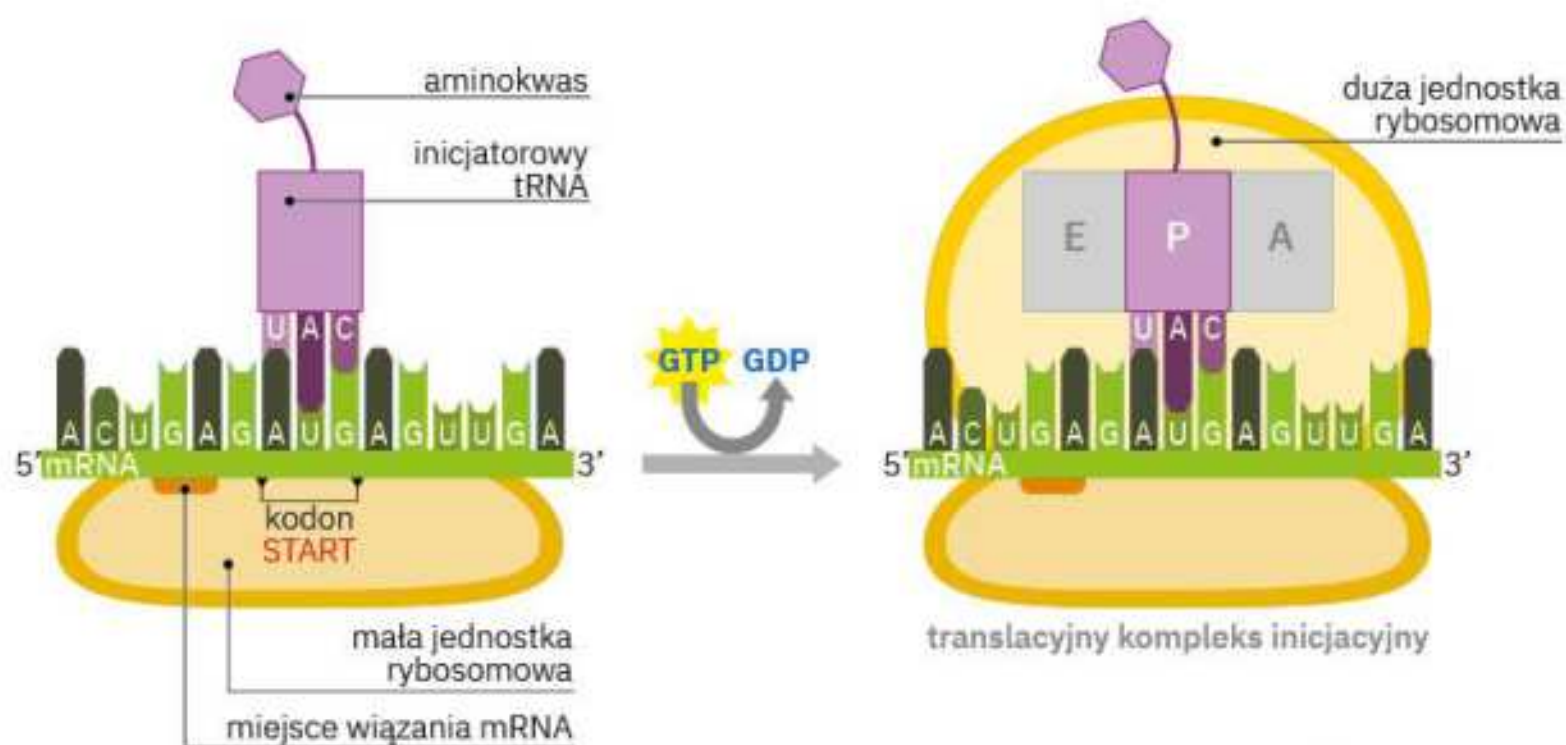
inicjacja translacji

Inicjacja translacji polega na połączeniu się małej podjednostki rybosomu z mRNA, tRNA niosącym aminokwas metioninę (tzw. tRNA inicjatorowy), a następnie przyłączaniu dużej podjednostki. Inicjatorowy tRNA przemieszcza się do miejsca P rybosomu, a miejsce A jest wolne i gotowe na przyjęcie tRNA niosącego kolejny aminokwas. Translacja u organizmów eukariotycznych zaczyna się od pierwszego kodonu, odpowiadającego metioninie, czyli AUG (**ryc. II.3.3.**).

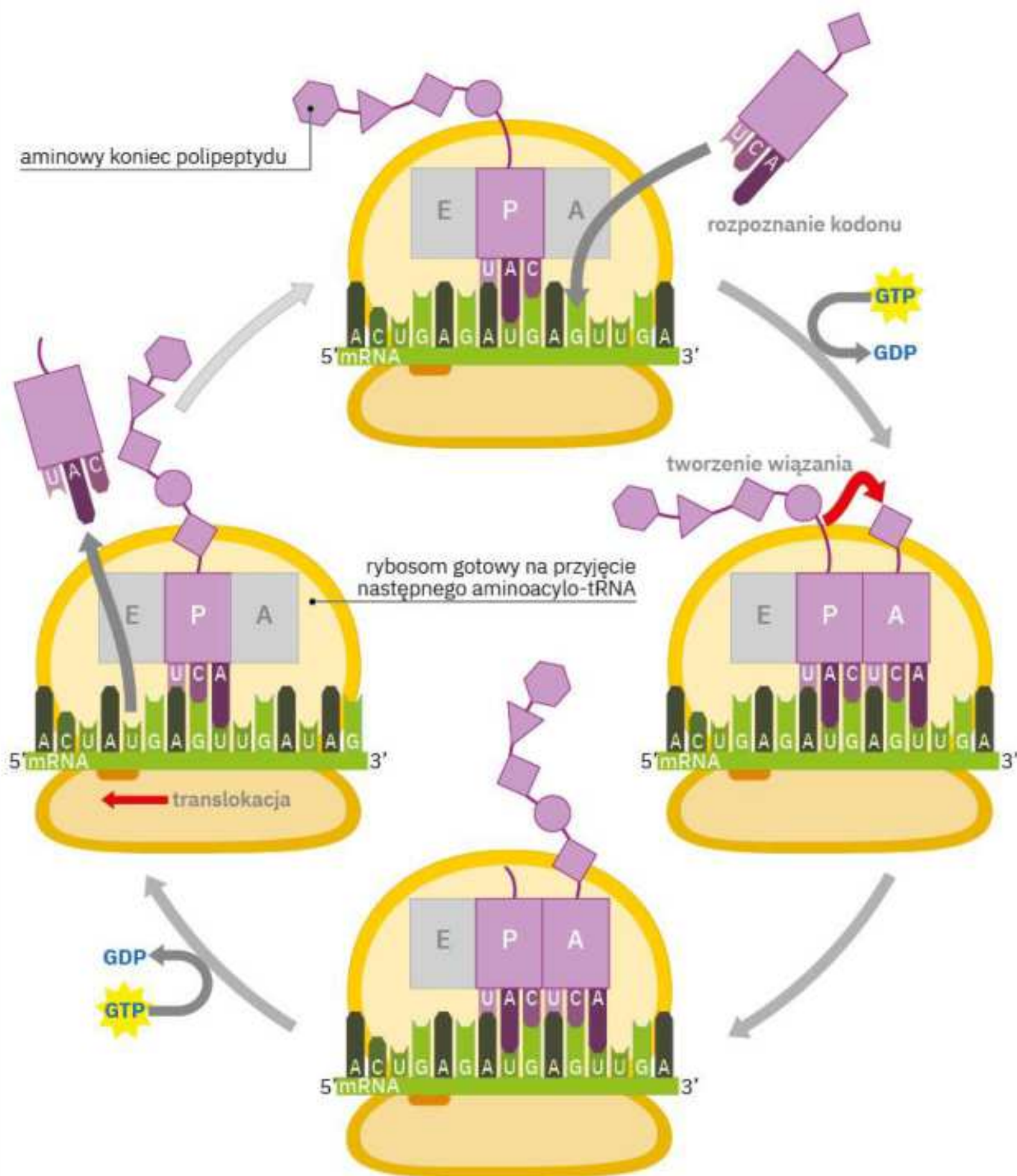
elongacja translacji

Elongacja translacji polega na rozpoznawaniu kolejnych kodonów przez tRNA i przyłączaniu konkretnych aminokwasów. W tym celu rybosom przesuwają się po cząsteczce mRNA w kierunku $5' \rightarrow 3'$, pozwalając na odczytywanie kodonu po kodonie. Po sparowaniu kodonu mRNA z antykodonem tRNA w miejscu A rybosomu dochodzi do wytworzenia wiązania peptydowego między aminokwasami w miejscu A i P oraz odcięcia polipeptydu od tRNA przyłączonego w miejscu P. Wolny tRNA przesuwa się do miejsca E i opuszcza rybosom. tRNA z rosnącym łańcuchem polipeptydowym (rosnącym w kierunku od końca aminowego do końca karboksylowego) zostaje przesunięty z miejsca A do zwolnionego miejsca P. Wolne miejsce A „czeka” na kolejny tRNA niosący aminokwas. Reakcja się powtarza (**ryc. II.3.4.**).

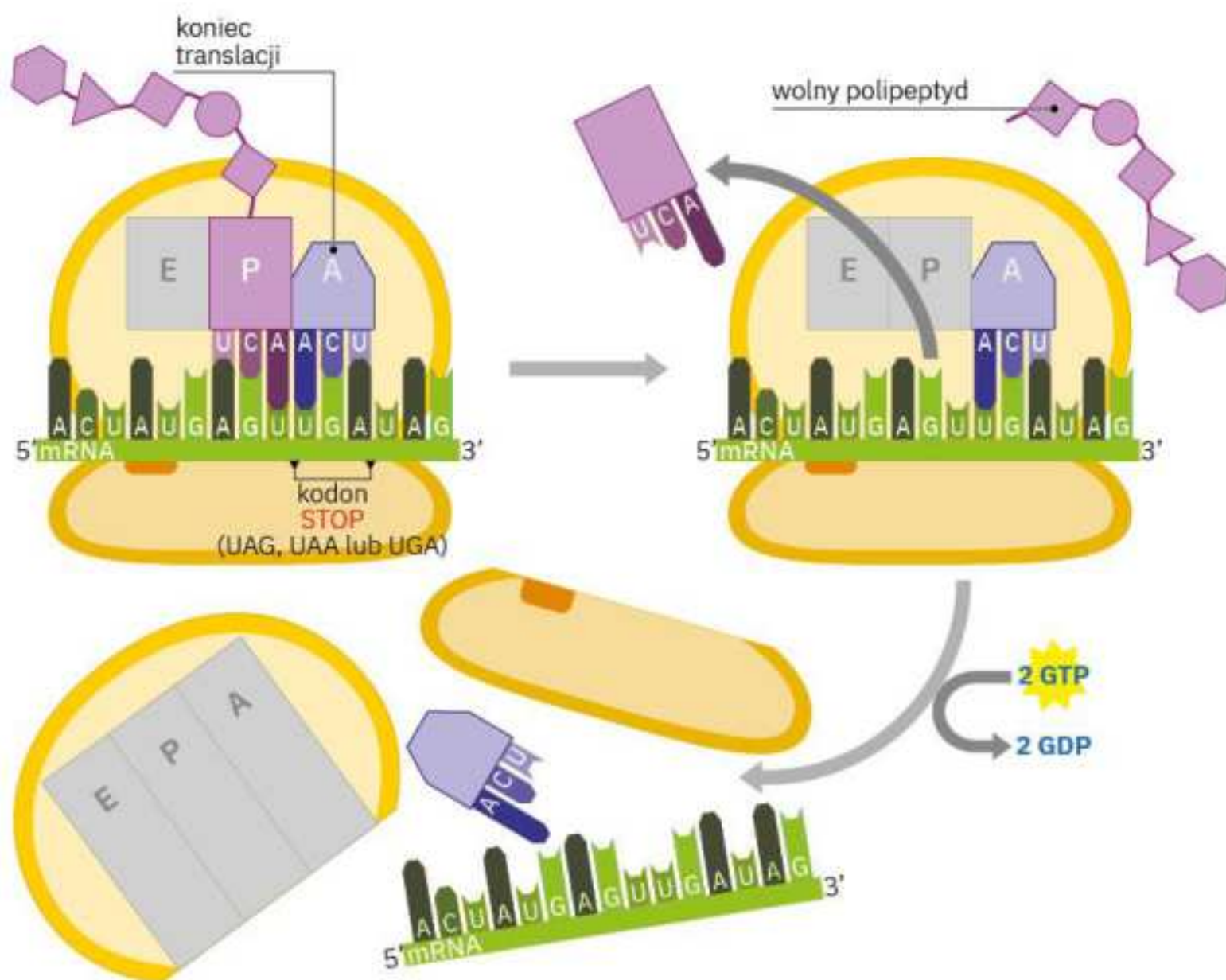
Terminacja translacji zachodzi, kiedy w miejsce A rybosomu nasunie się kodon STOP nici mRNA (UGA, UAA, UAG) oznaczający zakończenie całego procesu. Następuje hydroliza wiązania estrowego pomiędzy tRNA a łańcuchem polipeptydowym. Polipeptyd opuszcza rybosom przez dużą podjednostkę rybosomu, a kompleks translacyjny się rozpada.



Ryc. II.3.3. Przebieg translacji – inicjacja.



Ryc. II.3.4. Przebieg translacji – elongacja.



Ryc. II.3.5. Przebieg translacji – terminacja.

Modyfikacje postranslacyjne

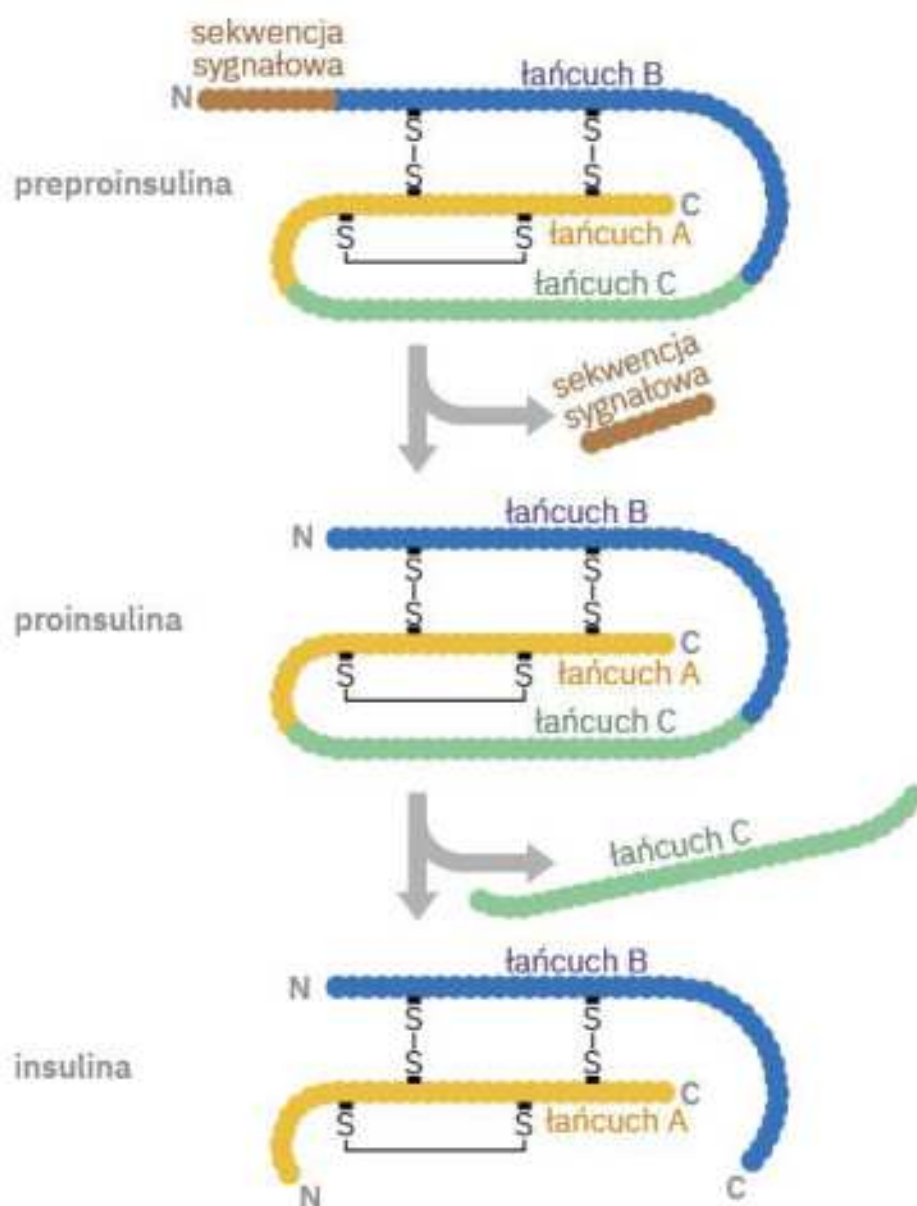
Powstały w czasie translacji łańcuch polipeptydowy ulega zwinięciu i sfałdowaniu w trójwymiarową strukturę, co prowadzi do powstania aktywnego białka o określonej funkcji. Często jednak powstanie końcowej formy białka jest poprzedzone procesami określanymi jako **modyfikacje (obróbka) postranslacyjne**. Może polegać na:

- **modyfikacjach chemicznych** aminokwasów łańcucha polipeptydowego, np. dodaniu grup fosforanowych do określonych aminokwasów;
- usunięciu jednego lub dwóch aminokwasów z końca łańcucha polipeptydowego;

obróbka
postranslacyjna



- enzymatycznym pocięciu łańcucha polipeptydowego na kilka fragmentów; w taki sposób zostaje zmodyfikowana insulina, która pierwotnie jest syntetyzowana jako pojedynczy łańcuch polipeptydowy, a ostatecznie składa się z dwóch łańcuchów połączonych mostkami disiarczkowymi (**ryc. II.3.6.**).



Ryc. II.3.6. Modyfikacja posttranslacyjna insuliny.

Regulacja ekspresji genów

regulacja
ekspresji genów

Liczba rodzajów komórek, zróżnicowanie budowy i funkcji organizmu wielokomórkowego oraz odpowiednia i szybka reakcja na zmieniające się warunki środowiska wymaga istnienia wysoce wyspecjalizowanego systemu **regulacji ekspresji genów**. Komórki bakterii, choć mniej wyspecjalizowane, także muszą kontrolować, które geny będą w danym momencie ulegać ekspresji. Ekspresja genów zachodzi w sposób **ciągły** (przez cały okres rozwoju organizmu), **czasowy** (na określonym etapie rozwoju) lub **specyficzny miejscowo** (tylko w niektórych tkankach organizmu). Regulacja ekspresji genu ma miejsce na każdym etapie przepływu informacji genetycznej (**ryc. II.3.6.**). U eukariontów zachodzi ona na etapie transkrypcji, dojrzewania mRNA, eksportu mRNA z jądra do cytoplazmy, translacji, a także na poziomie białka.



cytosol

jądro komórkowe

Regulacja na poziomie chromatyny

Rozluźnienie struktury DNA; heterochromatyna nie ulega transkrypcji.



Regulacja na poziomie transkrypcji

Regulacja z udziałem czynników transkrypcyjnych.



Regulacja na poziomie obróbki mRNA

Wycinanie intronów i składanie eksonów.

Alternatywne składanie eksonów umożliwia syntezę różnych białek z użyciem tej samej wyjściowej cząsteczki pre-mRNA.



por w osłonce
jądrowej

Regulacja na poziomie transportu mRNA

Regulacja wydajności przechodzenia mRNA z jądra do cytozolu.



Regulacja na poziomie translacji

Określa, jak często i jak długo dana cząsteczka mRNA będzie ulegała translacji.



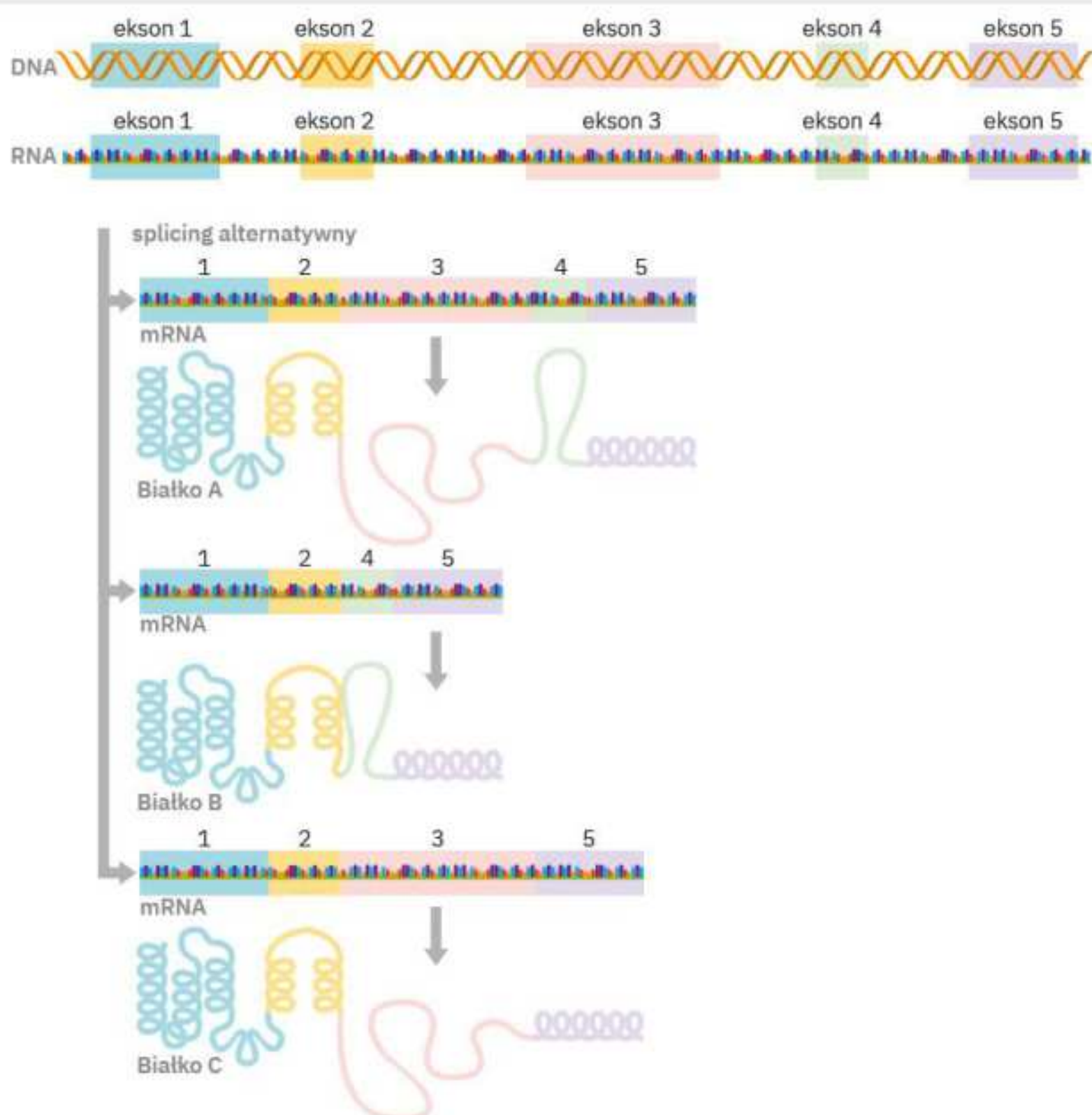
Modyfikacja produktu białkowego

Modyfikacje chemiczne, takie jak fosforylacja, wpływają na końcową aktywność wytworzonych białek.

Ryc. II.3.7. Regulacja ekspresji genów może nastąpić na każdym etapie przepływu informacji genetycznej.



Jedną z powszechnych strategii regulacji ekspresji genów jest **zmiana szybkości transkrypcji danego genu**. Kontrola ta zależy od aktywności wspomnianych wyżej czynników transkrypcyjnych, które mogą wzmacniać lub osłabiać wydajność transkrypcji genów. Przykładem regulacji na poziomie potranskrypcyjnym jest **splicing alternatywny**, który polega na różnym sposobie łączenia się eksonów z pre-mRNA (ryc. II.3.8.). W ten sposób z jednego genu może powstać więcej niż jedna cząsteczka mRNA, a co za tym idzie – kilka różnych białek. Oszacowano, że u ludzi co najmniej 60% genów podlega alternatywnemu splicingowi. Rekord możliwych kombinacji alternatywnego składania eksonów dotyczy genu o nazwie *Dscam* u muszki owocowej. Gen ten składa się z 115 eksonów, a liczba możliwych wersji splicingowych wynosi ponad 38 000.

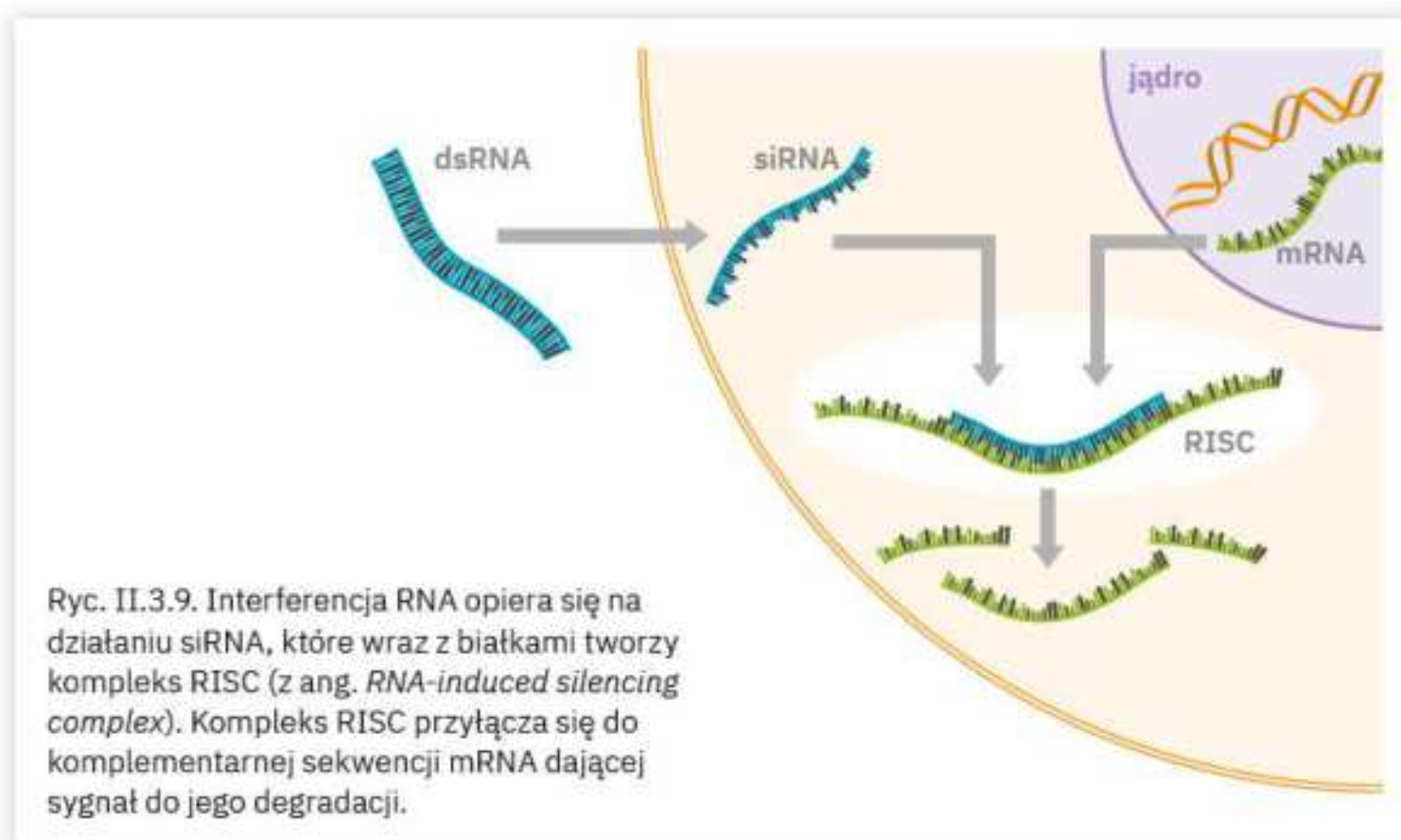


Ryc. II.3.8. W czasie splicingu alternatywnego eksony są łączone w różnych kombinacjach.



Innym przykładem regulacji ekspresji genów na poziomie potranskrypcyjnym jest **redagowanie RNA** (edytowanie RNA). Polega ono na zmianie informacji w transkrypcie RNA poprzez zamiany jakościowe lub ilościowe nukleotydów (m.in. zamiany jednej zasady azotowej w inną, usunięciu bądź wstawieniu nukleotydów, usunięciu grupy aminowej z zasady azotowej). Redagowanie RNA powoduje, że sekwencja aminokwasowa kodowanego przez mRNA białka jest inna, niż wynikałoby to z sekwencji kodującego go genu. Opisane procesy są powodem ogromnej różnorodności białek.

Stosunkowo niedawno rozszyfrowanym (przez przypadek) mechanizmem regulacji genów jest **interferencja RNA** (RNAi). Opiera się ona na działaniu małych cząsteczek RNA określanych jako **siRNA** lub **miRNA**. Cząsteczki te mogą przyłączać się do komplementarnej sekwencji mRNA i prowadzić do jego degradacji. Ich aktywność polega także na blokowaniu translacji mRNA. Oba mechanizmy prowadzą do wyłączenia aktywnych genów (**ryc. II.3.9.**).

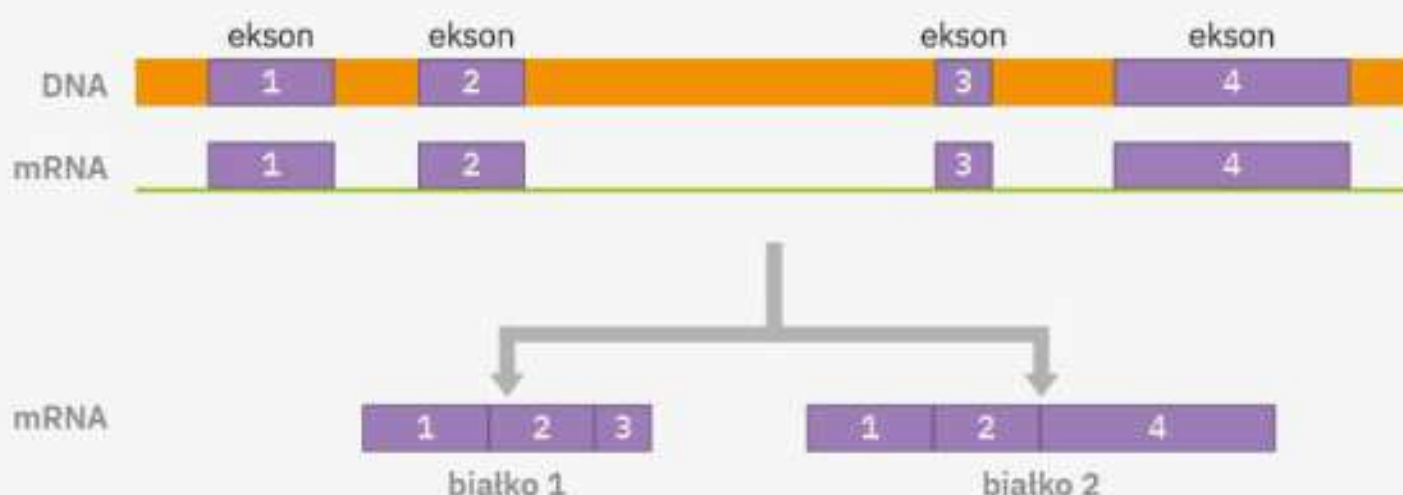


ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Poniżej podano sekwencję nukleotydową cząsteczki mRNA. Przepisz ją do zeszytu i wykonaj polecenia.
CGAUUAUGGCAUUC CGCAAAUCCUGGGGGCUC AU CUUAUGUGGA
 - a) Wskaż i zaznacz miejsce inicjacji translacji.
 - b) Korzystając z tabeli kodu genetycznego na s. 255, zapisz sekwencję aminokwasową łańcucha peptydowego. Zaczynij do miejsca inicjacji transkrypcji.
 - c) Wskaż miejsce końca translacji.



2. Podaj nazwę oraz znaczenie procesu przedstawionego na poniższym schemacie.



3. Na podstawie licznych badań wykazano, że liczba białek w ludzkim organizmie wynosi kilkaset tysięcy, natomiast liczba genów to 20 000. Wyjaśnij, jaka jest przyczyna tej różnicy.

PODSUMOWANIE LEKCJI

Translacja to synteza białka, w czasie której informacja zawarta w sekwencji kodonów mRNA jest tłumaczona na sekwencję aminokwasów w białku. s. 258

Cząsteczka **tRNA** zawiera antykodon, który rozpoznaje komplementarny kodon w mRNA i łączy się z nim, a także rozpoznaje/wskazuje miejsce wiązania aminokwasu. s. 258

Translacja zachodzi na **rybosomach**, które są zbudowane z dwóch podjednostek i ułatwiają parowanie się kodonów mRNA i tRNA oraz syntezę wiązania peptydowego między kolejnymi aminokwasami. s. 259

Na rybosomie znajdują się **miejsca wiązania tRNA** z rosnącym łańcuchem polipeptydowym (miejsce P), wiązania tRNA niosącego aminokwas (miejsce A) oraz miejsce, w którym wolny tRNA opuszcza rybosom (miejsce E). s. 259

Inicjacja translacji polega na łączeniu się mRNA z podjednostkami rybosomu oraz z tRNA niosącym metioninę i jego usytuowaniu w miejscu P rybosomu. s. 260

Elongacja translacji polega na rozpoznawaniu kolejnych kodonów przez tRNA i przyłączaniu odpowiednich aminokwasów. Przebiega aż do kodonu STOP na mRNA. Polipeptyd opuszcza rybosom, a kompleks translacyjny się rozpada. s. 260

Obróbka posttranslacyjna łańcucha polipeptydowego prowadzi do wytworzenia w pełni funkcjonalnego białka i może polegać m.in. na dodaniu grup fosforanowych do reszt aminokwasowych. s. 262

Regulacja ekspresji genów ma miejsce na każdym etapie przepływu informacji genetycznej. s. 263

Do mechanizmów **regulacji ekspresji genów** u organizmów eukariotycznych zaliczamy: zmianę szybkości transkrypcji genu, splicing alternatywny, redagowanie RNA czy interferencję RNA. s. 263



PODSUMOWANIE PRZED SPRAWDZIANEM

1. DNA jako materiał genetyczny

- s. 242 • Do zrozumienia roli DNA przyczyniło się **wiele odkryć**, m.in. rozwiązanie jego struktury przez Watsona i Cricka w 1953 r.
- s. 243 • Proces kopiowania DNA nazywa się **replikacją**, proces syntezy mRNA na matrycy DNA – **transkrypcją**, a proces syntezy białka – **translacją**.
- s. 243 • **Replikacja DNA** to proces jego kopiowania, który rozpoczyna się w miejscach *ori* od wstawienia krótkiego odcinka RNA zwanego starterem.
- s. 244 • W czasie replikacji DNA ulega lokalnemu rozpleceniu, tworząc **widelki replikacyjne**. Jedna nić, zwana wiodącą, jest syntetyzowana w sposób ciągły, a druga – nić opóźniona – w postaci fragmentów Okazaki.
- s. 244 • Replikacja jest **procesem semikonserwatywnym**, ponieważ w potomnych cząsteczkach DNA jedna nić jest nowa, a druga – stara.
- s. 244 • **Telomery** stanowią ochronę końców chromosomów i ulegają skróceniu wraz z wiekiem.
- s. 246 • Informacja biologiczna każdego organizmu jest zapisana w **genomie** zbudowanym z DNA (u większości organizmów) lub RNA (u wirusów).
- s. 246 • **Genom człowieka** składa się z genomu jądrowego w postaci 46 chromosomów oraz genomu mitochondrialnego.
- s. 246 • Genom zawiera **geny**, czyli odcinki DNA niosące informację o budowie białek. Ludzki genom zawiera ok. 20 000 genów, które stanowią około 1% całkowitego DNA.
- s. 246 • Geny ulegają **ekspresji**, czyli przekształceniu informacji zawartej w DNA na RNA, a następnie na białko.
- s. 247 • Geny organizmów eukariotycznych składają się z **intronów** (odcinków niekodujących białek) oraz **eksonów** (odcinków kodujących).
- s. 248 • **Sekwencjonowanie genomów** to odczytywanie kolejności nukleotydów DNA i obszar działania dziedziny nauki zwanej genomiką.

2. Ekspresja informacji genetycznej

- s. 251 • **Transkrypcja** to proces syntezy RNA na matrycy DNA. Produktem transkrypcji jest cząsteczka informacyjnego RNA (mRNA).
- s. 251 • Transkrypcja genu rozpoczyna się w miejscu DNA zwanym **promotorem** i obejmuje trzy etapy: inicjację, elongację i terminację.
- s. 252 • Synteza nowej nici RNA opiera się na **zasadzie komplementarności** z nukleotydami nici matrycowej DNA. Za dobudowywanie kolejnych nukleotydów i wydłużanie nici odpowiada polimeraza II RNA.
- s. 253 • **Terminacja transkrypcji** jest wyznaczana przez specyficzne sekwencje nukleotydowe nici DNA.
- s. 253 • U organizmów eukariotycznych produktem transkrypcji jest pierwotny transkrypt, czyli **pre-mRNA**, który podlega dojrzewaniu, czyli modyfikacji końców 3' oraz 5', a także wycinaniu intronów i łączeniu ze sobą eksonów w procesie splicingu RNA.
- s. 254 • **Kod genetyczny** to zbiór podstawowych zasad wskazujących, w jaki sposób komórka ma odczytywać informację zapisaną w sekwencji nukleotydów, aby uzyskać z niej białko.
- s. 254 • Kod genetyczny opiera się na kolejnych trójkach nukleotydów mRNA, zwanych **kodonami** lub **tripletami**, z których każdy stanowi jeden aminokwas dodawany do nowo tworzonego łańcucha polipeptydowego.
- s. 255 • **Kod genetyczny jest trójkowy, zdegenerowany** (kilka kodonów koduje ten sam aminokwas), **jednoznaczny** (dany kodon odpowiada tylko jednemu aminokwasowi), **niezachodzący** (informacja odczytywana jest jako ciąg kolejnych tripletów), **bezzprzecinkowy** (brak w kodzie wolnych nukleotydów pomiędzy kodonami) oraz **uniwersalny** (u zdecydowanej większości organizmów te same kodony oznaczają te same aminokwasy).

3. Translacja – biosynteza białka

- s. 258 • **Translacja** to synteza białka, w czasie której informacja zawarta w sekwencji kodonów mRNA jest tłumaczona na sekwencję aminokwasów w białku.
- s. 258 • Cząsteczka **tRNA** zawiera antykodon, który rozpoznaje komplementarny kodon w mRNA i łączy się z nim, a także rozpoznaje/wskazuje miejsce wiązania aminokwasu.
- s. 259 • Translacja zachodzi na **rybosomach**, które są zbudowane z dwóch podjednostek i ułatwiają parowanie się kodonów mRNA i tRNA oraz syntezę wiązania peptydowego między kolejnymi aminokwasami.



- Na rybosomie znajdują się **miejsca wiązania tRNA** z rosnącym łańcuchem polipeptydowym (miejsce P), wiązania tRNA niosącego aminokwas (miejsce A) oraz miejsce, w którym wolny tRNA opuszcza rybosom (miejsce E). s. 259
- **Inicjacja translacji** polega na łączeniu się mRNA z podjednostkami rybosomu oraz z tRNA niosącym metioninę i jego usytuowaniu w miejscu P rybosomu. s. 260
- **Elongacja translacji** polega na rozpoznawaniu kolejnych kodonów przez tRNA i przyłączaniu odpowiednich aminokwasów. Przebiega aż do kodonu STOP na mRNA. Polipeptyd opuszcza rybosom, a kompleks translacyjny się rozpada. s. 260
- **Obróbka posttranslacyjna** łańcucha polipeptydowego prowadzi do wytworzenia w pełni funkcjonalnego białka i może polegać m.in. na dodaniu grup fosforanowych do reszt aminokwasowych. s. 262
- **Regulacja ekspresji genów** polega na włączaniu i wyłączaniu genów i ma miejsce na każdym etapie przepływu informacji genetycznej (m.in. poprzez regulację struktury chromatyny i przyłączanie czynników transkrypcyjnych). s. 263
- Do mechanizmów **regulacji ekspresji genów** u organizmów eukariotycznych zaliczamy: zmianę szybkości transkrypcji genu, splicing alternatywny, redagowanie RNA czy interferencję RNA. s. 263

SPRAWDŹ, CZY UMIESZ

1. Do podanych poniżej pojęć (A–D) dopasuj ich definicję (1–4).

A. gen, B. genom, C. genomika, D. genetyka

1. nauka o dziedziczności i zmienności organizmów
2. dziedzina biologii molekularnej zajmująca się analizą genomu organizmów
3. odcinek DNA ulegający ekspresji rozumianej jako synteza RNA lub białka
4. kompletna informacja genetyczna organizmu

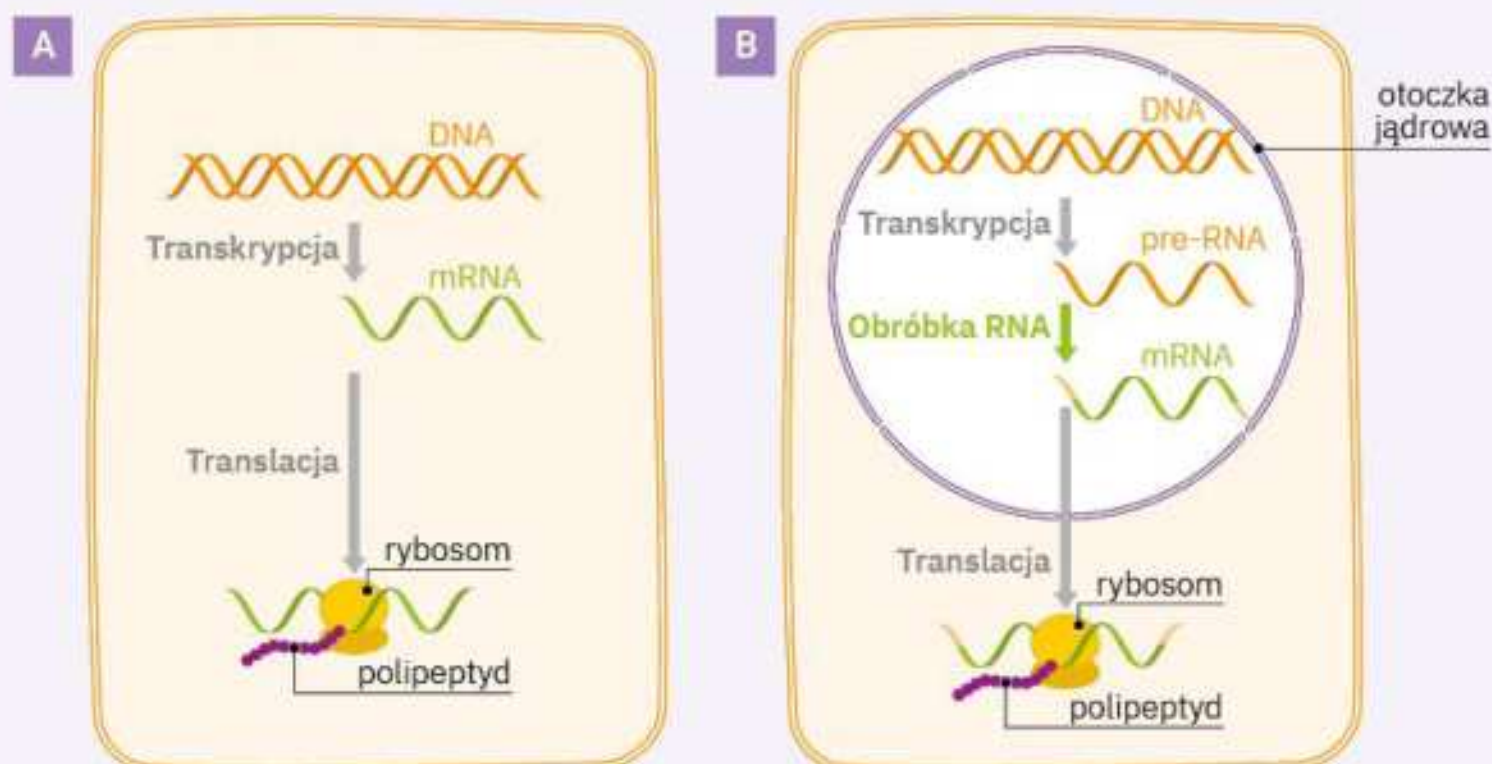
2. Angiotensyny to hormony peptydowe, które kontrolują gospodarkę sodowo-potasową w organizmie poprzez stymulowanie wydzielania aldosteronu. Jeden z typów tych hormonów, angiotensyna II, jest oktapetydem, którego strukturę I rzędu przedstawiono poniżej.

$\text{H}_2\text{N}-\text{Asp}-\text{Arg}-\text{Val}-\text{Tyr}-\text{Ile}-\text{His}-\text{Pro}-\text{Phe}-\text{COOH}$

a) Korzystając z tabeli kodu genetycznego, znajdź i wypisz w zeszycie tryplety mRNA, które mogą kodować aminokwasy wchodzące w skład angiotensyny II.

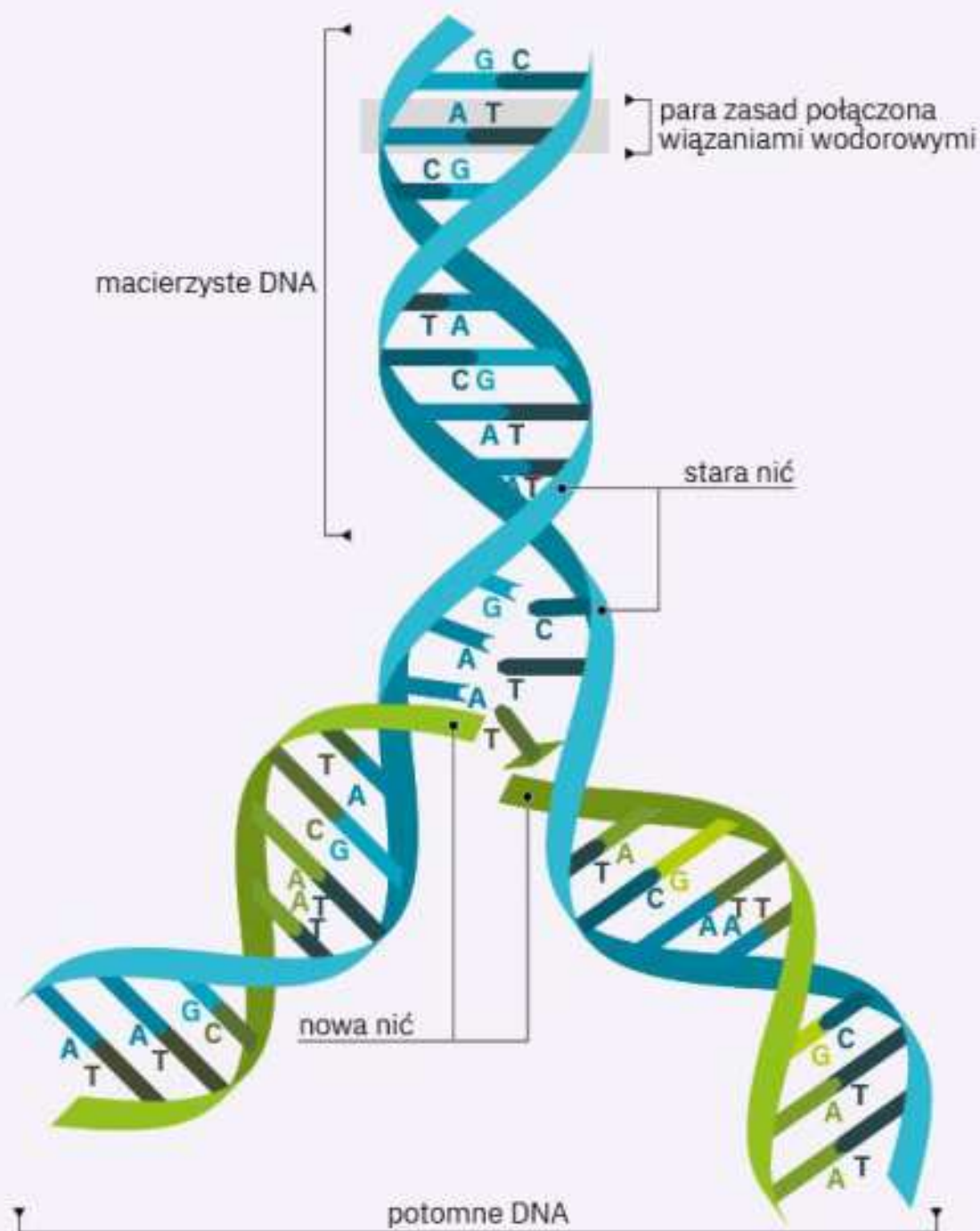
b) Podaj dwie cechy kodu genetycznego, które wynikają ze spisu przygotowanego w poprzednim podpunkcie zadania.

3. Na rysunku przedstawiono sposób realizacji informacji genetycznej w komórkach prokariotycznych i eukariotycznych. Wskaż, który z nich dotyczy komórek eukariotycznych, i podaj co najmniej dwa argumenty na potwierdzenie twojego wyboru.





4. Przeanalizuj proces przedstawiony na poniższym schemacie, a następnie wykonaj polecenia.



- Podaj, gdzie i podczas jakiego cyklu zachodzi proces przedstawiony na rysunku.
- Wymień co najmniej dwa enzymy zaangażowane w ten proces oraz wyjaśnij ich rolę.
- Wyjaśnij istotę tego procesu.

5. Dopisz w zeszycie sekwencję nukleotydów w cząsteczce mRNA powstałej na drodze transkrypcji nici matrycowej podanego poniżej fragmentu DNA.
DNA – nić kodująca ATTTGCATCGCGTAT



III. Genetyka klasyczna

- ▶ 1. Podstawowe reguły dziedziczenia cech: Prawa Mendla i ich znaczenie
- ▶ 2. Uzupełnienia i modyfikacje praw Mendla
- ▶ 3. Chromosomowa teoria dziedziczenia





1. Podstawowe reguły dziedziczenia cech. Prawa Mendla i ich znaczenie

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz podstawowe reguły dziedziczenia cech według Grzegorza Mendla;
- zapoznasz się z I i II prawem Mendla.

Od odkrycia budowy DNA było wiadomo, że jest w nim zapisana informacja genetyczna oraz że istnieją cechy przekazywane z pokolenia na pokolenie, jak barwa kwiatów, długość łodyg u roślin czy kolor oczu i włosów u ludzi. Natomiast sam sposób zapisu nie był do końca poznany.

W połowie XIX w., kiedy jeszcze nikt nie znał pojęcia *gen* i nie dysponował takimi technikami badawczymi, jak w XXI w., czeski zakonnik, z wykształcenia przyrodnik,

Grzegorz Mendel odkrył dowody na istnienie czynników odpowiedzialnych za dziedziczenie (**ryc. III.1.1.**). Na podstawie swoich badań Mendel sformułował proste reguły przekazywania cech z pokolenia na pokolenie nazwane potem **prawami Mendla**.



Ryc. III.1.1. Grzegorz Mendel (1822–1884) obecnie nazywany ojcem genetyki – nauki o dziedziczności i zmienności cech. Odkrył podstawowe prawa dziedziczenia, prowadząc doświadczenia w przyklasztornym ogródku. Osiągnięcia Mendla za jego życia nie zostały uznane przez świat nauki – doceniono je dopiero ponad 30 lat po jego śmierci.

Grzegorz Mendel

I prawo Mendla

I prawo Mendla

Mendel prowadził doświadczenia na **grochu zwyczajnym**, którego odmiany krzyżował między sobą (**ryc. III.1.2.**). Krzyżował rośliny pochodzące z **czystych linii**, czyli od osobników, u których dana cecha, np. biały kolor kwiatów, utrzymuje się z pokolenia na pokolenie. Następnie krzyżował ze sobą osobniki z dwóch linii czystych – groch o kwiatach białych z grochem o kwiatach czerwonych, przenosząc pyłek kwiatowy z jednej rośliny na drugą. Rośliny te stanowiły **pokolenie rodi-**



cielskie (łac. *parentes* – rodzice) oznaczane literą **P**. Uzyskane nasiona wysiewał i otrzymywał z nich **pokolenie potomne** oznaczane literą **F** (łac. *filius* – potomstwo). Mendel, krzyżując rośliny o kwiatach białych z roślinami o kwiatach czerwonych, otrzymał w pierwszym pokoleniu potomnym – **F₁** – wyłącznie rośliny o kwiatach czerwonych. Było to podstawą wniosku, że barwa czerwona kwiatów jest **cechą dominującą**, a barwa biała kwiatów – **cechą recesywną**, ponieważ nie ujawniła się w potomstwie. Następnie Mendel krzyżował ze sobą rośliny pokolenia **F₁** i otrzymał pokolenie **F₂**, które składało się z osobników o kwiatach czerwonych i białych. Grochu o kwiatach czerwonych było trzy razy więcej niż grochu o kwiatach białych. Na tej podstawie Mendel wywnioskował, że biała barwa kwiatów grochu – cecha recesywna – nie zanikała w pokoleniu **F₂**, a została stłumiona przez cechę dominującą – czerwoną barwę kwiatów grochu (**tab. III.1.1.**).

Ryc. III.1.2. Groch zwyczajny (*Pisum sativum* L.).

Tab. III.1.1. Przykłady cech dominujących i recesywnych grochu zwyczajnego

Cecha grochu	Fenotyp dominujący	Fenotyp recesywny
Kształt nasion	okrągły	pomarszczony
Barwa nasion	żółta	zielona
Barwa kwiatów	czerwona	biała
Barwa strąków	zielona	żółta
Kształt strąków	pękate	przewężone
Położenie kwiatów	boczne	szczytowe
Długość łodyg	wysokie (pnące)	niskie (karłowate)

Mendel na podstawie doświadczeń założył obecność jednostki dziedziczenia, którą obecnie nazywamy **genem**. Każdy gen występuje w kilku wariantach nazywanych **allelami**. Dzisiaj wyniki doświadczeń Mendla możemy wytłumaczyć następująco: komórki somatyczne mają dwie wersje, czyli po dwa allele każdego genu, a komórki rozrodcze po jednej wersji – jednym allele danego genu. Allele oznaczamy za pomocą liter alfabetu:

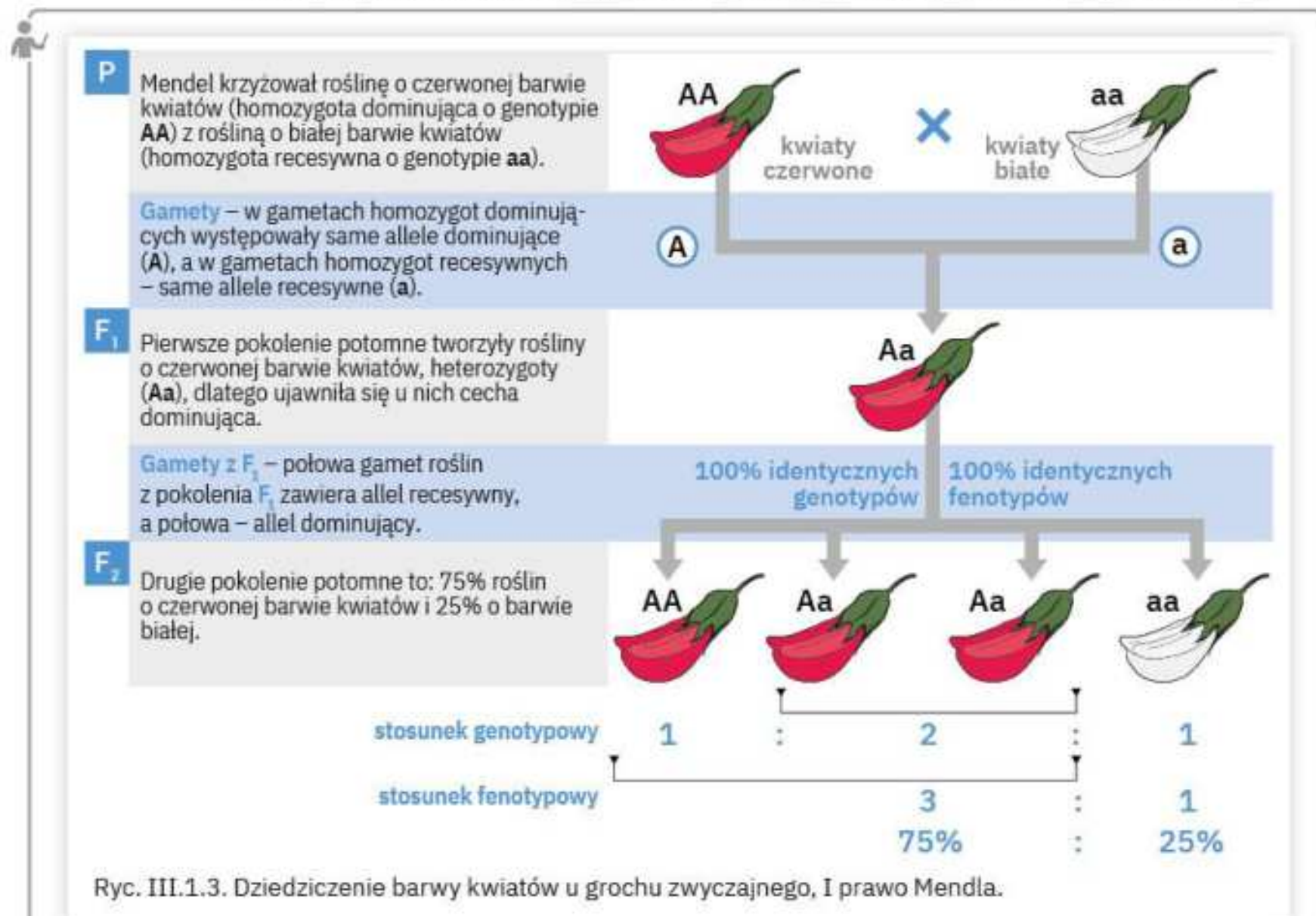
- dużą literą – allele warunkujące cechę dominującą, np. A – czerwona barwa kwiatów grochu;
- małą literą – allele warunkujące cechę recesywną, np. a – biała barwa kwiatów grochu.





Osobnika mającego dwa identyczne allele tego samego genu nazywamy **homozygotą** (np. AA, aa), natomiast osobnika o dwóch różnych allelech – **heterozygotą** (Aa). Biorąc pod uwagę allele dominujące lub recesywne, wyróżniamy homozygotę dominującą (oba allele dominujące) i recesywną (oba allele recesywne).

Zespół wszystkich genów organizmu nazywamy **genotypem**. Zespół możliwych do zaobserwowania cech morfologicznych, fizycznych i biochemicznych danego organizmu nazywamy **fenotypem**. Mendel podczas swoich eksperymentów wywnioskował, że podczas powstawania gamet allele danego genu – nazwane przez badacza czynnikami dziedziczenia – rozdzielają się losowo i każda gameta ma tylko jeden z nich. Na tej podstawie zostało sformułowane **I prawo Mendla – prawo czystości gamet**, które mówi, że w każdej gamecie znajduje się tylko jeden allel z pary alleli warunkujących daną cechę (jedna kopia allelu) (ryc. III.1.3.).



Znając genotypy pokolenia rodzicielskiego, można ustalić za pomocą tabeli (kwadratu Punnetta) genotypy pokolenia potomnego. W pierwszej kolumnie wpisujemy symbole wszystkich alleli występujących w gametach żeńskich, a w pierwszym rzędzie – symbole wszystkich alleli występujących w gametach męskich. Genotypy osobników pokolenia potomnego wyznaczamy, zapisując symbole alleli pochodzących od każdej z łączących się gamet.

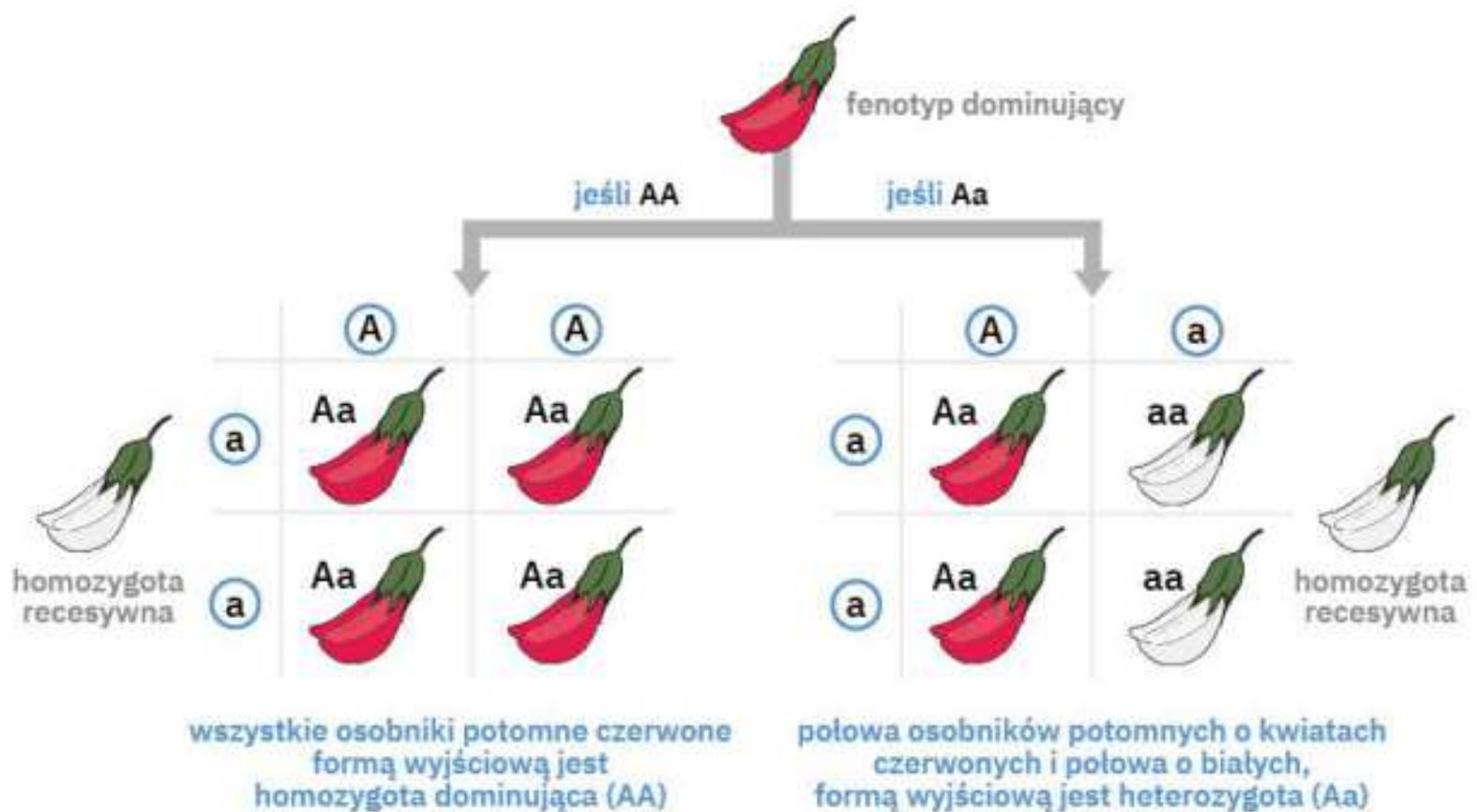


Właściwy zapis powinien na pierwszym miejscu mieć allel dominujący, jeżeli taki występuje w genotypie. Na podstawie genotypów osobników potomnych można wyznaczyć ich fenotypy i ustalić prawdopodobieństwo, z jakim ujawni się dana cecha (**ryc. III.1.4.**).

Dość istotne jest ustalenie genotypu osobnika, którego fenotyp jest warunkowany przez allel dominujący. Osobnik o kwiatach czerwonych ma genotyp AA lub Aa. W celu ustalenia genotypu takiego osobnika stosuje się tzw. **krzyżówkę testową**, czyli krzyżówkę osobnika o dominującym fenotypie z homozygotą recesywną (**ryc. III.1.5.**).

	♂	1/2 A	1/2 a
♀		1/4 AA 	1/4 Aa
	1/2 A		
	1/2 a	1/4 Aa 	1/4 aa

Ryc. III.1.4. Kwadrat Punnetta pozwalający ustalić genotyp i fenotyp pokolenia potomnego.



Ryc. III.1.5. Schemat krzyżówki testowej.

II prawo Mendla

II prawo Mendla

Mendel krzyżował również odmiany grochu różniące się jednocześnie dwiema cechami – rodzajem powierzchni i barwą nasion. Cechami dominującymi była gładka powierzchnia i żółta barwa nasion, a recesywnymi – pomarszczona powierzchnia i zielona barwa (**ryc. III.1.6.**).

P Mendel krzyżował rośliny o nasionach żółtych i gładkich powierzchniach (homozygota **AABB**) z roślinami o nasionach zielonych i powierzchniach pomarszczonych (homozygota **aabb**).

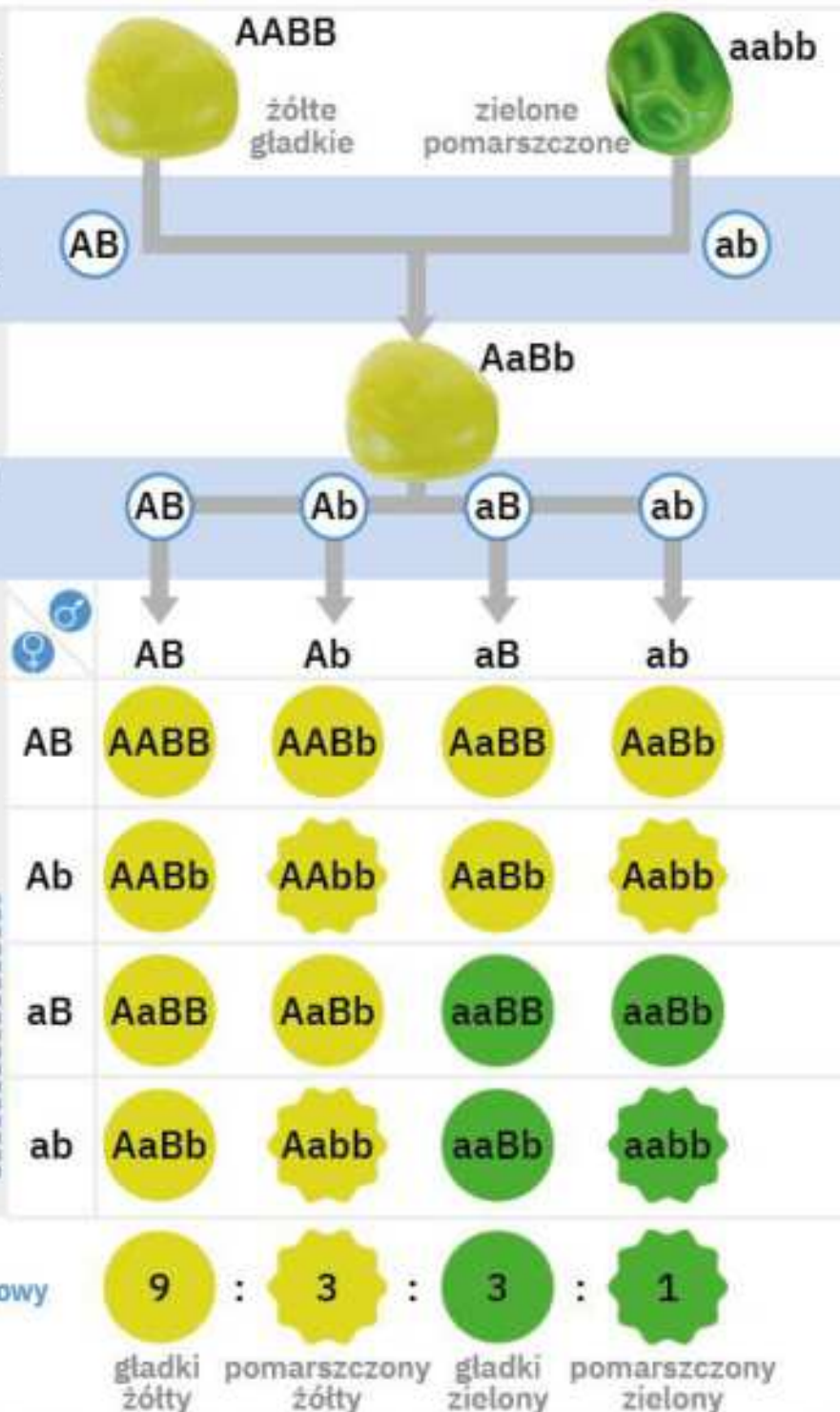
Gamety – każda gameta pokolenia rodzicielskiego miała jeden allel odpowiedzialny za barwę nasion i jeden odpowiedzialny za rodzaj powierzchni.

F₁ Wszystkie rośliny były heterozygotami o nasionach gładkich i żółtych (heterozygoty **AaBb**).

Gamety z F₁ – allele obu genów rozdzieliły się na cztery warianty, co dało cztery rodzaje gamet roślin z pokolenia **F₁**.

F₂ Rośliny pokolenia **F₂** dzięki losowemu krzyżowaniu się gamet mogły być homozygotami pod względem jednej cechy i heterozygotami pod względem innej cechy.

A – allel dominujący warunkujący gładką powierzchnię nasion
a – allel recesywny warunkujący pomarszczoną powierzchnię nasion
B – allel dominujący warunkujący żółtą barwę nasion
b – allel recesywny warunkujący zieloną barwę nasion



stosunek genotypowy **AABB : AABb : AAbb : AaBB : AaBb : Aabb : aaBB : aaBb : aabb**
 1 : 2 : 1 : 2 : 4 : 2 : 1 : 2 : 1

Ryc. III.1.6. Niezależne dziedziczenie cech nasion grochu zwyczajnego, II prawo Mendla.

Wyniki dziedziczenia dwóch lub większej liczby równocześnie dziedziczonych cech dzisiaj nazywamy **II prawem Mendla** (inaczej: **prawem niezależnej segregacji dwóch par alleli**).

Dwie lub więcej cech (genów) dziedziczy się niezależnie od siebie i mogą one ze sobą tworzyć w genach różne kombinacje.



Oznacza to, że allele do gamet przechodzą na drodze segregacji losowej i tworzą w gametach różne kombinacje z takim samym prawdopodobieństwem.

Na prawach Mendla opiera się dzisiaj genetyka klasyczna. Prawa Mendla stanowią podstawę metod badań nad dziedziczeniem chorób u człowieka (analiza rodowodów). Szereg chorób spowodowanych przez mutacje w pojedynczych genach jest dziedziczony w sposób mendlowski.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wyjaśnij, w jakim celu Grzegorz Mendel w badaniach na grochu zwyczajnym wyhodował czyste odmiany, obecnie określane linią czystą.
2. Podaj różnice między allelem dominującym i recesywnym.
3. Wytłumacz, dlaczego heterozygota jest fenotypowo podobna do homozygoty dominującej, a nie do homozygoty recesywnej.
4. Oblicz prawdopodobieństwo uzyskania osobnika heterozygotycznego pod względem genu b w potomstwie heterozygotycznych rodziców.
5. Określ prawdopodobieństwo uzyskania osobnika o cechach recesywnych w wyniku krzyżowania dwóch heterozygot pod względem genu D.
6. Allel warunkujący czarną barwę sierści królików dominuje nad allelem barwy białej. Krzyżowano ze sobą osobniki homozygotyczne o czarnej sierści z osobnikami homozygotycznymi o sierści białej.
 - a) Podaj genotypy rodziców, stosując symbole literowe.
 - b) Ustal genotypy i fenotypy potomstwa.
 - c) Oblicz prawdopodobieństwo uzyskania osobnika o sierści białej.
7. Czarna barwa sierści (B) myszy dominuje nad barwą brązową (b). Skrzyżowano czarnego samca z brązową samicą i w pokoleniu F₁ uzyskano 50% myszy czarnych i 50% myszy brązowych. Ustal genotypy rodzicielskie. Uzasadnij je zapisem krzyżówki genetycznej. Zadanie wykonaj w zeszycie.

PODSUMOWANIE LEKCJI

Podstawy genetyki klasycznej stworzył pod koniec XIX w. czeski zakonnik **Grzegorz Mendel**.

Mendel sformułował **dwa prawa**, na których opiera się współczesna genetyka:

- **I prawo Mendla** – prawo czystości gamet – do gamety wchodzi po jednym allelu z danej pary genów.
- **II prawo Mendla** – prawo niezależnego dziedziczenia cech – geny leżące na różnych chromosomach dziedziczą się niezależnie od siebie.

s. 272

s. 272

s. 272

s. 275



2. Uzupełnienia i modyfikacje praw Mendla

NA TEJ LEKCJI:

- dowiesz się, jakie są inne sposoby dziedziczenia;
- poznasz dziedziczenie grup krwi i czynnika Rh.

Późniejsze badania genetyczne pozwoliły na uzupełnienie i wprowadzenie wielu nowych obserwacji do praw Mendla.

zjawisko
dominacji cech

Dominacja całkowita

W dominacji całkowitej allel dominujący A nie pozwala na ujawnienie się cech allelu recesywnego a – w takim przypadku heterozygota pod względem fenotypowym

jest taka sama, jak homozygota dominująca. Przykładem jest dziedziczenie koloru kwiatów u grochu czy koloru oczu u człowieka.

Dominacja niepełna

W dominacji niepełnej allel dominujący nie maskuje w pełni działania allelu recesywnego. Jeśli allel czerwonej barwy kwiatów jest dominujący (AA – kwiaty czerwone), a białej – recesywny (aa – kwiaty białe), to heterozygota (Aa) będzie miała kwiaty różowe, np. dziedziczenie barwy kwiatów dziwaczka, wyżłinu czy długości kolb kukurydzy (kolby u mieszańców są pośredniej długości) (ryc. III.2.1.).



Ryc. III.2.1. Dziedziczenie barwy kwiatów u wyżłinu większego (*Antirrhinum majus*, lwiej paszczy). Po skrzyżowaniu kwiatów wyżłinu o barwie białej i czerwonej wszystkie rośliny w pokoleniu F₁ są różowe, natomiast pokolenie F₂ składa się z 1/4 osobników o kwiatach czerwonych, 1/2 o kwiatach różowych i 1/4 o kwiatach białych.

Tab. III.2.1. Fenotyp i genotyp grup krwi A, B, AB, O

Fenotyp (grupa krwi)	Genotyp
A	I ^A I ^A lub I ^A i
B	I ^B I ^B lub I ^B i
AB	I ^A I ^B
O	ii

Współdominowanie, czyli kodominacja

Kodominacja oznacza, że oba allele są równoważne i w stanie heterozygotycznym ujawniają się cechy fenotypowe obu alleli danego genu, np. dziedziczenie grup krwi A i B czy dziedziczenie dereszowatego umaszczenia u koni (siwe plamy na tle jednolitej barwy).



Za dziedziczenie grup krwi odpowiadają trzy różne allele – dwa dominujące I^A i I^B oraz jeden recesywny i (tab. III.2.2.). Allele dominujące warunkują powstawanie tzw. antygenów A i B na powierzchni erytrocytów. Osoby z takimi allelami mają grupę krwi A, B lub AB. Osoby z genotypem ii nie mają na powierzchni erytrocytów antygenów A i B. Są to ludzie z grupą krwi O. Osoby z grupą krwi AB, heterozygoty, mają obie właściwości homozygot rodzicielskich. Występuje tutaj zjawisko współdominowania.

Allele wielokrotne – oznaczają występowanie w populacji więcej niż dwóch alleli danego genu (ryc. III.2.2.). Przykładem są trzy allele I^A , I^B , i^0 warunkujące grupy krwi układu ABO u człowieka.

allele wielokrotne

W dziedziczeniu grup krwi układu ABO relacje między allelami są następujące:

- zarówno allele I^A , jak i I^B dominują całkowicie nad allele i ;
- allele I^A oraz I^B wykazują względem siebie kodominację.

Jeśli rodzice są heterozygotami, ale o różnym składzie alleli, to dziedziczenie grup krwi zachodzi według schematu przedstawionego na rycinie III.2.2.

Grupę krwi określa również antygen D występujący na powierzchni erytrocytu (ryc. III.2.3.). Gen kodujący ten antygen ma dwa allele: dominujący D i recesywny d. Osoby z dominującym allele (DD i Dd) mają grupę krwi Rh+, a u homozygot recesywnych (dd) występuje grupa Rh– (brak antygeny). Cecha ta jest dziedziczona zgodnie z I prawem Mendla.

Znając grupę krwi i antygen D matki i dziecka, można wskazać prawdopodobną grupę krwi ojca. Na przykład matka ma grupę krwi O Rh–, a dziecko grupę krwi A Rh+. Możemy określić, czy ojcem tego dziecka mógł być mężczyzna o grupie krwi AB Rh+. Współcześnie taka metoda ma znaczenie historyczne. Badanie pokrewieństwa między rodzicami a potomstwem wykonujemy za pomocą testów DNA w laboratoriach genetycznych.

P	♂ $I^A i$	×	♀ $I^B i$
F ₁	♂ I^A		♀ i
	♀ I^B	$I^A I^B$ grupa AB	$I^B i$ grupa B
	i^0	$I^A i$ grupa A	ii grupa O

Ryc. III.2.2. Dziedziczenie grup krwi potomstwa heterozygotycznych rodziców.

Genotyp	Antygeny na powierzchni krwinek czerwonych	Fenotyp (grupa krwi)
DD lub Dd	D 	Rh+
dd	brak D 	Rh–

Ryc. III.2.3. Genotypy i fenotypy w układzie Rh.

♂	$I^A D$	$I^A d$	$I^B D$	$I^B d$
♀ $i d$	$I^A i D d$	$I^A i d d$	$I^B i D d$	$I^B i d d$

Genotyp mężczyzny: $I^A I^B D D$ lub $I^A I^B D d$

Gamety wytwarzane przez mężczyznę: $I^A D$; $I^A d$ lub $I^B D$; $I^B d$; $I^A d$; $I^B d$

Genotyp kobiety: $i i d d$

Gamety wytwarzane przez kobietę: $i d$

Genotyp dziecka: $I^A i d d$

Ryc. III.2.4. Testowanie możliwej grupy krwi ojca dziecka. Mężczyzna o grupie krwi AB Rh+ może być ojcem dziecka o grupie krwi A Rh–.



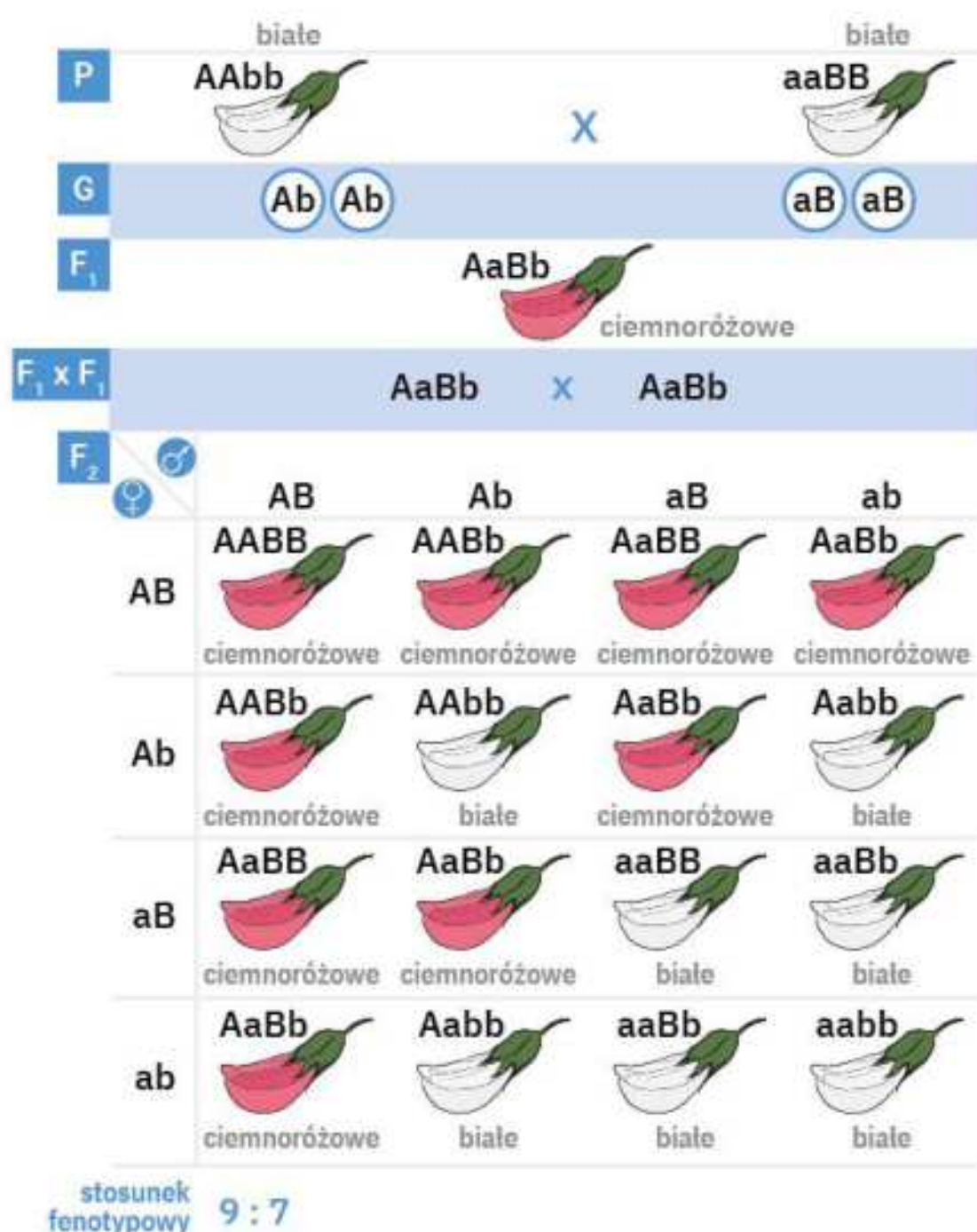
geny dopełniające



Geny dopełniające (komplementarne)

Niektóre cechy zostaną wykształcone pod warunkiem uzupełniania się niezbędnych dwóch lub większej liczby genów. Oznacza to, że gen dominujący jednej pary nie ujawni swojej cechy, jeżeli nie pojawi się gen dominujący z drugiej pary. Przykładem jest dziedziczenie barwy kwiatów u groszku pachnącego.

Allele genów dopełniających rozdzielane są do gamet niezależnie od siebie (zgodnie z II prawem Mendla), ale wpływają na powstanie jednej cechy. Taka zależność powoduje, że w pokoleniu F_2 stosunek fenotypów wynosi 9:7, a nie 9:3:3:1 (jak w niezależnej segregacji cech) (ryc. III.2.5.).



Ryc. III.2.5. Dziedziczenie barwy kwiatów groszku pachnącego. Rośliny rodzicielskie mają kwiaty białe, ponieważ nie mają jednocześnie dominujących alleli obu genów jednocześnie. Osobniki w pokoleniu F_1 są podwójnymi heterozygotami i dlatego ich kwiaty są ciemnoróżowe. W pokoleniu F_2 na 16 genotypów jednocześnie allele A i B (rośliny o kwiatach ciemnoróżowych) ma 9 roślin.



Geny kumulatywne

W przypadku pewnych cech stopień ich ujawnienia się zależy od sumowania się efektów działania poszczególnych genów należących do różnych par alleli zwanych **genami kumulatywnymi**. Odpowiadają one zazwyczaj za cechy ilościowe organizmu – wzrost i jego masę.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Mężczyzna z grupą krwi A i kobieta z grupą krwi B mają jedno dziecko z grupą krwi O. Jakie jest prawdopodobieństwo, że ich następne dziecko będzie miało krew grupy A?
2. Matka i córka mają grupę krwi AB. Jakiej grupy krwi nie może mieć ojciec dziecka?
3. Mężczyzna ma krew grupy A Rh+, kobieta ma krew grupy B Rh+. Ich pierwsze dziecko ma krew grupy A Rh-, a drugie – B Rh+. Podaj genotypy przedstawionych osób. Jakie jest prawdopodobieństwo, że następne dziecko tej pary będzie miało krew grupy AB Rh+?
4. U bydła czarne umaszczenie dominuje nad czerwonym, a jednolite nad laciwym. Hodowca krzyżował osobniki o czarnym, jednolitym umaszczeniu z osobnikami o umaszczeniu czerwonym, laciwym. Otrzymał w pokoleniu F₁ potomstwo odznaczające się wyłącznie cechami dominującymi. Jakie będzie prawdopodobieństwo otrzymania w pokoleniu F₂ osobników czerwonych jednolicie umaszczonych? Wykonaj w zeszycie odpowiednią krzyżówkę genetyczną.
5. Barwa kwiatów groszku pachnącego jest uwarunkowana przez dwie pary odrębnych genów, które współdziałają (wzajemnie się uzupełniają) w tworzeniu barwy purpurowej.
W wyniku krzyżówki dwóch odmian groszku o kwiatach białych (Aabb x aaBB) w pokoleniu F₁ otrzymano osobniki tylko o kwiatach purpurowych. Następnie skrzyżowano dwa osobniki z pokolenia F₁ i w pokoleniu F₂ otrzymano 9 osobników o kwiatach purpurowych i 7 osobników o kwiatach białych.
a) Zapisz w zeszycie odpowiednią krzyżówkę pomiędzy dwoma osobnikami z pokolenia F₁.
b) Podaj wszystkie możliwe genotypy osobników o kwiatach purpurowych występujące w pokoleniu F₂.

PODSUMOWANIE LEKCJI

Allele jednego genu mogą wykazywać **zjawisko dominacji** pełnej, dominacji niepełnej lub kodominacji.

s. 278

Jeden gen może determinować jedną cechę, jednak w populacji występują więcej niż dwa allele tego genu – takie geny nazywamy **wielokrotnymi**.

s. 279

Wiele genów może wpływać na daną cechę – jeśli do jej ujawnienia są niezbędne dwa (lub więcej) geny niealleliczne, to geny te nazywamy **dopełniającymi**, a jeśli wykształcenie cechy zależy od sumowania efektów działania genów, wówczas nazywamy je **kumulatywnymi**.

s. 280



3. Chromosomowa teoria dziedziczenia



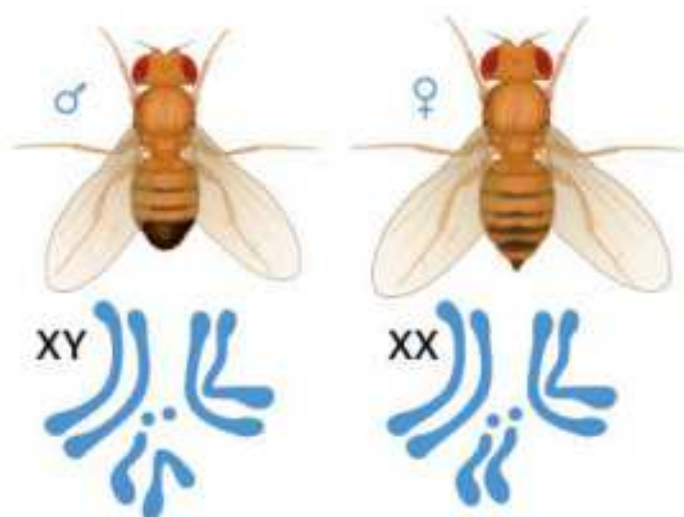
NA TEJ LEKCJI:

- zapoznasz się z założeniami chromosomowej teorii dziedziczenia Morgana;
- dowiesz się, które cechy są sprzężone z płcią;
- poznasz typy determinacji płci.



Prawa dziedziczenia sformułowane przez Grzegorza Mendla stały się podstawą dalszych doświadczeń i eksperymentów. Na początku XX w. zostały potwierdzone i uzupełnione przez amerykańskiego genetyka Thomasa H. Morgana, który jest twórcą **chromosomowej teorii dziedziczenia (ryc. III.3.1.)**.

Ryc. III.3.1. Thomas H. Morgan – amerykański biolog, genetyk, twórca chromosomowej teorii dziedziczenia, którą wraz ze współpracownikami opublikował w 1915 r. W 1926 r. opracował teorię genów. Za swoje osiągnięcia otrzymał w 1933 r. Nagrodę Nobla w dziedzinie fizjologii lub medycyny.



Ryc. III.3.2. Muszka owocowa ma tylko cztery pary chromosomów: trzy pary tzw. autosomów (wszystkie chromosomy z wyjątkiem chromosomów płci) i jedną parę chromosomów płci: XX u samicy i XY u samca.

Obiektem badań Morgana była **muszka owocowa (*Drosophila melanogaster*)**. Owad odznaczał się wieloma cechami dogodnymi do prowadzenia doświadczeń (ryc. III.3.2.):

- niewielkimi rozmiarami ciała (2–3 mm długości),
- łatwością hodowli (szklane naczynie, pożywka składająca się z mąki, owoców i drożdży),
- długością życia jednego pokolenia trwającą ok. 2 tygodni,
- dużą liczbą osobników potomnych w każdym pokoleniu (samica składa 200–300 jaj),
- dużą zmiennością cech morfologicznych uzależnionych od pojedynczych genów, łatwych w obserwacji (np. barwa oczu, kształt skrzydeł),
- wyraźnym dymorfizmem płciowym (występowanie różnic między samicami i samcami),
- małą liczbą chromosomów (cztery pary).

Morgan uzyskał różne odmiany muszki (różniące się kolorem oczu, długością skrzydeł i barwą ciała) i krzyżował je ze sobą. Wnioski z jego badań pozwoliły na sformułowanie chromosomowej teorii dziedziczenia.

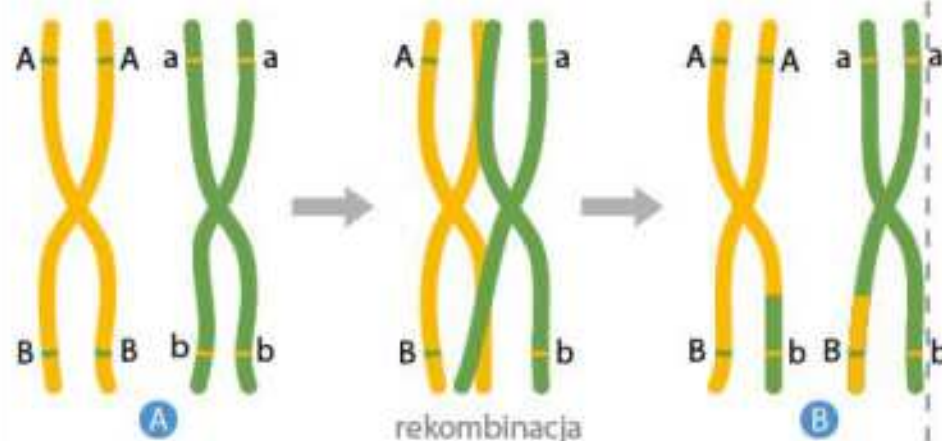


Główne założenia teorii Morgana:

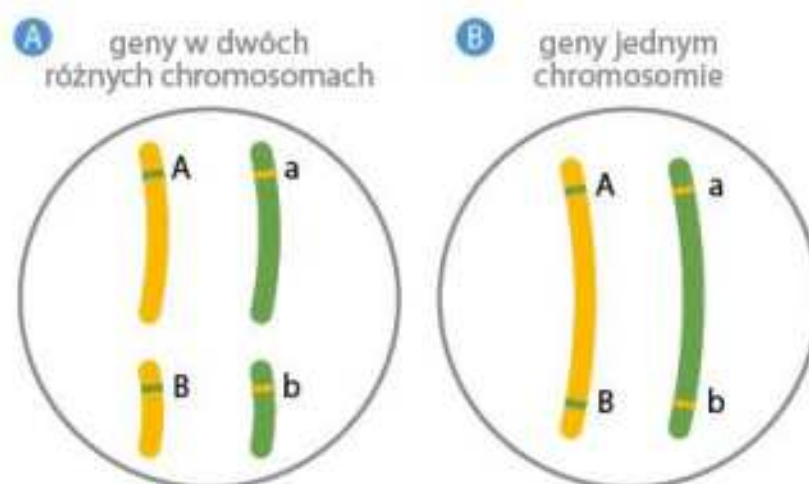
1. Geny są zlokalizowane w chromosomach i mają swoje określone miejsce – tzw. locus (z łac. *locus*, *loci* – miejsce, miejsca).
2. Ułożenie genów na chromosomach jest liniowe (jeden za drugim) w ściśle określonym porządku i kolejności.
3. Allele tego samego genu zajmują to samo miejsce na chromosomach homologicznych.
4. Geny leżące na jednym chromosomie są nazywane genami sprzężonymi.
5. Allele genów sprzężonych znajdujących się w jednym chromosomie mogą ulegać rozdzielaniu podczas *crossing-over* (c.o.). Prowadzi to do powstania nowych kombinacji alleli genów rodzicielskich (dla dwóch genów sprzężonych powstają cztery typy gamet).

Sprzężenie genów

Morgan podczas krzyżowania różnych fenotypowo muszek wykazał, że niektóre geny nie są przekazywane zgodnie z II prawem Mendla. Geny te określamy genami sprzężonymi (**ryc. III.3.3.**). Położone są na tym samym chromosomie i razem przechodzą do gamet. Liczba par genów sprzężonych odpowiada liczbie par chromosomów homologicznych. Rozdzielenie genów sprzężonych jest wynikiem zjawiska *crossing-over*, które prowadzi do powstania osobników o mieszanym fenotypie w porównaniu z formami rodzicielskimi – rekombinacjami. *Crossing-over* zachodzi podczas podziału meiotycznego, który prowadzi do powstania komórek rozrodczych. Proces polega na wymianie odpowiadających sobie odcinków chromosomów homologicznych. Częstość *crossing-over* zależy od odległości między genami – im ta odległość jest większa, tym większe prawdopodobieństwo zajścia *crossing-over*, a tym samym mniejsze między nimi sprzężenie. Pojęcie *sprzężenie* może określać sprzężenie danego genu z chromosomem płci, a także grupę genów położonych w jednym chromosomie (**ryc. III.3.4.**). U muszki owocowej występują cztery grupy genów sprzężonych, tyle ile chromosomów homologicznych.



Ryc. III.3.3. Układ alleli w chromosomach homologicznych przed *crossing-over* (A.) i po *crossing-over* (B.) – powstanie zrekombinowanych gamet



Ryc. III.3.4. Dziedziczenie genów niesprzężonych (A.) i sprzężonych (B.)





Doświadczenia Morgana

Morgan, sprawdzając teorię chromosomową, odkrył, że niektóre cechy ujawniające się u samców muszki owocowej były determinowane przez geny recesywne przekazywane przez samicę (ryc. III.3.5.).



Ryc. III.3.5. Dziedziczenie barwy oczu u muszki owocowej. Czerwona barwa oczu jest warunkowana przez allel dominujący A, a biała barwa oczu – przez allel recesywny a. Krzyżowanie samicy o czerwonej barwie oczu i samca o białej barwie oczu nie jest tożsame z krzyżowaniem samca o czerwonej barwie oczu i samicy o białej barwie oczu, a według II prawa Mendla te dwie różne cechy powinny dziedziczyć się niezależnie, a więc wyniki tych krzyżowań powinny być identyczne.

Morgan założył, że geny determinujące barwę oczu muszki znajdują się na chromosomie X, a chromosom Y nie zawiera alleli genów występujących w chromosomie X.

Kolejne badania wykazały, że wiele cech muszki owocowej jest dziedziczonych właśnie w ten sposób, a więc sprzężonych z płcią.

determinacja płci

Typy determinacji płci

Wyróżnia się dwa podstawowe typy genetycznej determinacji płci:

- **obecność lub brak chromosomu Y warunkuje płć męską** – samice wytwarzają jeden rodzaj gamet zawierający tylko chromosom X (XX), a samce – dwa rodzaje gamet: jeden z chromosomem X, a drugi z chromosomem Y (XY); ten typ występuje u człowieka.
U muszki owocowej płć zależy nie tylko od obecności chromosomu Y, lecz także od stosunku między liczbą chromosomów X a liczbą autosomów.
- **obecność lub brak chromosomu Y warunkuje płć żeńską** – samice wytwarzają dwa różne rodzaje gamet, ponieważ mają dwa różne chromosomy płci; w odróżnieniu od poprzedniego typu chromosomy płci oznaczają się jako Z i W – samice mają chromosomy ZW, a samce ZZ; ten typ determinacji płci występuje u ptaków, gadów, płazów, owadów (niektórych motyli) oraz nielicznych gatunków ryb.



Płeć może być także determinowana przez czynniki środowiskowe (**ryc. III.3.6.**).



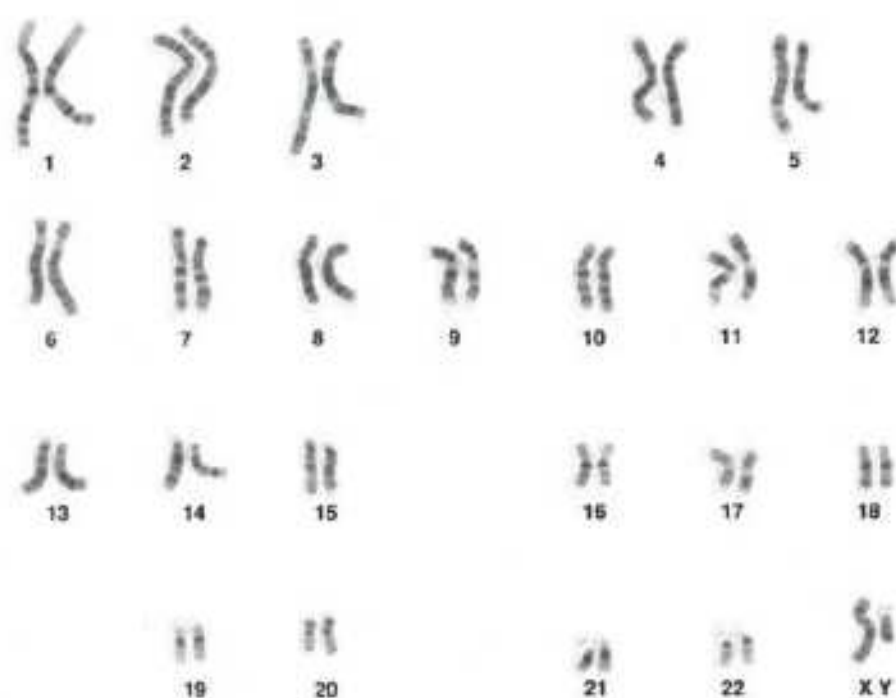
Ryc. III.3.6. U niektórych gatunków żółwi i jaszczurek oraz u wszystkich gatunków krokodyli płeć potomstwa zależy od temperatury inkubacji jaj, np. u aligatorów w temp. 33°C rodzą się tylko samce, a w temp. 30°C – wyłącznie samice.

Dziedziczenie płci u człowieka

determinacja płci
u człowieka

Płeć człowieka jest determinowana genetycznie. Decydują o niej geny znajdujące się na chromosomach, które otrzymujemy od rodziców. Kariotyp człowieka, czyli kompletny zestaw chromosomów, składa się z 23 par – 22 par autosomów i jednej pary chromosomów płci (**ryc. III.3.7.**).

kariotyp człowieka



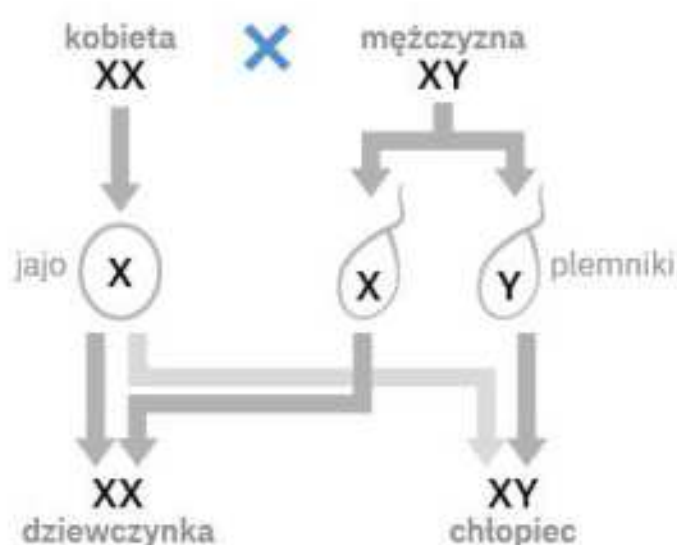
Ryc. III.3.7. Kariogram (fotografia wszystkich chromosomów) zdrowego mężczyzny 46, XY (2 chromosomy płci – chromosom X i chromosom Y).





geny autosomalne

Kobieta ma dwa chromosomy XX, dlatego powstające w jej organizmie komórki jajowe mogą zawierać tylko chromosom płci X. Mężczyzna ma chromosomy XY, stąd przy powstawaniu plemników są dwie możliwości: albo do plemnika trafi chromosom X, albo Y. Szanse są jednakowe, gdyż połowa plemników zawiera chromosom X, a połowa Y (**ryc. III.3.8.**).



Ryc. III.3.8. Mechanizm dziedziczenia płci u człowieka. Komórka jajowa może zawierać wyłącznie chromosom X, natomiast plemniki mogą zawierać albo X, albo Y. W wyniku zapłodnienia plemnikiem z chromosomem X powstanie dziewczynka, a z chromosomem Y – chłopiec. Prawdopodobieństwo urodzenia się dziewczynki lub chłopca jest takie samo i wynosi 50%.

U człowieka w początkowym etapie rozwoju zarodkowego gonady produkujące komórki rozrodcze nie są zróżnicowane. O rozwoju jąder lub jajników decyduje **gen (SRY)**. Znajduje się w chromosomie Y, koduje białka niezbędne do rozwoju gonad w jądra. Brak genu SRY powoduje rozwój jajników.

cechy sprzężone z płcią

Cechy sprzężone z płcią

Cechy sprzężone z płcią to cechy uwarunkowane genami leżącymi na chromosomie X.

Główne geny sprzężone z płcią to:

- gen kodujący białko niezbędne do procesu krzepnięcia krwi; recesywny zmutowany allel tego genu jest odpowiedzialny za **hemofilię**, chorobę objawiającą się upośledzeniem krzepliwości krwi;
- gen mający informację o białku niezbędnym do prawidłowego rozróżniania kolorów; recesywny, zmutowany allel tego genu odpowiada za **daltonizm** – schorzenie polegające na nierozpoznawaniu barw, najczęściej koloru czerwonego i zielonego.



Geny recesywne sprzężone z płcią rzadziej ujawniają się u kobiet niż u mężczyzn. Mężczyźni mogą otrzymać allel recesywny od swoich matek wraz z ich chromosomem X. To wystarczy do ujawnienia się cechy, gdyż na chromosomie Y nie ma odpowiedniego allelu dominującego. Aby u kobiety ujawniła się cecha sprzężona z płcią, musiałaby ona odziedziczyć dwa allele recesywne, po jednym od każdego z rodziców. Kobiety, które są heterozygotami pod względem genów sprzężonych z płcią i mają w swoim genotypie allel dominujący i allel recesywny, nazywamy **nosicielkami**. W ich fenotypie allel recesywny zwykle się nie ujawnia, ale mogą go przekazać swoim dzieciom (ryc. III.3.9.).

W podobny sposób są dziedziczone daltonizm oraz inne choroby uwarunkowane przez geny recesywne sprzężone z płcią (ryc. III.3.10.).

Przypadek 1



Przypadek 2

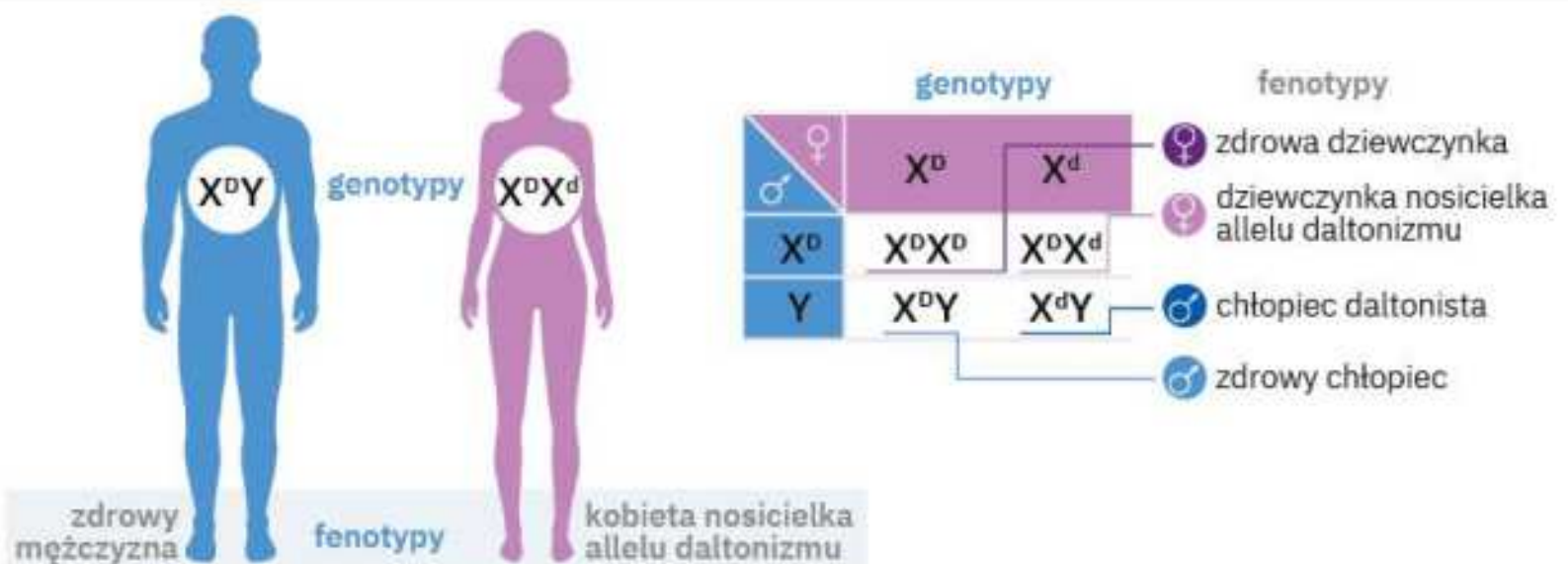


Przypadek 3



H – allel dominujący – warunkuje normalne krzepnięcie krwi
h – allel recesywny – warunkuje wystąpienie hemofilii
(-) – brak allelu
X, Y – chromosomy płci

Ryc. III.3.9. Dziedziczenie hemofilii u człowieka.



Ryc. III.3.10. Dziedziczenie daltonizmu. Jeśli matka jest nosicielką daltonizmu, a ojciec jest zdrowy, to istnieje 50-procentowe prawdopodobieństwo, że każda córka będzie nosicielką daltonizmu, i 50-procentowe prawdopodobieństwo, że każdy syn będzie chory na daltonizm.



ZADANIA DO ROZWIĄZANIA



1. Uzasadnij, dlaczego muszka owocowa – obiekt badań Morgana – jest określana mianem organizmu modelowego.
2. Wyjaśnij na przykładzie hemofilii określenie *nosiciel*.
3. Mężczyzna chory na daltonizm i kobieta, której rodzice byli zdrowi, mają dzieci. Jaka część ich potomstwa będzie chorować na daltonizm?
4. Zdrowa kobieta, której ojciec chorował na hemofilię, i zdrowy mężczyzna mają dzieci. Jaka część ich potomstwa może chorować na hemofilię?
5. Mężczyzna, którego ojciec był daltonistą, i zdrowa kobieta, w której rodzinie ta choroba nie występowała, mają dzieci. Jaka część ich potomstwa będzie chora?

PODSUMOWANIE LEKCJI

s. 286



Geny położone w różnych chromosomach – niesprzężone ze sobą dziedziczą się zgodnie z II prawem Mendla. Geny położone w jednym chromosomie – sprzężone dziedziczą się zależnie od siebie, niezgodnie z II prawem Mendla. Rozdzielenie genów sprzężonych jest wynikiem zjawiska *crossing-over* podczas mejozy. Częstość *crossing-over* zależy od odległości między genami sprzężonymi. Niektóre cechy są uwarunkowane przez geny położone na chromosomach płci, które określamy jako sprzężone z płcią.

s. 284

Wyróżniamy dwa podstawowe typy **determinacji płci**.

s. 285

Kariotyp człowieka składa się z 46 chromosomów: 44 autosomów i 2 chromosomów płci.

s. 284

Płeć człowieka jest determinowana obecnością **chromosomów płci**: u kobiet dwóch chromosomów X, u mężczyzn – jednego chromosomu X i jednego chromosomu Y.

s. 286

Geny sprzężone z płcią, np. ślepotę barw i hemofilia, są warunkowane przez allele recesywne genów położonych na chromosomie X.

s. 286

Geny recesywne sprzężone z płcią ujawniają się zdecydowanie częściej u mężczyzn niż u kobiet.



PODSUMOWANIE PRZED SPRAWDZIANEM

1. Podstawowe reguły dziedziczenia cech. Prawa Mendla i ich znaczenie

- Podstawy genetyki klasycznej stworzył pod koniec XIX w. czeski zakonnik **Grzegorz Mendel**. s. 272
- Mendel sformułował **dwa prawa**, na których opiera się współczesna genetyka: s. 272
 - I prawo Mendla** – prawo czystości gamet – do gamety wchodzi po jednym allelu z danej pary genów. s. 272
 - II prawo Mendla** – prawo niezależnego dziedziczenia cech – geny leżące na różnych chromosomach dziedziczą się niezależnie od siebie. s. 275

2. Uzupełnienia i modyfikacje praw Mendla

- Allele jednego genu mogą wykazywać **zjawisko dominacji pełnej**, dominacji niepełnej lub kodominacji. s. 278
- Jeden gen może determinować jedną cechę, jednak w populacji występują więcej niż dwa allele tego genu – takie geny nazywamy **wielokrotnymi**. s. 279
- Wiele genów może wpływać na daną cechę – jeśli do jej ujawnienia są niezbędne dwa (lub więcej) geny niealleliczne, to geny te nazywamy **dopełniającymi**, a jeśli wykształcenie cechy zależy od sumowania efektów działania genów, wówczas nazywamy je **kumulatywnymi**. s. 280

3. Chromosomowa teoria dziedziczenia

- Geny położone w różnych chromosomach – niesprzężone ze sobą dziedziczą się zgodnie z II prawem Mendla. Geny położone w jednym chromosomie – sprzężone dziedziczą się zależnie od siebie, niezgodnie z II prawem Mendla. Rozdzielenie genów sprzężonych jest wynikiem zjawiska *crossing-over* podczas mejozy. Częstość *crossing-over* zależy od odległości między genami sprzężonymi. Niektóre cechy są uwarunkowane przez geny położone na chromosomach płci, które określamy jako sprzężone z płcią. s. 286
- Wyróżniamy dwa podstawowe typy **determinacji płci** – heterogametyczność męską i heterogametyczność żeńską. s. 284
- **Kariotyp człowieka** składa się z 46 chromosomów: 44 autosomów i 2 chromosomów płci. s. 285
- Płeć człowieka jest determinowana obecnością **chromosomów płci**: u kobiet dwóch chromosomów X, u mężczyzn – jednego chromosomu X i jednego chromosomu Y. s. 284
- **Geny sprzężone z płcią**, np. ślepota barw i hemofilia, są warunkowane przez allele recesywne genów położonych na chromosomie X. s. 286
- **Geny recesywne sprzężone z płcią** ujawniają się zdecydowanie częściej u mężczyzn niż u kobiet. s. 286

SPRAWDŹ, CZY UMIESZ

1. Wskaż różnicę między dziedziczeniem cech z dominacją pełną a dziedziczeniem z dominacją niepełną.
 - a) W dominacji niepełnej homozygota recesywna i heterozygota mają ten sam fenotyp, a w pełnej – różne fenotypy.
 - b) W dominacji niepełnej homozygota dominująca i heterozygota mają ten sam fenotyp, a w pełnej – różne fenotypy.
 - c) W dominacji pełnej homozygota recesywna i heterozygota mają ten sam fenotyp, a w niepełnej – różne fenotypy.
 - d) W dominacji pełnej homozygota dominująca i heterozygota mają ten sam fenotyp, a w niepełnej – różne fenotypy.
2. U grochu żółta barwa nasion dominuje nad zieloną. Skrzyżowano heterozygotyczne osobniki o żółtej barwie nasion z heterozygotycznymi osobnikami o zielonej barwie nasion.
Ustal proporcje fenotypów oraz zapisz w zeszycie odpowiednią krzyżówkę genetyczną.



3. U bydła rasy shorthorn występuje umaszczenie czerwone (CC), białe (cc) oraz dereszowate (Cc). Skojarzono dereszowatego byka z dereszowatą krową.

Ustal proporcje fenotypów oraz zapisz w zeszycie odpowiednią krzyżówkę genetyczną.

4. Grupy krwi układu AB0 człowieka są warunkowane przez gen mający trzy allele: I^A , I^B oraz i . Kobieta mająca grupę krwi AB oraz mężczyzna mający grupę krwi B mają dziecko o grupie krwi A.

a) Zapisz w zeszycie genotypy tych rodziców, stosując podane oznaczenia alleli genu.

b) Narysuj w zeszycie krzyżówkę genetyczną i na jej podstawie określ prawdopodobieństwo, że kolejne dziecko tej pary rodziców będzie miało grupę krwi AB.

5. Samce ptaków mają dwa jednakowe chromosomy płci – ZZ, natomiast samice dwa różne – ZW.

U kury domowej na chromosomie Z występuje gen, który odpowiada za rodzaj upierzenia – dominujący allel tego genu (B) powoduje upierzenie zwane jastrzębiatym (paskowanym), natomiast allel recesywny (b) warunkuje upierzenie jednolicie czarne.

Skrzyżowano jastrzębiatego koguta z jednolicie czarną kurą.

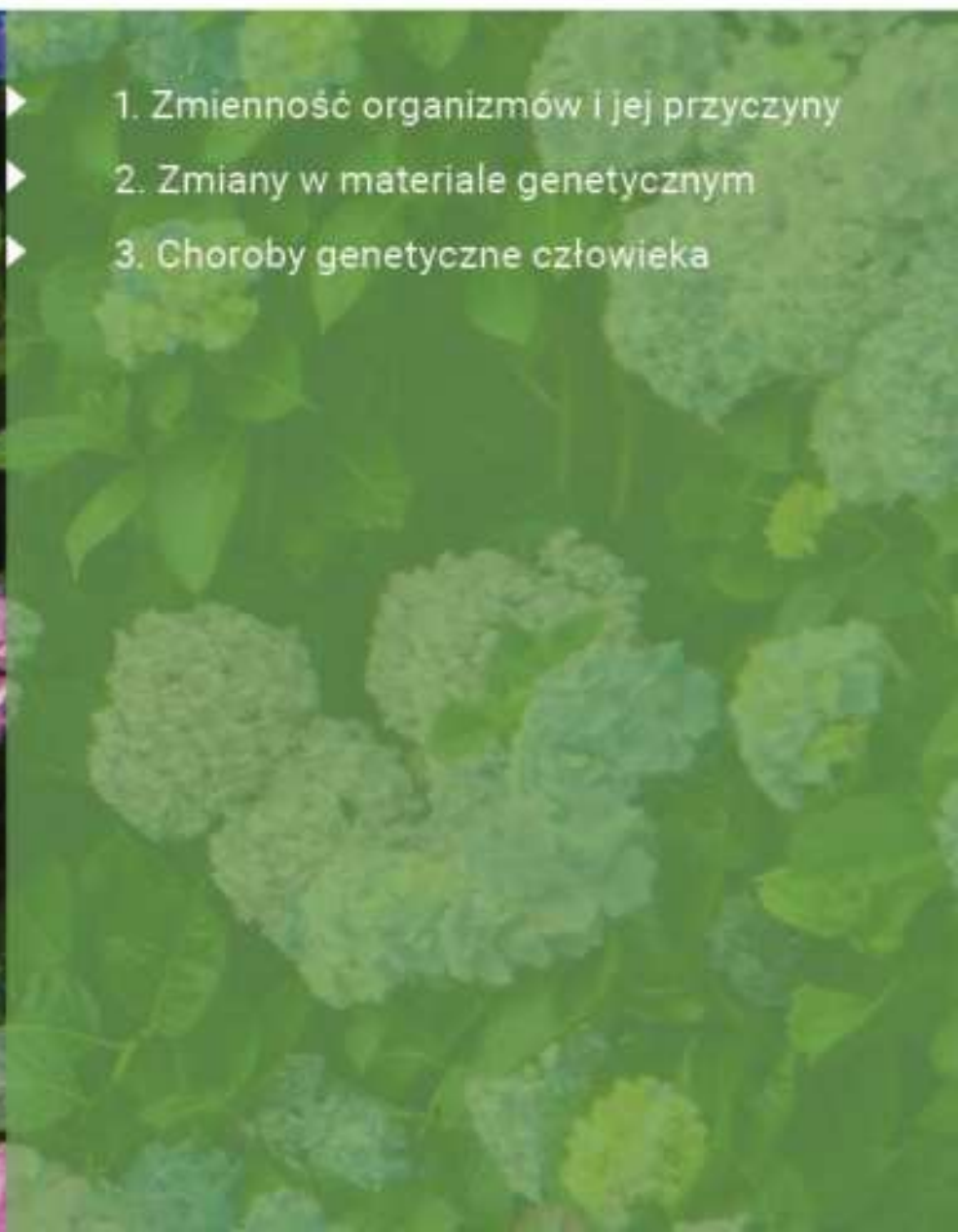
Podaj genotypy rodziców i potomstwa.

6. Hemofilia jest chorobą uwarunkowaną obecnością allelu recesywnego na chromosomie X.

Jakie jest prawdopodobieństwo urodzenia zdrowej córki przez matkę obciążoną genem hemofilii (matka jest nosicielką)?



IV. Zmienność organizmów



- ▶ 1. Zmienność organizmów i jej przyczyny
- ▶ 2. Zmiany w materiale genetycznym
- ▶ 3. Choroby genetyczne człowieka



1. Zmienność organizmów i jej przyczyny

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz pojęcie zmienności organizmów;
- zapoznasz się z typami zmienności.

zmienność
organizmów

Zmienność organizmów to występowanie różnic między osobnikami należącymi do tego samego gatunku. Jest wynikiem różnorodności genotypowej organizmów, co

przekłada się na zróżnicowanie fenotypowe. Osobniki mogą się różnić np. masą ciała, długością kończyn, barwą oczu, kształtem nasion, barwą kwiatów oraz wieloma innymi cechami. Przyczyną tych zmian są czynniki genetyczne i środowiskowe. Zmiany genetyczne w odróżnieniu od środowiskowych są dziedziczone i przekazywane z pokolenia na pokolenie (ryc. IV.1.1.).

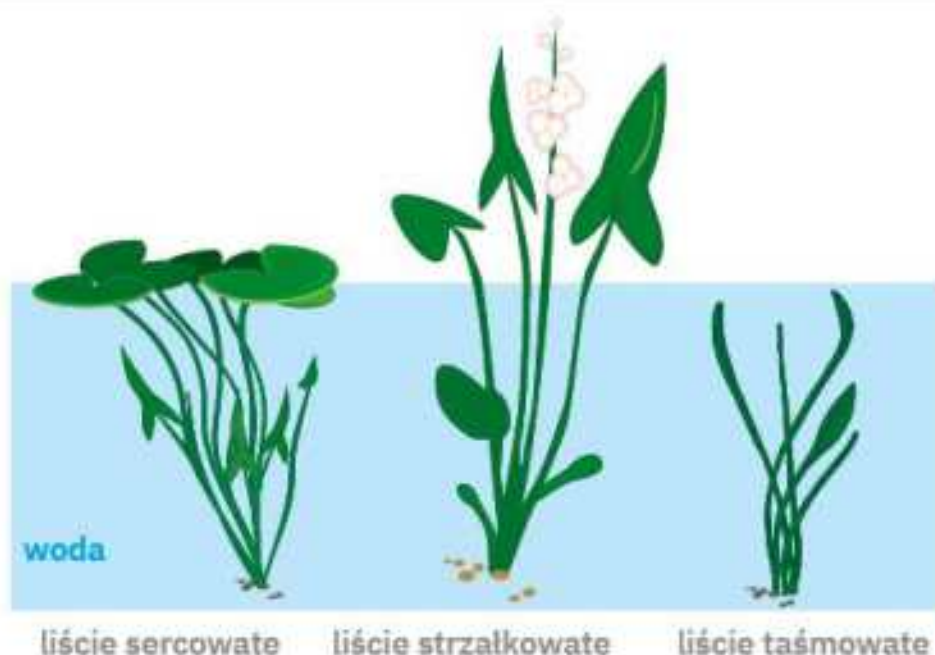


Ryc. IV.1.1. Podstawowe rodzaje zmienności.

zmienność
środowiskowa

Zmienność środowiskowa

Zmienność środowiskowa jest wywołana warunkami zewnętrznymi środowiska, np. ilością i jakością składników pokarmowych, temperaturą, pH środowiska, wilgotnością, wysokością nad poziomem morza czy ilością docierającego światła. Dla przykładu – strzałka wodna ma różny kształt liści w zależności od zanurzenia w wodzie (ryc. IV.1.2.).



Ryc. IV.1.2. U strzałki wodnej (*Sagittaria sagittifolia*) podwodne liście są taśmowate, wiotkie i poddające się ruchowi wody, pozbawione aparatów szparkowych i kutykuli, liście pływające – owalne, a nadwodne – sztywne i strzałkowate.



Kolor kwiatów niektórych roślin zmienia się w zależności od rodzaju podłoża, na którym rosną. Związki chemiczne zawarte w glebie wpływają na pH roztworu wakuoli, co zmienia barwę naturalnych roślinnych barwników – antocyjanów (**ryc. IV.1.3.**).



Ryc. IV.1.3. Kwiaty hortensji ogrodowej (*Hydrangea macrophylla*, czyt. makrofylla) zawierają barwniki – antocyjany, które reagują na zmieniające się wartości współczynnika kwasowości gleby – pH. Jeśli roślina rośnie na podłożu kwaśnym, to ma kwiaty niebieskie, natomiast na glebie o podłożu zasadowym wybarwia się na kolor czerwony.

Zmiany w fenotypie mogą być też spowodowane spożywaniem określonego pokarmu, np. zawarty w pożywieniu królików żółty barwnik ksantofil powoduje żółtą barwę ich tłuszczu. Usunięcie z pokarmu ksantofilu przywraca królikom białą barwę tłuszczu.

Zmienność genetyczna

zmienność
genetyczna

Zróżnicowanie genotypów u osobników jednego gatunku nazywamy zmiennością genetyczną. Zmiany te są przekazywane potomstwu. Jednak każdy potomek pary rodziców ma dla siebie charakterystyczny i неповtarzalny genotyp (**ryc. IV.1.4.**). Podstawą tej zmienności jest rekombinacja materiału genetycznego – zmienność rekombinacyjna – oraz mutacje – zmienność mutacyjna.

Zmienność rekombinacyjna jest procesem prowadzącym do powstania nowych układów genów (nowych genotypów) osobników potomnych różnych od genotypów rodzicielskich. Źródłem zmienności rekombinacyjnej są procesy zachodzące podczas rozmnażania płciowego: *crossing-over*, czyli wymiana odcinków między chromosomami homologicznymi ustawionymi w pary, losowe rozchodzenie się chromosomów w czasie mejozy oraz przypadkowe łączenie się komórek rozrodczych podczas zapłodnienia. Procesy te zostały przedstawione podczas omawiania podziałów komórkowych.

zmienność
rekombinacyjna



Ryc. IV.1.4. Bliźnięta jednojajowe (bliźnięta monozygotyczne) mają identyczny materiał genetyczny, są tej samej płci, a w okresie rozwoju zarodkowego dzielą wspólne łożysko. Powstają w wyniku podziału jednej komórki jajowej po jej zapłodnieniu przez jeden plemnik.

Nowe kombinacje genów osobników potomnych mają istotny wpływ na przystosowanie się do zmian zachodzących w środowisku.

mutacje

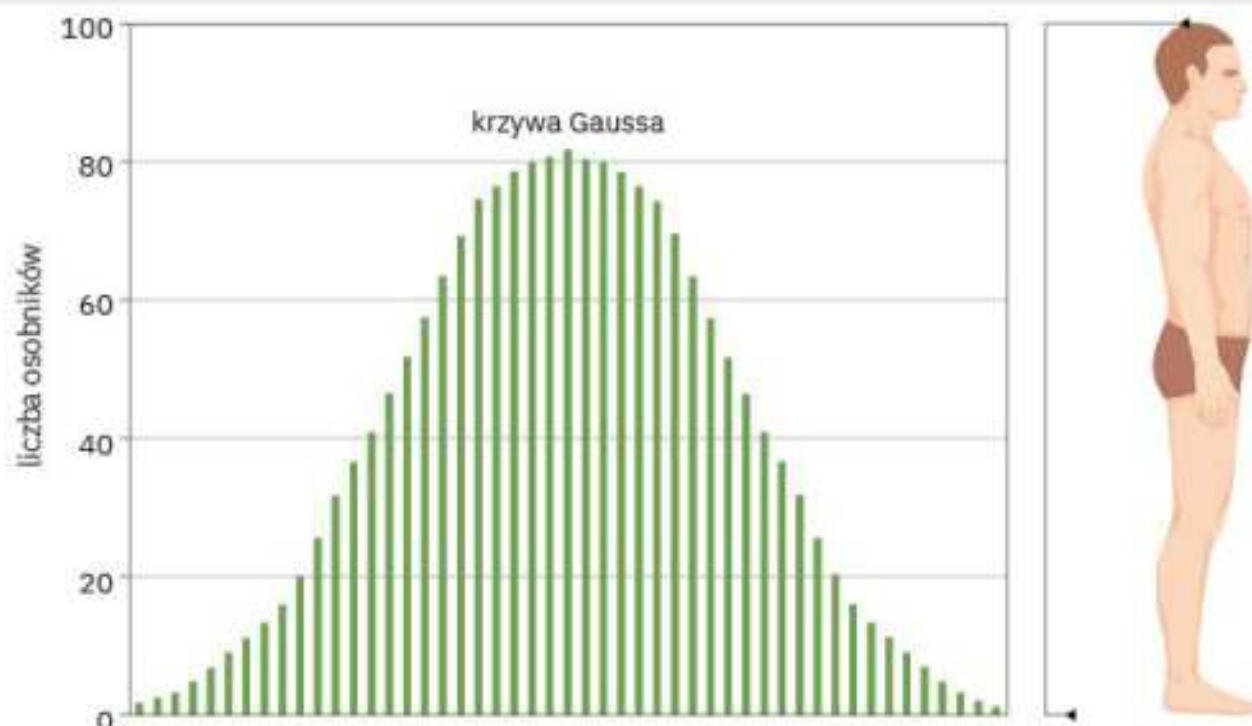
Zmienność mutacyjna prowadzi do powstania trwałych zmian w materiale genetycznym (nowej informacji genetycznej). Zmiany mogą obejmować zarówno pojedyncze geny, jak i duże fragmenty chromosomów czy nawet ich liczbę. Wraz ze zmiennością rekombinacyjną zmienność mutacyjna stanowi czynnik warunkujący ewolucję organizmów żywych.

zmienność ciągła i nieciągła

Zmienność ciągła i zmienność nieciągła

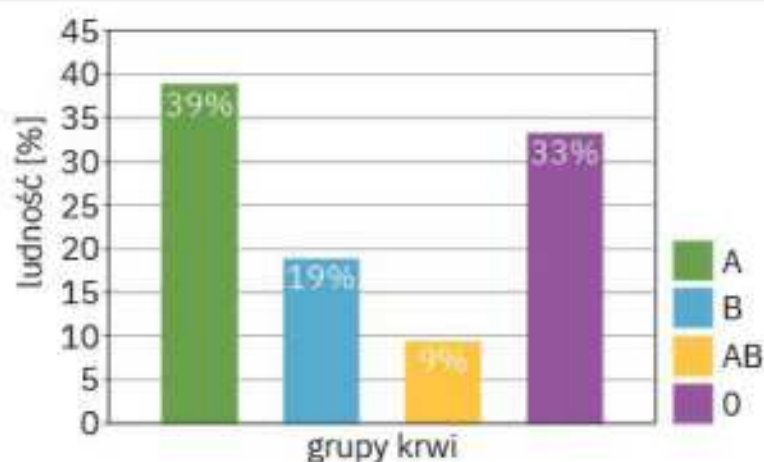
Zmienność genetyczną można podzielić ze względu na rodzaj dziedziczonej cechy i sposób jej dziedziczenia.

Zmienność ciągła dotyczy dziedziczenia cech ilościowych lub rozwoju osobnika, które można zmierzyć, zważyć czy policzyć, np. wzrost, masa ciała, ciśnienie krwi, IQ (iloraz inteligencji). Cechy te zależą od genów kumulatywnych i mogą ulegać zmianom pod wpływem działania czynników środowiska. Ponieważ są to cechy ilościowe, to tworzą przedziały z wieloma wartościami pośrednimi mieszczącymi się między wartością minimum i maksimum (ryc. IV.1.5.).



Ryc. IV.1.5. Rozkład wybranej cechy ilościowej w populacji można przedstawić w postaci wykresów słupkowych. Łącząc wierzchołki słupków, otrzymujemy krzywą w kształcie dzwonu zwaną krzywą rozkładu normalnego (krzywą Gaussa). W każdej populacji wyróżnia się osobniki o skrajnych natężeniach cech (minimalnych i maksymalnych), a większość osobników wykazuje pośrednie natężenie danej cechy. Mierząc wysokość ciała określonej grupy mężczyzn, można stwierdzić, że najwięcej jest osobników o średniej wysokości ciała.

Zmienność nieciągła dotyczy cech jakościowych i dana cecha przyjmuje tylko konkretną postać – nie ma fenotypów pośrednich. Cechy jakościowe są głównie uwarunkowane przez pojedyncze geny. Przykładem zmienności nieciągłej jest występowanie grup krwi czy zdolność zwijania języka w rurkę u człowieka (**ryc. IV.1.6.**).



Ryc. IV.1.6. Procentowy udział grup krwi w Polsce wskazuje, że najwięcej osób ma grupę krwi A, a najmniej – grupę AB. Między grupami krwi nie występują formy pośrednie.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Grążel żółty (*Nuphar lutea*), gatunek wodnej byliny, wytwarza dwa rodzaje liści: podwodne wiotkie i salutowate oraz pływające nadwodne, które są sztywne i skórzaste. Podaj rodzaj zmienności, jaki prezentuje roślina. Uzasadnij swoją odpowiedź.
2. Bliźnięta jednojajowe są genetycznie identyczne. Jeśli po urodzeniu zostaną wychowywane oddzielnie, pojawiają się między nimi różnice. Wyjaśnij ich przyczyny.





3. Wskaż źródła zmienności rekombinacyjnej i wyjaśnij jej znaczenie biologiczne.
4. Wyjaśnij, dlaczego grupy krwi są przykładem zmienności nieciągłej.
5. Wykonaj obserwację opisaną na stronie 405 podręcznika.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- s. 292 ✂ **Zmienność organizmów** może zależeć od czynników środowiskowych (zmienność środowiskowa, niedziedziczna) lub może mieć podłoże genetyczne (zmienność dziedziczna).
- s. 292 **Zmienność środowiskowa** jest uwarunkowana m.in. ilością i jakością składników pokarmowych, temperaturą, pH środowiska i wilgotnością.
- s. 293 **Zmienność o podłożu genetycznym** wynika z procesów rekombinacji (zmienność rekombinacyjna) lub pojawiających się w genomie mutacji (zmienność mutacyjna).
- s. 293 Źródłem **zmienności rekombinacyjnej** są procesy związane z podziałem mejotycznym – *crossing-over* i niezależną segregacją chromosomów podczas tworzenia się gamet.
- s. 294 Wszystkie trwałe zmiany w strukturze genu niewynikające z rekombinacji nazywamy **mutacjami**.
- s. 294 Zmienność ze względu na rodzaj cechy i sposób dziedziczenia dzielimy na **ciągłą** (dotyczącą cech ilościowych) i **nieciągłą** (dotyczącą cech jakościowych).

2. Zmiany w materiale genetycznym

NA TEJ LEKCJI:

- dowiesz się, jakie czynniki wywołują mutacje;
- poznasz rodzaje mutacji i ich skutki.

Tab. IV.2.1. Podział mutacji

Cecha	Rodzaj mutacji
rodzaj komórek	somatyczne
	generatywne
przyczyna	spontaniczne
	indukowane
poziom organizacji materiału genetycznego	genowe
	chromosomowe

Mutacje są trwałymi zmianami w materiale genetycznym komórki. Mogą pojawiać się samoistnie lub na skutek działania szeregu czynników (**tab. IV.2.1.**).

Mutacje somatyczne zachodzące w komórkach somatycznych dotyczące wybranej części organizmu nie są dziedziczone. Natomiast **mutacje generatywne** zachodzące w komórkach rozrodczych – gametach – są dziedziczone, czyli przekazywane następnym pokoleniom.

mutacje
spontaniczne

Mutacje spontaniczne pojawiają się w wyniku błędów podczas procesu replikacji DNA. Większość tych błędów zostaje wykryta i poprawiona, jednak zdarzają się np. źle wstawione nukleotydy.

mutacje
indukowane

Mutacje indukowane powstają pod wpływem działania czynników mutagennych zwanych mutagenami (**tab. IV.2.2.**).

Tab. IV.2.2. Rodzaje mutagenów

Typ mutagenu	Przykład	Źródło mutagenu
fizyczne	promieniowanie jonizujące, np. promieniowanie X lub gamma	aparatura rentgenowska, odpady radioaktywne, awarie reaktorów jądrowych
	promieniowanie ultrafioletowe (UVA, UVB, UVC)	światło słoneczne, źródła sztuczne – solarium, kwarcówki, lampy stosowane w utwardzaniu polimerów, lampy bakteriobójcze, lampy rtęciowe, światła halogenowe, niektóre typy lasera
	promieniowanie kosmiczne	promieniowanie z przestrzeni kosmicznej składające się głównie z protonów, cząstek alfa, elektronów i nielicznych cięższych jąder
chemiczne	niektóre kwasy i ich sole, np. kwas azotowy III (HNO_2)	środki konserwujące w artykułach spożywczych, np. azotan sodu
	benzopiren	dym tytoniowy, spaliny samochodowe, składnik smogu wskutek ogrzewania budynków mieszkalnych węglem lub drewnem, pieczone, grillowane i wędzone mięso, zboża i warzywa uprawiane na zanieczyszczonych glebach
	reaktywne formy tlenu, np. nadtlenek wodoru	powstają podczas zaburzeń homeostazy w organizmie na skutek infekcji, zatruc toksynami, napromieniowania
biologiczne	kolchicina	alkaloid występujący w zimowicie jesiennym stosowanym w leczeniu dny moczanowej i niektórych nowotworów
	niektóre wirusy, np. wirus opryszczki, wirus zapalenia wątroby typu B i C (HBV i HCV), wirus brodawczaka ludzkiego	zakażenie przez płyny ustrojowe, np. krew
	niektóre mikroorganizmy, np. grzyby pleśniowe produkujące aflatoksyny	grzyby powodujące pleśnienie artykułów spożywczych, mogą występować w zbożach, orzechach, kukurydzy, przyprawach, olejach na bazie roślin, suszonych owocach i warzywach, mięsie i nabiale pochodzenia zwierzęcego

Pod wpływem działania tych czynników dochodzi do zmiany struktury łańcucha DNA. Uszkodzenia są groźne dla komórek i prowadzą do powstania wad rozwojowych i chorób nowotworowych.

Mutacje mogą zachodzić na różnych poziomach organizacji materiału genetycznego.

Mutacje genowe – zmiany nukleotydów

mutacje
genowe

Mutacje genowe (punktowe) polegają na zmianach w sekwencji nukleotydów we fragmencie cząsteczki DNA. Zachodzą najczęściej podczas replikacji DNA.





W zależności od rodzaju zmian wyróżniamy trzy główne rodzaje mutacji genowych:

- **substytucje** – polegają na zamianie jednego nukleotydu na inny,
- **delecje** – odbywają się przez wypadnięcie jednego lub kilku nukleotydów,
- **insercje** – zachodzą przez wstawienie jednego lub kilku dodatkowych nukleotydów.

Substytucje mogą mieć różne konsekwencje dla komórki. Jeśli pomimo zmiany nukleotydu aminokwas pozostaje niezmienny, mutacja nie powoduje zmiany w budowie białka. Jeśli zmieniony nukleotyd koduje inny aminokwas, wówczas może powstać **białko o innej budowie i właściwościach**, co może prowadzić do wystąpienia u człowieka chorób jednogenowych, np. fenyloketonurii czy anemii sierpowatej. Jeśli wskutek substytucji nowy nukleotyd okaże się jednym z trzech kodonów **STOP**, wtedy synteza cząsteczki białka zostanie w tym miejscu zahamowana i powstanie krótszy łańcuch polipeptydowy (**ryc. IV.2.1.**).

Delecja i insercja mogą powodować bardzo poważne skutki w informacji genetycznej. Jeśli liczba dodanych lub brakujących nukleotydów jest inna niż trzy lub nie jest wielokrotnością trzech, to prowadzi to do **przesunięcia (zmiany) ramki odczytu w genie**. Ramka odczytu oznacza serię kodonów w sekwencji DNA, która rozpoczyna się od kodonu START, a kończy się kodonem STOP. Powstaje wówczas białko o zmienionej kolejności aminokwasów.

mutacje
chromosomowe

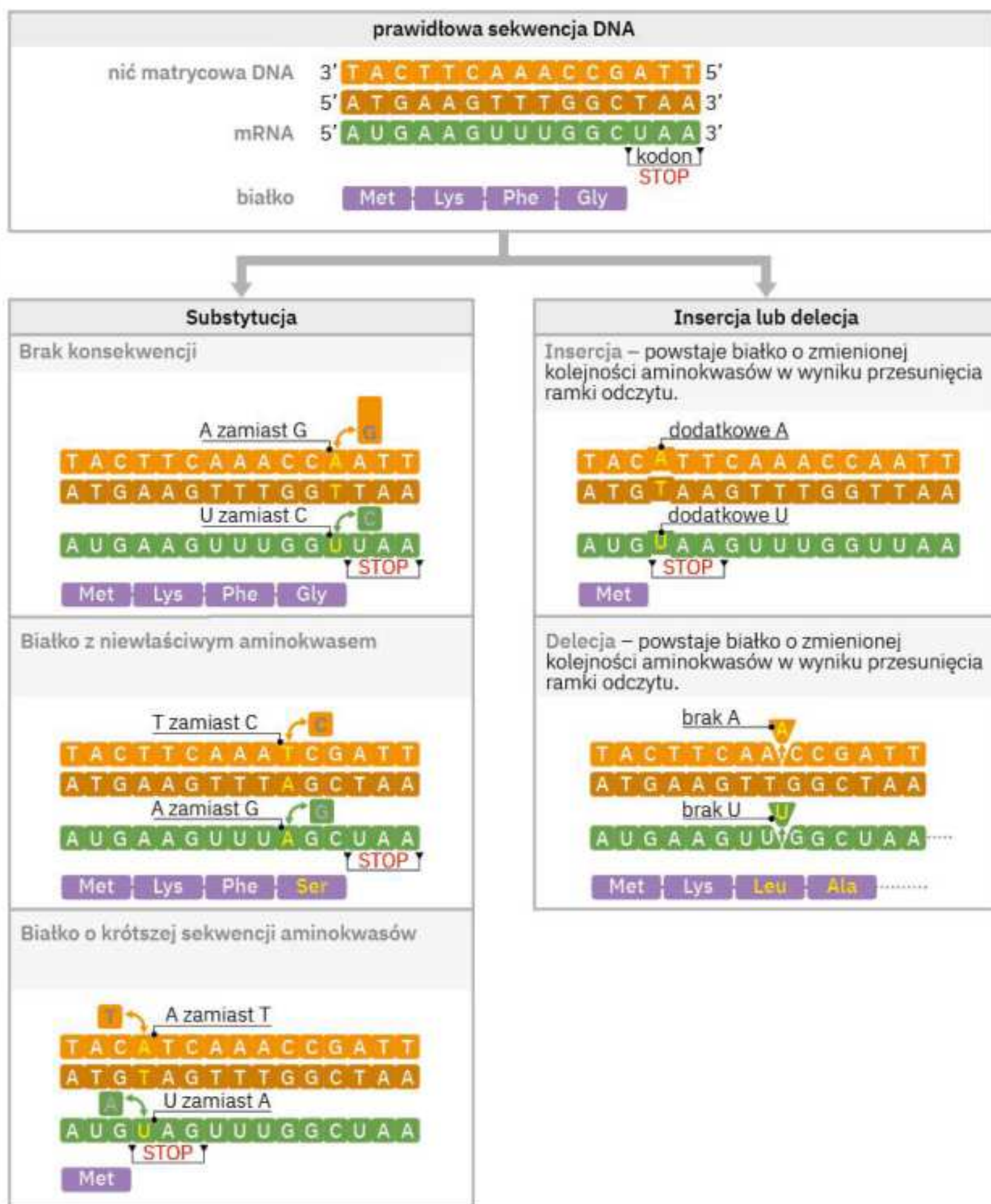
Mutacje chromosomowe – zmiany w chromosomach

Mutacje chromosomowe polegają na zmianie odcinka, całego chromosomu lub liczby chromosomów. Przeważnie zachodzą podczas nieprawidłowej wymiany odcinków między chromatydami chromosomów homologicznych w procesie *crossing-over*. Mutacje obejmujące zmiany w strukturze chromosomów nazywamy **mutacjami chromosomowymi strukturalnymi**. W zależności od zmian w strukturze chromosomu wyróżniamy:

- **delecje (deficjencje)** – polegają na usunięciu części chromosomu,
- **duplikacje** – w ich wyniku następuje podwojenie części chromosomu,
- **inwersje** – odbywają się przez odwrócenie fragmentu chromosomu o 180°,
- **translokacje** – zachodzą przez przemieszczenie fragmentu chromosomu na inny chromosom niehomologiczny (**ryc. IV.2.2.**).

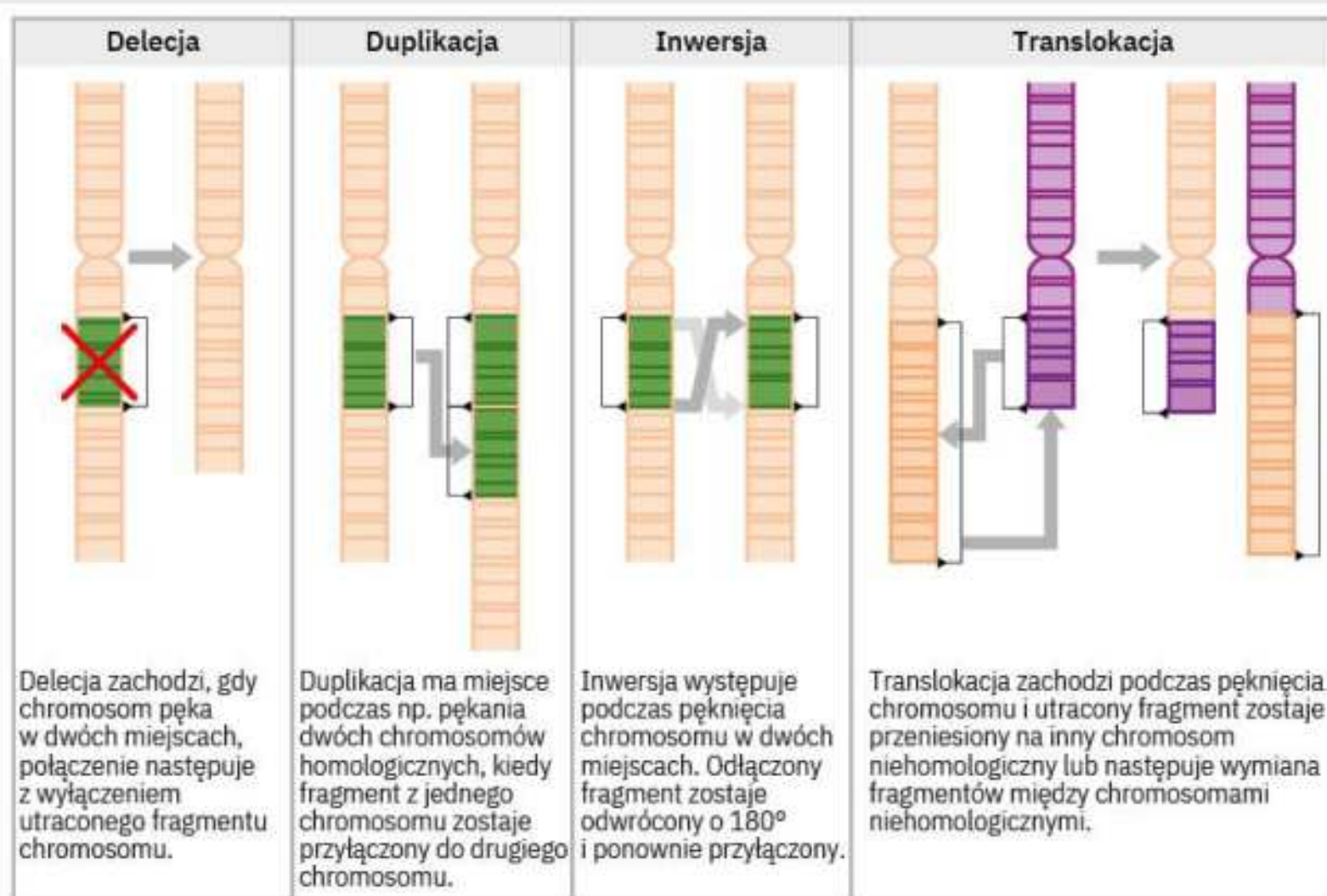
mutacje
chromosomowe
liczbowe

Mutacje chromosomowe liczbowe są wynikiem zwiększenia lub zmniejszenia liczby pojedynczych chromosomów lub całego zestawu chromosomów. Przyczyną mutacji są błędy w rozchodzeniu się chromosomów lub chromatyd w trakcie mitozy lub mejozy. Powstają wtedy gamety (**$n+1$** , **$n-1$**), z których po zapłodnieniu może rozwinąć się osobnik o innej niż podstawowa liczbie chromosomów (**$2n+1$** , **$2n-1$**). U człowieka mogą być przyczyną chorób, a także doprowadzić do śmierci.



Ryc. IV.2.1. Rodzaje mutacji punktowych.

mutacje punktowe



Ryc. IV.2.2. Zmiany struktury chromosomów.



Ryc. IV.2.3. Muł (*Equus mule*) jest mieszańcem międzygatunkowym klaczy konia domowego z ogierem osła. Jego kariotyp składa się z 63 chromosomów (konie mają 64, a osły 62). Nierówna liczba chromosomów rodziców powoduje, że potomstwo muła jest najczęściej bezpłodne. Muły lepiej niż konie znoszą niekorzystne warunki środowiska, takie jak wysoka temperatura i brak wody.

Zwielokrotnienie liczby wszystkich chromosomów u roślin jest korzystne szczególnie dla rolnictwa. Dzięki mutacji rośliny lepiej się rozwijają, są większe i dają wyższe plony.

Znane są organizmy, których genomy składają się z zestawów chromosomów pochodzących od różnych gatunków. Powstają w wyniku krzyżówek międzygatunkowych, np. pszenżyto (6n), którego genom to dwa różne gatunki zbóż: pszenica (*Triticum* – 4n) oraz żyto zwyczajne (*Secale cereale* – 2n). Wśród zwierząt takie gatunki występują stosunkowo rzadko (ryc. IV.2.3.).



skutki mutacji

Skutki mutacji

Większość pojawiających się w organizmie mutacji ma **charakter neutralny (obojętny)**. Ich pojawienie się nie powoduje żadnych zmian w fenotypie.

Mutacje mogą mieć także **charakter niekorzystny (negatywny)**. W ich wyniku powstają białka, które nie mogą prawidłowo spełniać swoich funkcji, co prowadzi do poważnych zaburzeń w funkcjonowaniu komórek, a nawet do ich śmierci. Mutacje pojawiające się w komórkach rozrodczych organizmu wielokomórkowego są przenoszone na cały organizm potomny, ponieważ dziedziczą je wszystkie jego komórki. Mutacje w komórkach somatycznych, np. mięśni, wątroby czy skóry, nie mają istotnego wpływu na organizm, ponieważ funkcję takiej uszkodzonej komórki przejmują inne komórki tworzące tkanki. Mutacje takie nie są dziedziczone. Mutacje DNA prowadzą do powstania chorób genetycznych i nowotworów. Choroby nowotworowe są wynikiem mutacji w komórkach somatycznych, a także w genach kontrolujących podziały komórkowe.

dziedziczenie mutacji

W procesie tworzenia nowotworu uczestniczą trzy klasy genów: onkogeny, geny supresorowe i geny naprawcze DNA. **Onkogeny** wywodzą się z protoonkogenów (ryc. IV.2.4.).

Mutacje w protoonkogenach sprawiają, że tworzą się onkogeny. Ich aktywacja zapobiega śmierci komórek i stymuluje ich wzrost. Proces ten prowadzi do wzrostu liczby komórek. Niektóre rodzaje nowotworów odznaczają się specyficzną translokacją chromosomów, w wyniku której może nastąpić połączenie się dwóch protoonkogenów w nowy gen o cechach onkogeny, np. w chronicznej białaczce szpikowej. Powstanie nowotworu poprzedza także mutacja genu supresorowego. Wówczas gen supresorowy traci swoje funkcje, a komórki z uszkodzonym DNA mogą kontynuować cykl komórkowy. W niektórych rodzinach występuje dziedziczna predyspozycja do zachorowalności na choroby nowotworowe, np. nowotwór piersi. Może to wynikać z mutacji genów supresorowych w komórkach szlaku płciowego (komórkach pośrednio lub bezpośrednio poprzedzających powstawanie gamet) lub genów naprawczych DNA. Choroby nowotworowe charakteryzują się długim i często bezobjawowym okresem rozwoju, ponieważ powstanie nowotworu najczęściej wymaga od 1 do 10 mutacji, np. 4 mutacji w przypadku nowotworu wątroby, 5–7 mutacji w przypadku raka płuc, 10 mutacji przy nowotworze jelita grubego.

W skrajnych przypadkach mutacje niekorzystne są bezpośrednią przyczyną śmierci osobnika, nawet jeszcze przed jego urodzeniem. Takie mutacje nazywamy **mutacjami letalnymi**. Natomiast mutacje prowadzące do wywołania zmian chorobowych, zmniejszające zdolności rozrodcze lub powodujące przedwczesną śmierć, to **mutacje subletalne**.



Ryc. IV.2.4. Geny odpowiedzialne za regulację cyklu komórkowego to m.in. protoonkogeny i geny supresorowe (anty-onkogeny). Protoonkogeny regulują prawidłowy wzrost i podział komórek, a geny supresorowe zatrzymują podziały komórek z defektami genetycznymi.



Zdarzają się także **mutacje korzystne (pozytywne)**, które zwiększają szanse przeżycia osobnika w zmieniających się warunkach środowiska.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wyjaśnij pojęcie *czynnik mutageny*. Omów wpływ na organizm człowieka trzech wybranych czynników mutagennych.
2. Mutacje mogą występować zarówno w komórkach rozrodczych, jak i w komórkach somatycznych. Podaj, które z tych mutacji mają istotne znaczenie w procesie ewolucji. Uzasadnij swoją odpowiedź.
3. Wytłumacz, dlaczego niektóre mutacje niekorzystne są utrwalane w populacji.

PODSUMOWANIE LEKCJI

s. 296 Mutacje dzieli się na **spontaniczne i indukowane**. Mutacje spontaniczne to wynik błędów popełnionych podczas replikacji. Często są korygowane przez enzymy systemu naprawczego organizmu.

s. 297 **Mutacje indukowane** są wynikiem działania czynników mutagennych: fizycznych, chemicznych i biologicznych.

s. 297 Mutacje można podzielić na **genowe** (punktowe) oraz **chromosomowe**.

s. 297 **Mutacje genowe** mogą polegać na zastąpieniu jednego nukleotydu innym nukleotydem (substytucje), wypadnięciu jednego lub kilku nukleotydów, a nawet połowy chromosomu (delecja) lub wstawieniu jednego lub kilku nukleotydów (insercja).

s. 298 Wśród **mutacji chromosomowych** wyróżniamy mutacje strukturalne i liczbowe.

s. 298 **Mutacje chromosomowe** strukturalne powodują zmianę w strukturze chromosomów. Zalicza się do nich: duplikacje, deficyjencje (delecje), inwersje i translokacje.

s. 298 Mutacje **chromosomowe liczbowe** to zmiana w liczbie pojedynczych chromosomów, całych zestawów chromosomów w obrębie jednego gatunku lub wskutek krzyżowania się osobników dwóch różnych gatunków.

s. 301 Mutacje mają **różny charakter**. Niektóre mogą być **neutralne**, inne – **niekorzystne** i mogą powodować liczne choroby, w tym nowotworowe, a nawet śmierć osobnika. Tylko nieliczne mutacje są **korzystne**.

s. 301 Zmiany wywołane mutacjami w komórkach somatycznych nie są przekazywane potomstwu. Mutacje, które zaszły w komórkach płciowych, są **dziedziczone**.



3. Choroby genetyczne człowieka

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz choroby jednogenowe i chromosomalne;
- dowiesz się, na czym polega diagnostyka chorób genetycznych.

Szereg chorób występujących u ludzi ma podłoże genetyczne. Ze względu na zakres zmian w strukturze DNA dzielimy je na:

podział chorób
genetycznych

- **jednogenowe** (punktowe) – wywołane mutacjami w jednym genie, np. fenyloketonuria, daltonizm, hemofilia;
- **chromosomalne** – spowodowane zmianą struktury lub liczby chromosomów, np. zespół Downa, zespół Turnera;
- **wieloczynnikowe** (wielogenowe) – spowodowane mutacjami różnych genów, a także spowodowane czynnikami środowiskowymi lub trybem życia, np. autyzm, schizofrenia, nadciśnienie tętnicze, cukrzyca.

Choroby genetyczne jednogenowe są wynikiem mutacji genów DNA jądrowego. Dziedziczenie tych chorób zależy od miejsca zachodzenia mutacji. Jeżeli mutacja wystąpiła w genie znajdującym się w autosomie, wówczas choroba dziedziczy się w sposób autosomalny. Natomiast mutacja, która zaszła w genie położonym w chromosomie płci, dziedziczy się w sposób sprzężony z płcią.

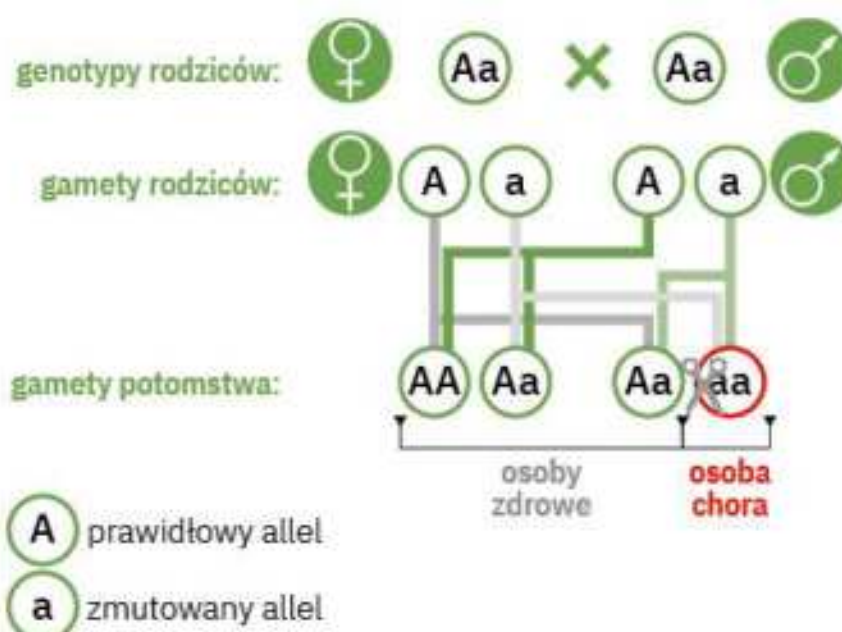
dziedziczenie
chorób
genetycznych

Choroby dziedziczone autosomalnie recesywnie

Objawy chorób autosomalnych recesywnych ujawniają się tylko u homozygot recesywnych, czyli osób z dwoma wadliwymi, recesywnymi allelami genu. U heterozygot z jedną wadliwą wersją genu mutacja się nie ujawni (ryc. IV.3.1.).

Anemia sierpowata (niedokrwistość sierpowatokrwinkowa) jest spowodowana mutacją w genie kodującym jedną z podjednostek hemoglobiny. Eryocyty osoby chorej na anemię sierpowatą przybierają charakterystyczny, sierpowaty kształt, co wpływa na zmniejszenie transportu tlenu do tkanek.

Krwinki osoby z anemią sierpowatą mają krótszy czas życia w porównaniu z krwinkami osoby zdrowej. Choroba objawia się niedokrwistością (obniżoną ilością hemo-



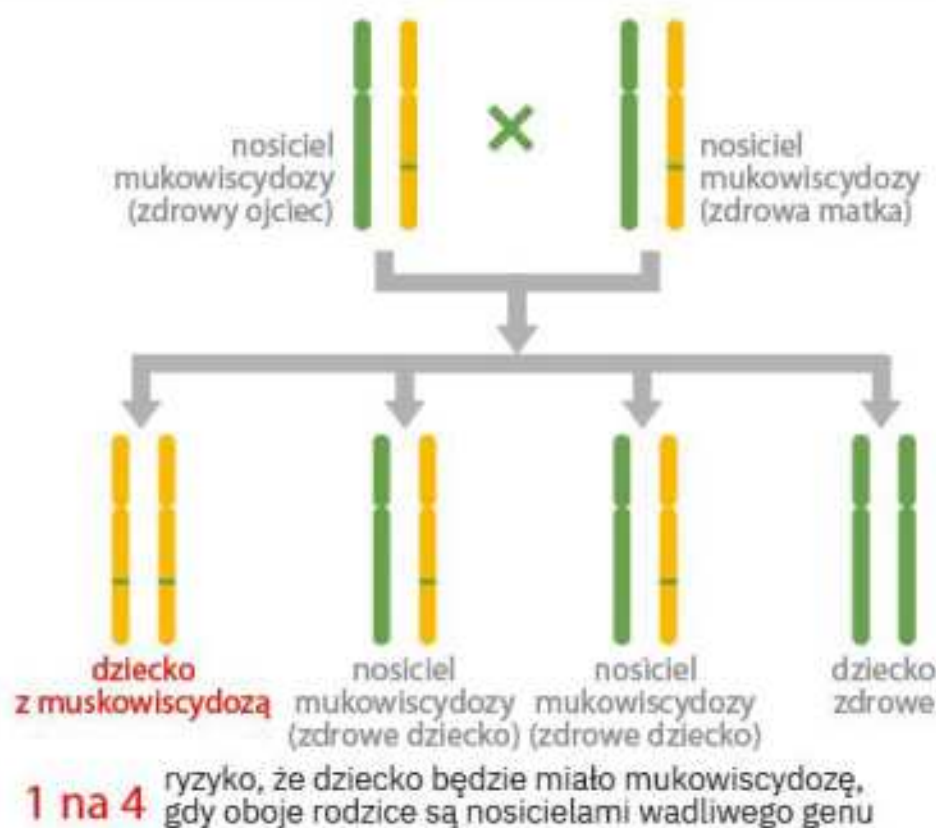
Ryc. IV.3.1. Dziedziczenie autosomalne recesywne.



globiny) i niedotlenieniem tkanek organizmu, a także nawracającymi infekcjami, bólami stóp i dłoni oraz powiększeniem wątroby i śledziony. Leczenie anemii sierpowatej polega głównie na łagodzeniu objawów, a czasami stosuje się środki farmakologiczne pobudzające produkcję erytrocytów w szpiku lub przeprowadza się przeszczep szpiku kostnego.

Mukowiscydoza jest najczęstszą chorobą genetyczną, którą stwierdza się u ludzi rasy białej (ryc. IV.3.2.). Powstaje w wyniku ponad 800 mutacji pojedynczego genu kodującego białko transportujące, które buduje kanały chlorkowe w błonie komórkowej. Nieprawidłowo zbudowany kanał chlorkowy transportuje substancje przez

błonę komórkową w sposób wadliwy. Prowadzi to do ogólnoustrojowych objawów, szczególnie widocznych w układzie oddechowym i pokarmowym. Gęsty i lepki śluz gromadzący się w układzie oddechowym (oskrzela, płuca) jest doskonałą pożywką dla drobnoustrojów chorobotwórczych, powoduje częste infekcje i utrudnia wymianę gazową. W układzie pokarmowym choroba prowadzi do m.in. niewydolności wątroby i zaburzeń wydzielniczych trzustki (śluz zlepia kanaliki trzustkowe i blokuje wydzielanie enzymów trzustkowych). Leczenie mukowiscydozy polega przede wszystkim na leczeniu objawów choroby – dzięki specjalnym lekom wydzielina staje się płynna. U niektórych pacjentów stosuje się wspomagająco antybiotykoterapię.



Ryc. IV.3.2. Dziedziczenie mukowiscydozy.



Ryc. IV.3.3. W Polsce u wszystkich noworodków stosuje się badania przesiewowe umożliwiające wczesne wykrycie fenyloketonurii. Badanie wykonuje się przez pobranie kilku kropli krwi z pięty każdego noworodka, który ukończył 72 godziny życia, a w próbce oznacza się zwiększone stężenie fenyloalaniny. Dieta uboga w fenyloalaninę pozwala na normalny rozwój i chroni przed upośledzeniem.





Leczenie polega na stosowaniu przez całe życie diety ubogiej w fenylalaninę (tym samym ubogiej w białko). Dlatego istotne jest wczesne wykrycie fenylketonurii, ponieważ dziecko chore na tę chorobę rodzi się z nieuszkodzonym ośrodkowym układem nerwowym. W czasie ciąży wątroba zdrowej matki (nawet jeśli jest nosicielką zmutowanego genu) chroni prawidłowy metabolizm fenylalaniny u płodu (**ryc. IV.3.3.**).

Albinizm (bielactwo) to choroba spowodowana brakiem enzymu tyrozynyazy przekształcającego prekursor melaniny – tyrozynę – w barwnik melaninę. Melanina nadaje barwę komórkom skóry, włosów oraz tęczówki oka. Niedobór lub brak melaniny powoduje, że osoby chore na albinizm (albinosi) mają białe włosy, rzęsy i brwi oraz bardzo jasną skórę i bezbarwne tęczówki oczu (**ryc. IV.3.4.**).

Chorzy są szczególnie wrażliwi na promieniowanie słoneczne (UV), co przejawia się m.in. światłowstrętem, powstawaniem pęcherzy i większym zrogowaceniem skóry. U albinosów wzrasta również prawdopodobieństwo zachorowania na nowotwory skóry. Albinizmu nie można leczyć, natomiast można zmniejszyć niepożądane skutki przez ochronę skóry przed działaniem promieniowania słonecznego.

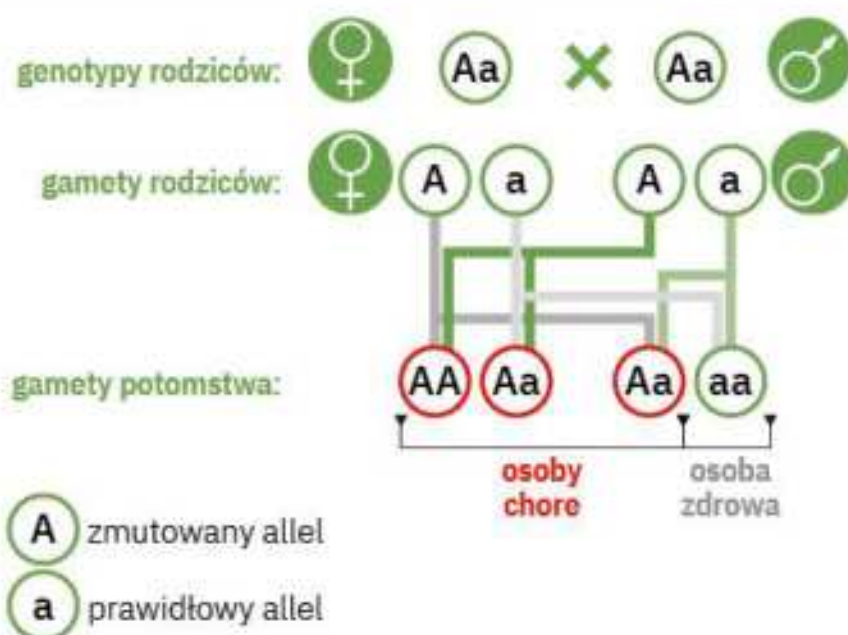


Ryc. IV.3.4. Częstość występowania albinizmu u ludzi wynosi średnio od 1:5000 do 1:15 000, w niektórych populacjach może być wyraźnie wyższa, np. w Tanzanii czy niektórych grupach etnicznych w Afryce Południowej. W niektórych wierzeniach afrykańskich uważa się, że części ciała albinosów mają magiczną moc, co stało się powodem prześladowań osób chorych na albinizm.

Choroby dziedziczone autosomalnie dominująco

Choroby dziedziczone autosomalnie dominująco są stwierdzane znacznie rzadziej niż choroby dziedziczone recesywnie. Objawy tych chorób ujawniają się przede wszystkim u heterozygot, ale mogą chorować także osoby będące homozygotami (**ryc. IV.3.5.**).

Chorobą dziedziczną autosomalnie dominującą jest **choroba Huntingtona** (czyt. hantingtona). Wywołuje ją mutacja pojedynczego genu, który koduje białko nazwane huntingtyną. Zmienione białko gromadzi się w postaci złogów w komórkach



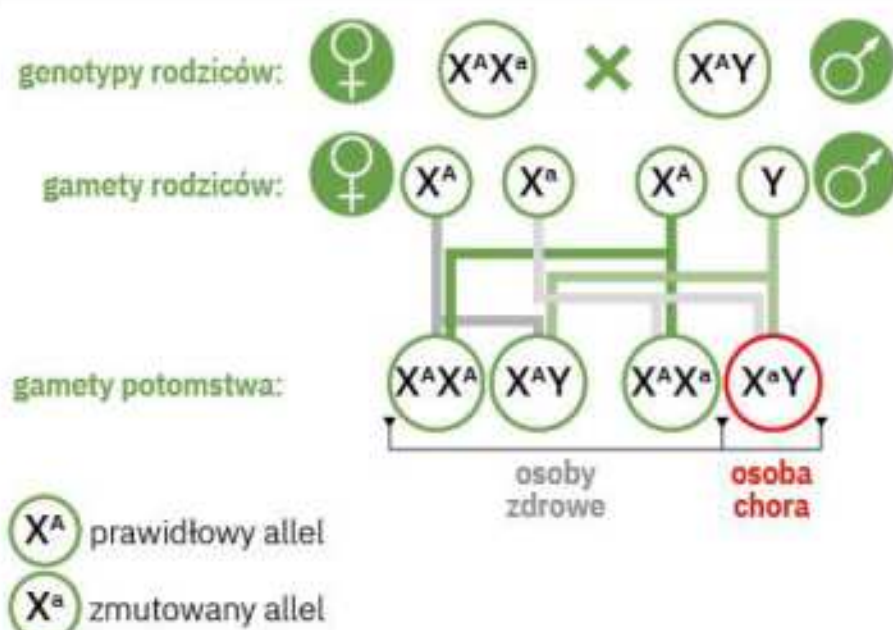
Ryc. IV.3.5. Dziedziczenie autosomalne dominujące.



nerwowych, co prowadzi do ich degeneracji. Objawami choroby są m.in. niekontrolowane ruchy ciała, drżenie kończyn, zmniejszenie napięcia mięśni i zaburzenia psychiczne. Choroba ujawnia się ok. 30.–40. roku życia, co przyczynia się do jej utrwalenia w populacji. Jest nieuleczalna, można jedynie łagodzić skutki jej objawów – zaburzeń ruchowych, objawów psychicznych czy depresyjnych.

Choroby dziedziczone w sposób recesywny sprzężony z płcią

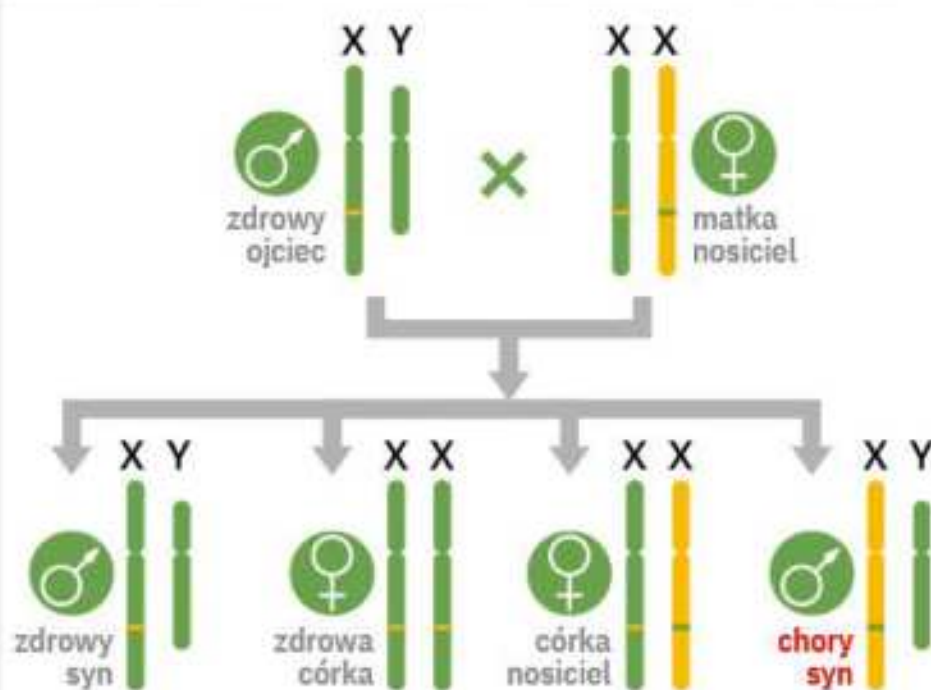
Choroby sprzężone z płcią są wynikiem występowania mutacji w genie znajdującym się w chromosomie X (ryc. IV.3.6.).



Ryc. IV.3.6. Dziedziczenie recesywne sprzężone z płcią.

Chromosom Y zawiera znacznie mniej genów od chromosomu X. Są one odpowiedzialne głównie za rozwój męskich zarodków zgodnie z ich genetyczną płcią. Mutacje w obrębie genów znajdujących się w chromosomie Y powodują bezpłodność i nie są dziedziczone.

Choroby sprzężone z chromosomem X, dziedziczone w sposób recesywny, spotykamy częściej u mężczyzn niż u kobiet – aby kobieta zachorowała, musi mieć dwa zmutowane allele genu (po matce i po ojcu). Mężczyzna zachoruje tylko wtedy, gdy ma jeden zmutowany allel, ponieważ ma tylko jeden chromosom X (po matce).



Ryc. IV.3.7. Schemat dziedziczenia dystrofii mięśniowej. U osób chorych następuje powolny zanik mięśni, a także – w miarę postępu choroby – niewydolność krążeniowa i oddechowa.

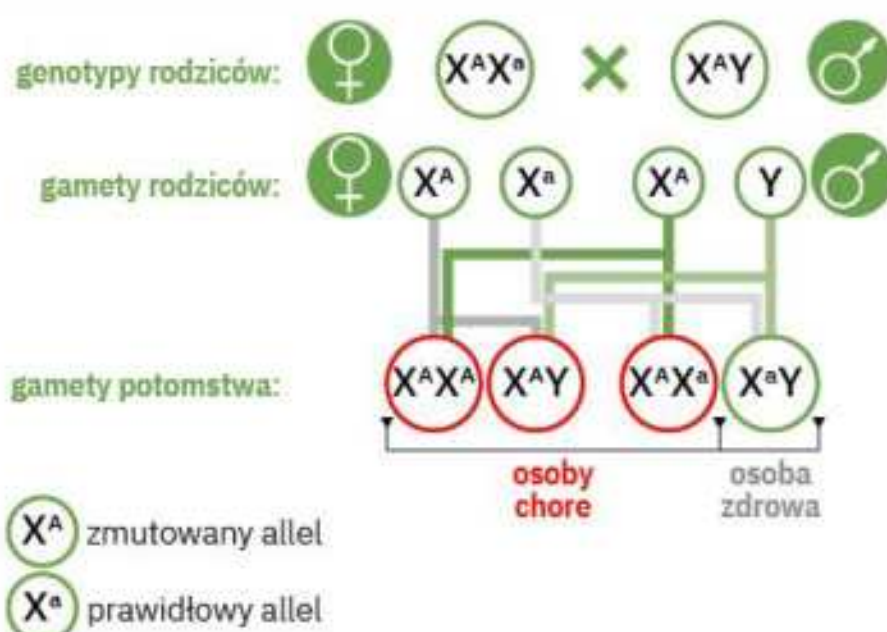
Dystrofia mięśniowa Duchenne'a (czyt. duszena) jest postępującym zanikiem mięśni szkieletowych i mięśnia sercowego. Przyczyną tej choroby jest mutacja w genie kodującym białko strukturalne – dystrofina – stabilizujące strukturę błony włókien mięśniowych (ryc. IV.3.7.).

Nie ma skutecznej metody leczenia dystrofii mięśniowej, stosuje się tylko środki łagodzące objawy oraz rehabilitację.



Choroby dziedziczone w sposób dominujący sprzężony z płcią

Ujawnienie choroby sprzężonej z płcią dziedziczonej w sposób dominujący wymaga tylko jednego zmutowanego allelu. Zmutowany allel dominujący ujawni się już w układzie heterozygotycznym, dlatego w tym typie dziedziczenia nie występują nosiciele. Natomiast istotna jest liczba wersji danego genu u każdej z płci. Kobiety mają dwa chromosomy X, dlatego mogą mieć dwie wersje genu. Obecność jednego prawidłowego genu może złagodzić objawy choroby. Natomiast mężczyzna ma tylko jeden chromosom X, na którym znajduje się jedna wersja genu – jeśli jest ona zmutowana, wówczas mężczyzna choruje.



Ryc. IV.3.8. Dziedziczenie dominujące sprzężone z płcią.

Chorobą sprzężoną z płcią dziedziczną w sposób dominujący jest **krzywica oporna na witaminę D₃ (hipofosfatemia)**. Do choroby przyczynia się mutacja genu kodującego białko enzymatyczne, które znajduje się w komórkach kości oraz zębów i odpowiada za regulację wchłaniania zwrotnego fosforanów w nerkach.

Obecny stan wiedzy nie pozwala na całkowite wyleczenie pacjentów z rozpoznaną hipofosfatemią. Stosuje się dietę bogatą w fosforany (mleko, nabiał, mięso, fasola) lub podaje się je chorym dożylnie.

Choroby spowodowane mutacjami liczbowymi

Zespół Downa

Choroba ta jest wynikiem dodatkowego chromosomu przy 21 parze chromosomów. Występuje ona z częstością 1 na 700 urodzeń. Kariotyp osoby chorej zapisujemy następująco:

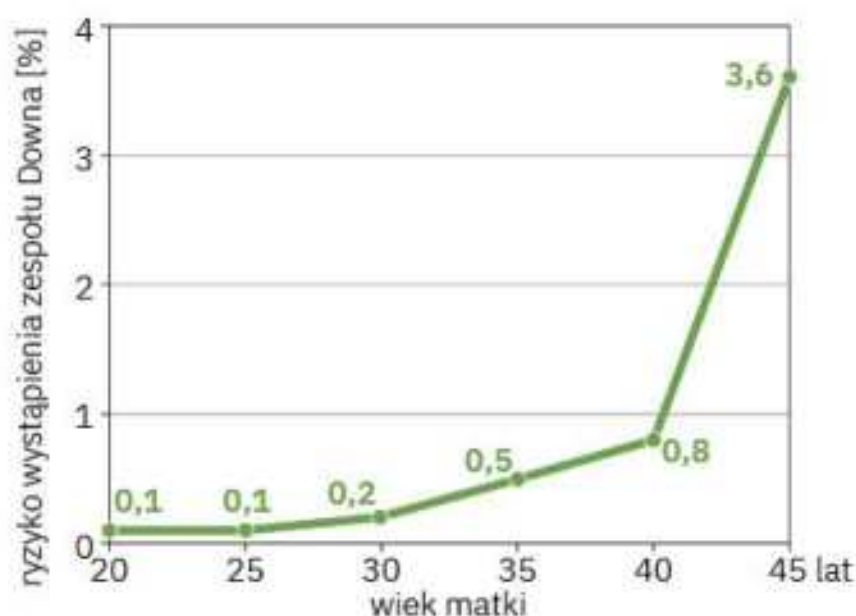
47,XY, + 21 lub **47,XX, +21** (ryc. IV.3.9.).



Ryc. IV.3.9. Kariogram osoby z zespołem Downa.



Do podstawowych cech zespołu Downa należą: skośne oczy, fałdy skórne na powiekach, płaski profil twarzy, często lekko spłaszczony tył głowy, małe, nisko osadzone uszy, krótkie w stosunku do długości tułowia kończyny, szerokie dłonie i stopy o krótkich palcach. U chorych mogą pojawić się wady serca, choroby tarczycy czy obniżona płodność, a także różny stopień upośledzenia umysłowego. Prawdopodobieństwo urodzenia dziecka z zespołem Downa zależy od wieku matki (**ryc. IV.3.10.**).

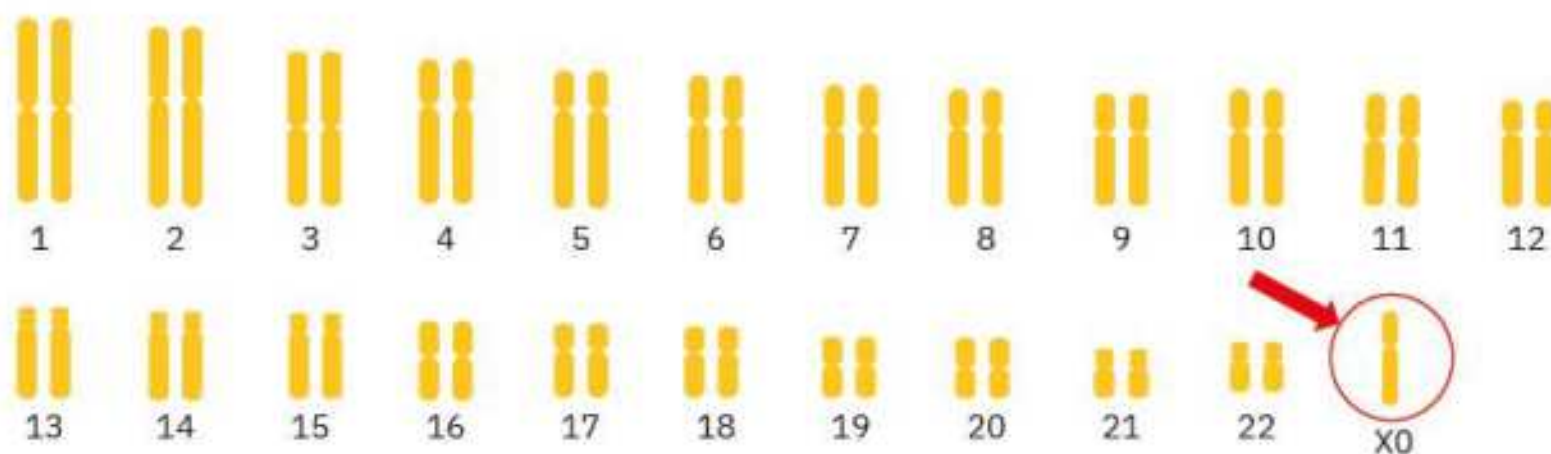


Ryc. IV.3.10. Ryzyko urodzenia dziecka z zespołem Downa znacznie wzrasta, gdy kobieta osiąga wiek 35–45 lat, ponieważ w 85% przypadków dodatkowy chromosom pochodzi od matki, a tylko w 15% od ojca.



Zespół Turnera

Choroba ta jest wynikiem braku 1 chromosomu płci – chromosomu X. Występuje z częstością 1 na 5000 urodzonych dziewczynek. Stwierdza się ją u kobiet, których kariotyp przedstawia się jako **45,X** (**ryc. IV.3.11.**).



Ryc. IV.3.11. Kariogram kobiety z zespołem Turnera.

Osoby chore są niskiego wzrostu (ok. 145 cm), odznaczają się kręłą budową ciała, zaokrągleniem bioder i brakiem talii, niedorozwojem wewnętrznych i zewnętrznych narządów płciowych (co jest przyczyną bezpłodności). Często chorobie towarzyszą wrodzone wady serca, nerek i innych narządów. Stosowanie u chorych terapii hormonalnej zwiększa szanse na wyższy wzrost i wykształcenie wtórnych cech płciowych.



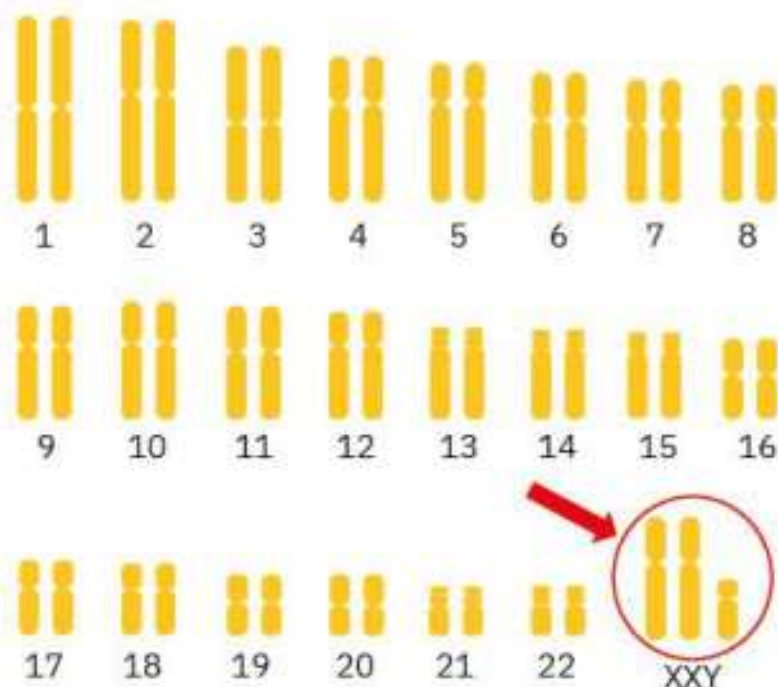
Zespół Klinefeltera

Choroba ta wynika z obecności dodatkowego chromosomu X. Występuje z częstością 1 na 1000 urodzonych chłopców, których kariotyp zapisuje się jako **47,XXY** (ryc. IV.3.12.).

Mężczyźni ze względu na niższe od prawidłowego stężenia testosteronu mają słabo zaznaczone męskie cechy płciowe, a wyraźnie rozwiniętą kobiecą sylwetkę ciała (u niektórych ginektomastia – nadmierny rozwój sutków). Stosuje się terapię testosteronem, która pozwala na wykształcenie wtórnych cech płciowych, ale nie przywraca płodności.

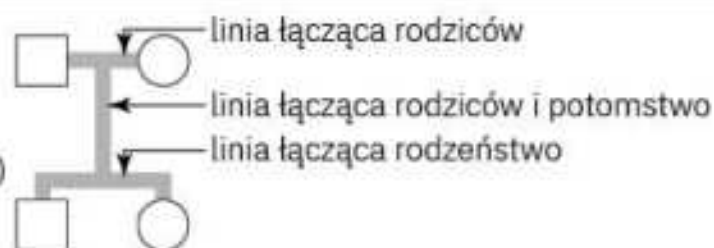
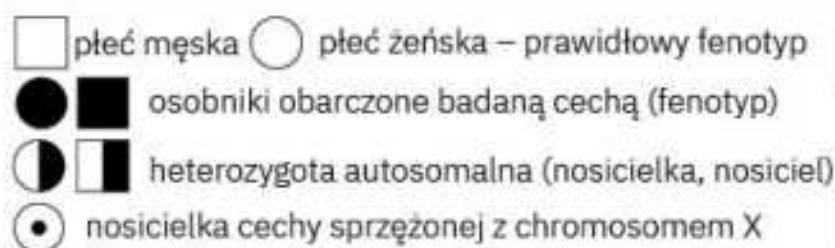
Analiza rodowodów

Rodowód jest graficznym sposobem przedstawienia informacji o danej rodzinie. Ułatwia ocenę prawdopodobieństwa wystąpienia choroby genetycznej u potomstwa. Za pomocą specjalnych symboli graficznych oznacza się fenotypy poszczególnych osób tworzących drzewo genealogiczne rodziny (ryc. IV.3.13.).

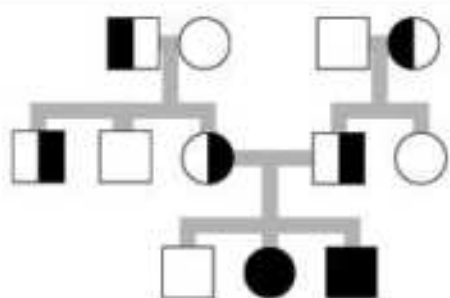


Ryc. IV.3.12. Kariogram mężczyzny z zespołem Klinefeltera. Dodatkowy chromosom X pochodzi w 60% przypadków od matki, a w 40% od ojca.

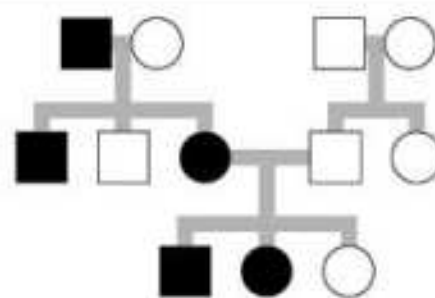
rodowody



Ryc. IV.3.13. Podstawowe symbole wykorzystywane podczas tworzenia drzew rodowych.

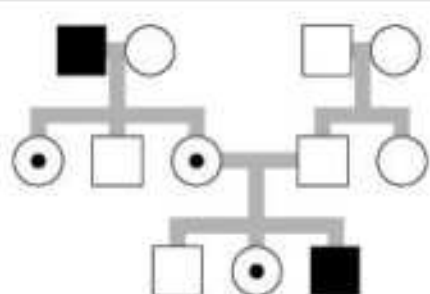


Mutacja autosomalna recesywna. Choroba nie musi ujawniać się w każdym pokoleniu. Dotyka w równym stopniu kobiet i mężczyzn, jednak chorują jedynie homozygoty recesywne.

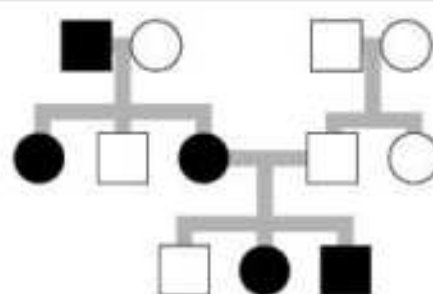


Mutacja autosomalna dominująca. Choroba ujawnia się w każdym pokoleniu. W jednakowym stopniu chorują kobiety i mężczyźni.

Ryc. IV.3.14. Rodowody rodzin z dziećmi dotkniętymi chorobą genetyczną autosomalną recesywną i dominującą.



Mutacja recesywna sprzężona z płcią w chromosomie X. Choroba nie musi ujawniać się w każdym pokoleniu. Chorują mężczyźni i homozygotyczne kobiety. Chory mężczyzna ma córki nosicielki, synom nie przekazuje uszkodzonych alleli.



Mutacja dominująca sprzężona z płcią w chromosomie X. Choroba ujawnia się w każdym pokoleniu. Chory mężczyzna nie przekazuje synom uszkodzonych alleli, chore kobiety mogą być heterozygotami lub homozygotami dominującymi.

Ryc. IV.3.15. Rodowody rodzin z dziećmi dotkniętymi chorobą genetyczną sprzężoną z chromosomem X.

Przy tworzeniu rodowodów ważne jest właściwe stosowanie symboli i określonych zasad. Członkowie danego pokolenia powinni znajdować się na tym samym poziomie rodowodu. Linie męską w symbolu oznaczającym małżeństwo zaznacza się po prawej stronie, a żeńską po lewej stronie diagramu. Czasami pokolenia mogą być określone rzymskimi cyframi, a osoby wchodzące w skład danego poziomu numerowane od lewej strony cyframi arabskimi. Potomków danej pary rodziców zaznacza się od lewej strony – od najstarszego do najmłodszego.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA



- Wyjaśnij, dlaczego osoby chore na albinizm muszą unikać ekspozycji ciała na słońce.
- Oceń i zapisz w zeszycie, czy wymienione osoby mogą być nosicielami podanych chorób. W każdym przykładzie uzasadnij swoją odpowiedź.
 - mężczyzna nosiciel hemofilii
 - kobieta nosicielka daltonizmu
 - mężczyzna nosiciel choroby Huntingtona
- Uzasadnij na wybranym przykładzie, dlaczego mutacje autosomalne recesywne nie zawsze powodują wystąpienie choroby genetycznej.

PODSUMOWANIE LEKCJI

s. 303

Ze względu na przyczynę choroby genetyczne **dzieli się na:**

s. 303

• **jednogenowe** (mutacje pojedynczych genów, m.in. mukowiscydoza, anemia sierpowata, fenyloketonuria, albinizm, daltonizm, hemofilia, choroba Huntingtona);

s. 303

• **chromosomalne** (mutacje chromosomowe, m.in. zespół Downa, zespół Turnera, zespół Klinefeltera);

s. 303

• **wieloczynnikowe** (mutacje w wielu genach i często związane z działaniem czynników środowiskowych, m.in. cukrzyca, otyłość, nadciśnienie).

s. 303

Choroby genetyczne mogą być **dziedziczone** autosomalnie recesywnie, autosomalnie dominująco, w sposób recesywny sprzężony z płcią i w sposób dominujący sprzężony z płcią.

s. 309

Analiza rodowodów ułatwia określenie prawdopodobieństwa wystąpienia choroby genetycznej u potomstwa.



PODSUMOWANIE PRZED SPRAWDZIANEM

1. Zmienność organizmów i jej przyczyny

- Zmienność **organizmów** może zależeć od czynników środowiskowych (zmienność środowiskowa, nie-dziedziczna) lub może mieć podłoże genetyczne (zmienność dziedziczna). s. 292
- **Zmienność środowiskowa** jest uwarunkowana m.in. ilością i jakością składników pokarmowych, temperaturą, pH środowiska, wilgotnością. s. 292
- Zmienność **o podłożu genetycznym** wynika z procesów rekombinacji (zmienność rekombinacyjna) lub pojawiających się w genomie mutacji (zmienność mutacyjna). s. 293
- Źródłem **zmienności rekombinacyjnej** są procesy związane z podziałem mejotycznym – *crossing-over* i niezależną segregacją chromosomów podczas tworzenia się gamet. s. 293
- Wszystkie trwałe zmiany w strukturze genu niewynikające z rekombinacji nazywamy **mutacjami**. s. 294
- Zmienność ze względu na rodzaj cechy i sposób dziedziczenia dzielimy na **ciągłą** (dotyczącą cech ilościowych) i **nieciągłą** (dotyczącą cech jakościowych). s. 294

2. Zmiany w materiale genetycznym

- Mutacje dzieli się na **spontaniczne** i **indukowane**. Mutacje spontaniczne to wynik błędów popełnionych podczas replikacji. Często są korygowane przez enzymy systemu naprawczego organizmu. s. 296
- **Mutacje indukowane** są wynikiem działania czynników mutagennych: fizycznych, chemicznych i biologicznych. s. 297
- Mutacje można podzielić na **genowe** (punktowe) oraz **chromosomowe**. s. 297
- **Mutacje genowe** mogą polegać na zastąpieniu jednego nukleotydu innym nukleotydem (substytucje), wypadnięciu jednego lub kilku nukleotydów, a nawet połowy chromosomu (delecja) lub wstawieniu jednego lub kilku nukleotydów (insercja). s. 297
- Wśród **mutacji chromosomowych** wyróżniamy mutacje strukturalne i liczbowe. s. 298
- **Mutacje chromosomowe** strukturalne powodują zmianę w strukturze chromosomów. Zalicza się do nich: duplikacje, deficjencje (delecje), inwersje i translokacje. s. 298
- Mutacje **chromosomowe liczbowe** to zmiana w liczbie pojedynczych chromosomów, całych zestawów chromosomów w obrębie jednego gatunku lub wskutek krzyżowania się osobników dwóch różnych gatunków. s. 298
- Mutacje mają **różny charakter**. Niektóre mogą być **neutralne**, inne – **niekorzystne** i powodować liczne choroby, w tym nowotworowe, a nawet śmierć osobnika. Tylko nieliczne mutacje są **korzystne**. s. 301
- Zmiany wywołane mutacjami w komórkach somatycznych nie są przekazywane potomstwu. Mutacje, które zaszły w komórkach płciowych, są **dziedziczone**. s. 301

3. Choroby genetyczne człowieka

- Ze względu na przyczynę choroby genetyczne **dzieli się na**: s. 303
 - **jednogenowe** (mutacje pojedynczych genów, m.in. mukowiscydoza, anemia sierpowata, fenyloketonuria, albinizm, daltonizm, hemofilia, choroba Huntingtona); s. 303
 - **chromosomalne** (mutacje chromosomowe, m.in. zespół Downa, zespół Turnera, zespół Klinefeltera); s. 303
 - **wieloczynnikowe** (mutacje w wielu genach, często związane z działaniem czynników środowiskowych, m.in. cukrzyca, otyłość, nadciśnienie). s. 303
- Choroby genetyczne mogą być **dziedziczone** autosomalnie recesywnie, autosomalnie dominująco, w sposób recesywny sprzężony z płcią i w sposób dominujący sprzężony z płcią. s. 303
- **Analiza rodowodów** ułatwia określenie prawdopodobieństwa wystąpienia choroby genetycznej u potomstwa. s. 309

**SPRAWDŹ, CZY UMIESZ**

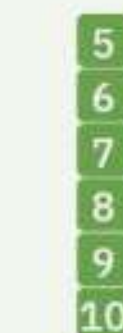
1. Podaj, jaki rodzaj mutacji przedstawiono na schemacie (chromosomowa strukturalna czy chromosomowa liczbowa). Wyjaśnij, na czym polega ta mutacja.

2. Oceń prawdziwość poniższych zdań.

- a) Mutacje to nietrwale zmiany w kodzie genetycznym.
- b) Mutacje to nagłe i trwałe zmiany w materiale genetycznym.
- c) Mutacje korzystne występują bardzo rzadko, ale dzięki nim pojawiają się cechy zwiększające szanse osobnika na przetrwanie w zmieniających się warunkach środowiska.
- d) Mutacje obojętne łatwo zauważyć, ponieważ ujawniają się u wszystkich organizmów, u których wystąpiły.
- e) Mutacje chromosomowe dotyczą wyłącznie jednego genu.
- f) Mutacje chromosomowe dotyczą struktury lub liczby chromosomów.
- g) Mutacje zawsze są przekazywane potomstwu.

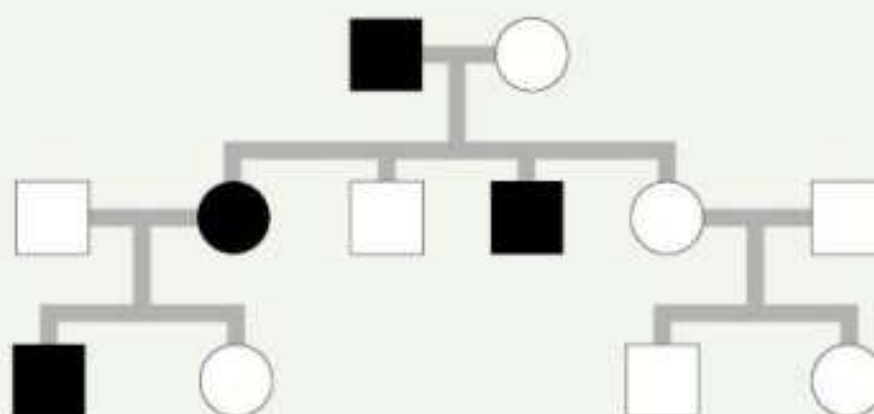


normalny
chromosom



zmutowany
chromosom

3. Na schemacie przedstawiono rodowód pewnej rodziny, w której wystąpiła genetycznie warunkowana choroba. Kwadratami oznaczono mężczyzn, kołami – kobiety, czarne figury to osoby chore, u których wystąpił zmutowany allel genu HD, a białe figury to osoby zdrowe, nieposiadające zmutowanego allelu.



Na podstawie analizy tekstu i rodowodu określ sposób dziedziczenia choroby. Przepisz zdania do zeszytu i uzupełnij je właściwymi wyrażeniami wybranymi spośród zaproponowanych. Uzasadnij każdą odpowiedź.

Choroba jest:

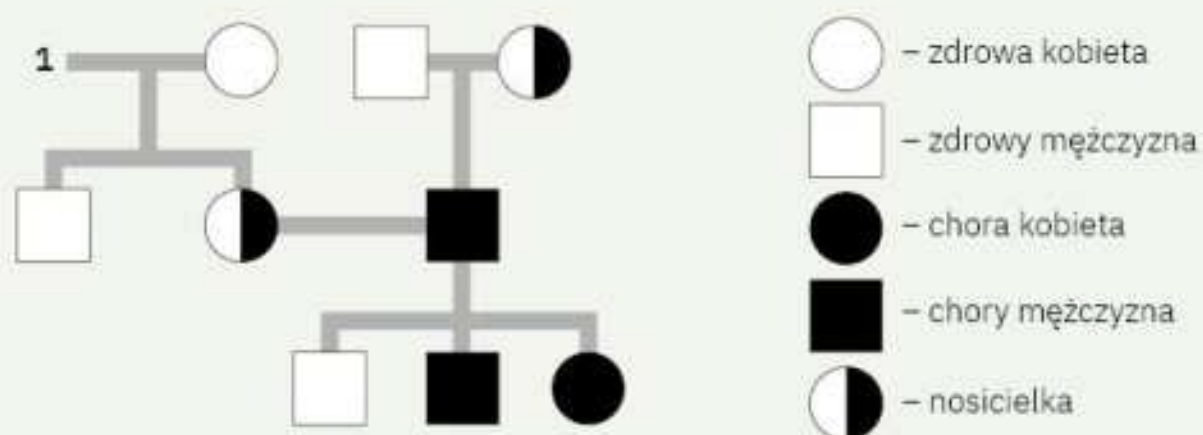
- a) autosomalna / sprzężona z płcią, ponieważ
- b) recesywna / dominująca, ponieważ

4. Wskaż rodzaj zmienności, z której wynikają różnice wysokości między trzema gatunkami koniczyny (*Trifolium sp.*) posadzonymi na tej samej wysokości nad poziomem morza. Odpowiedź uzasadnij.

5. Wymień dwa źródła genetycznej zmienności u człowieka i wyjaśnij ich znaczenie w adaptacji do warunków środowiska.

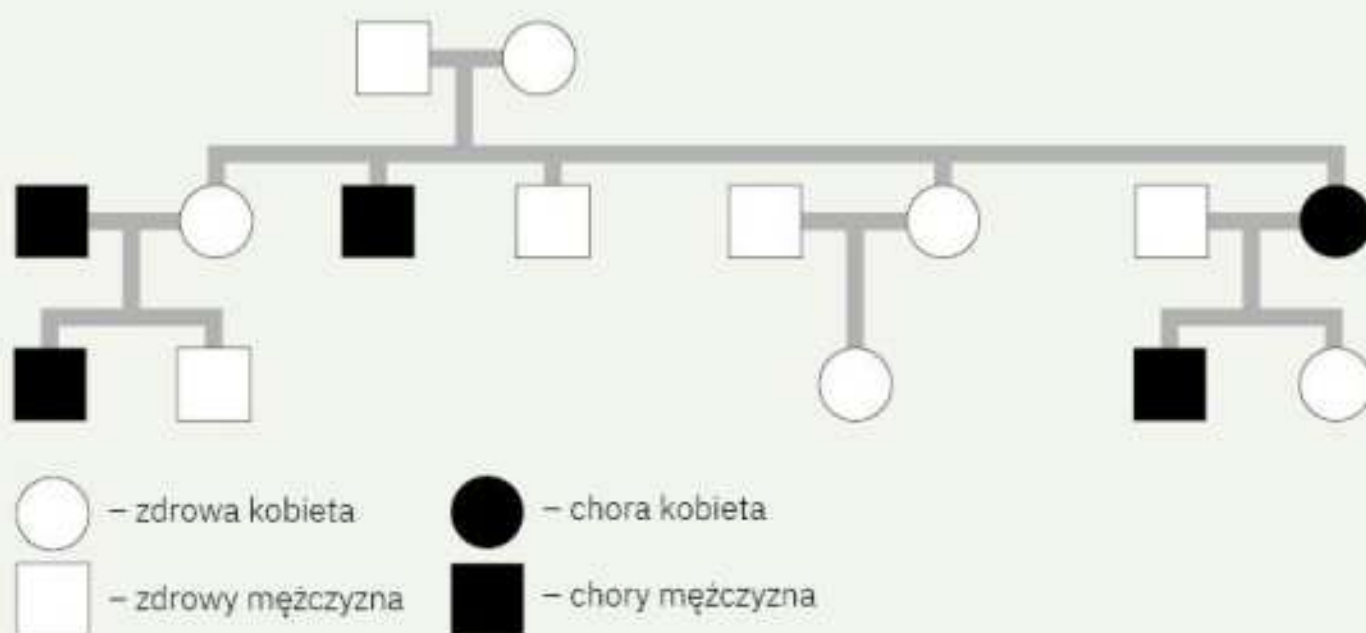


6. Daltonizm jest uwarunkowany recesywnym allelem (d) leżącym w chromosomie X. Prawidłowy allel dominujący jest oznaczany jako (D).
Na schemacie przedstawiono dziedziczenie daltonizmu w pewnej rodzinie.



Zapisz w zeszycie genotyp mężczyzny oznaczonego na schemacie cyfrą 1 i określ, czy jest on daltonistą. Odpowiedź uzasadnij.

7. Schemat przedstawia dziedziczenie pewnej choroby. Ustal na podstawie schematu, czy choroba ta jest dziedziczona w sposób recesywny, czy dominujący oraz czy gen, w którym zaszła mutacja, leży w chromosomie płci, czy w autosomie. Uzasadnij swoją odpowiedź.



8. Wyjaśnij, dlaczego liczba zębów u dorosłego człowieka jest przykładem zmienności środowiskowej.

- 
- ▶ 1. Biotechnologia tradycyjna
 - ▶ 2. Biotechnologia nowoczesna i inżynieria genetyczna
 - ▶ 3. Inne narzędzia inżynierii genetycznej

V. Biotechnologia

- ▶ 4. Zastosowania technik inżynierii genetycznej
- ▶ 5. Inżynieria genetyczna w profilaktyce i diagnostyce chorób uwarunkowanych genetycznie
- ▶ 6. Mikroorganizmy genetycznie zmodyfikowane
- ▶ 7. Modyfikacje genetyczne roślin
- ▶ 8. Zwierzęta transgeniczne
- ▶ 9. Zagrożenia związane z GMO
- ▶ 10. Klonowanie organizmów
- ▶ 11. Terapia genowa
- ▶ 12. Szanse i zagrożenia związane z biotechnologią i inżynierią genetyczną





1. Biotechnologia tradycyjna

NA TEJ LEKCJI:

- dowiesz się, czym jest biotechnologia;
- poznasz przykłady działań biotechnologii tradycyjnej;
- prześledzisz współczesne zastosowanie biotechnologii tradycyjnej.

biotechnologia

Biotechnologia to interdyscyplinarna dziedzina nauki, która wykorzystuje organizmy, ich składniki oraz przeprowadzane przez nie procesy w celu wytwarzania i późniejszego zastosowania określonych produktów lub metod. Biotechnologię dzielimy na tradycyjną i nowoczesną (molekularną). **Biotechnologia tradycyjna** wykorzystuje naturalnie występujące w środowisku organizmy i produkowane przez nie substancje. **Biotechnologia nowoczesna** (molekularna) uzyskuje i wykorzystuje zmodyfikowane organizmy, komórki oraz enzymy, opierając się na najnowszych osiągnięciach biologii molekularnej.

biotechnologia nowoczesna

biotechnologia tradycyjna

Biotechnologia tradycyjna

Rośliny i zwierzęta towarzyszą ludziom od niepamiętnych czasów. Przede wszystkim służyły im jako pożywienie. Rośliny dawały schronienie, były wykorzystywane jako materiał na ubrania oraz używane do leczenia różnych schorzeń. Z czasem zmiana trybu życia, wzrost liczby ludności i zmiany kulturowe spowodowały, że zmieniły się potrzeby człowieka oraz zasady korzystania z darów natury. Człowiek, przedkładając jedne właściwości roślin lub zwierząt nad inne, spowodował, że część gatunków została wyeliminowana z jego otoczenia. Dla przykładu: obecnie człowiek wykorzystuje ok. 200 gatunków roślin, z czego 30 stanowi podstawę żywienia (należą do nich m.in. ryż, pszenica, kukurydza, soja, ziemniaki). Z tych gatunków korzysta także bezpośrednio lub pośrednio przemysł farmaceutyczny, włókienniczy, kosmetyczny czy spożywczy.

Biotechnologia tradycyjna w działaniach człowieka

sztuczna selekcja i krzyżowanie

Do działań człowieka zaliczanych do biotechnologii tradycyjnej należą przede wszystkim **sztuczna selekcja** oraz **krzyżowanie**. Sztuczna selekcja to celowy wybór do dalszego rozmnażania osobników mających pożądane cechy. Krzyżowanie to kojarzenie wyselekcjonowanych osobników tego samego gatunku (krzyżowanie wewnątrzgatunkowe) lub różnych gatunków (krzyżowanie międzygatunkowe). Ludzie przez wieki prowadzili te zabiegi na wybranych gatunkach w celu uzyskania określonego efektu w postaci lepszego smaku, koloru, zwiększenia wartości odżywczych czy uodpornienia na choroby.



Współcześnie znane gatunki roślin i zwierząt znacznie różnią się od swoich dawnych („dzikich”) przodków (**ryc. V.1.1.**). Od początków rolnictwa człowiek dokonywał selekcji i krzyżowania gatunków, a od początków XX w. nowe odmiany uzyskiwał także za pomocą **mutagenezy**, czyli celowego wprowadzania zmian w materiale genetycznym z zastosowaniem czynników mutagennych (np. promieniowania, temperatury). Wszystkie te metody przyczyniły się do powstania odmian lub ras znacznie różniących się od wyjściowych organizmów, a także wyraźnie różniących się między sobą. Roślinnym przykładem dobitnie obrazującym efekt takich modyfikacji jest gatunek *Brassica oleracea* (czyt. braskowa oleracea), czyli kapusta warzywna (**ryc. V.1.2.**).



Ryc. V.1.1. „Dzika wersja” kukurydzy w niczym nie przypomina tych odmian, które znamy obecnie.



Ryc. V.1.2. Wszystkie obecnie dostępne odmiany kapusty (B, C, D, E, F, G) wywodzą się od jednego gatunku *Brassica oleracea* (A).



Znane obecnie odmiany kapusty warzywnej nie przypominają wyjściowego organizmu (**ryc. V.1.2.**). Selekcję w obrębie tego gatunku prowadzono w kierunku rozwoju liści (kapusta głowiasta zielona i czerwona, jarmuż), zgrubiałej łodygi (kalarepa) czy silnego rozwoju pędów (brokuł, kalafior). Brukselka powstała jako efekt krzyżowania wewnątrzgatunkowego: kapusty głowiastej i jarmużu.



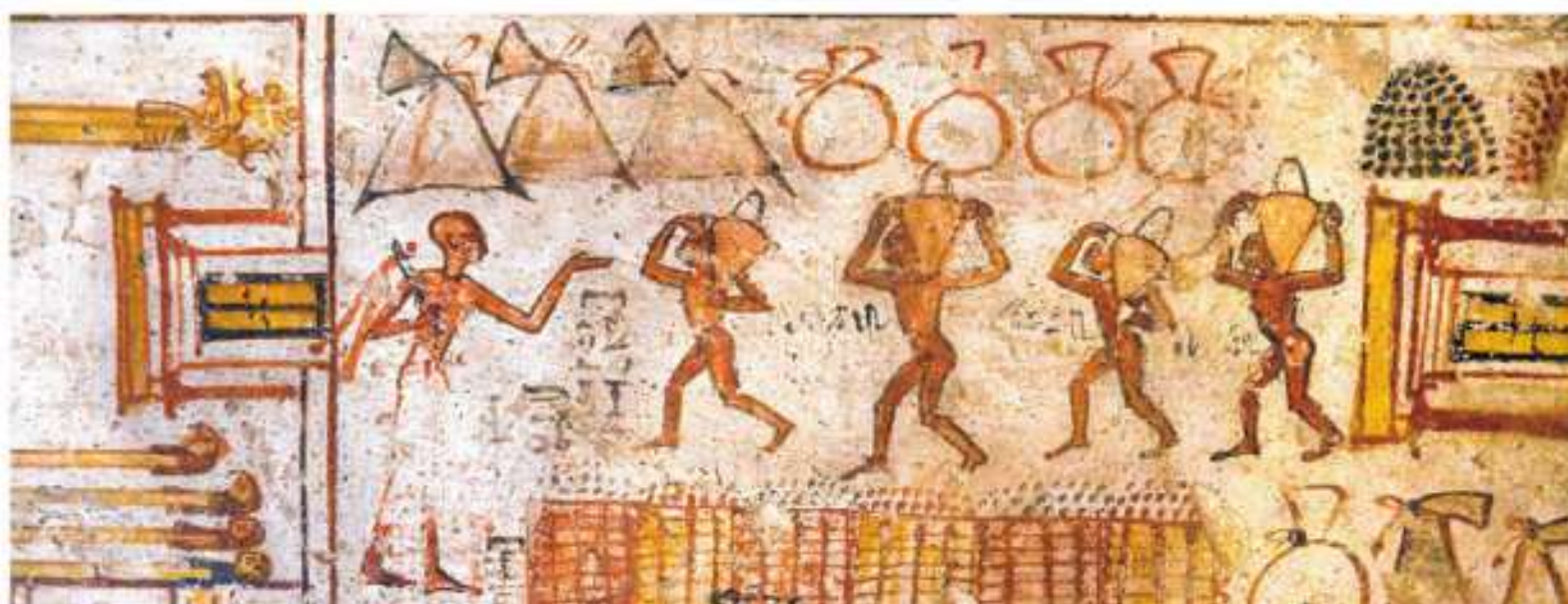
Ryc. V.1.3. Współcześnie występujące rasy psów znacznie różnią się między sobą.

W świecie zwierzęcym dobrym przykładem tego typu działań są współcześnie występujące rasy psów (znanych jest ponad 400) (**ryc. V.1.3.**). Wywodzą się one od wilkopodobnego przodka. Selekcja w obrębie tego gatunku dotyczyła przede wszystkim cech fizycznych.

Tradycyjne procesy biotechnologiczne

procesy
biotechnologiczne

Procesy biotechnologiczne to procesy biologiczne zachodzące w komórkach organizmów, ale przeprowadzane na dużą, przemysłową skalę w celu uzyskania określonego produktu. Procesy te były wykorzystywane przez człowieka od bardzo dawna. Bazując na fermentacji, czyli jednym z podstawowych procesów biotechnologicznych, 6000 lat temu w Egipcie pieczono chleb (**ryc. V.1.4.**) i warzono piwo z użyciem drożdży, a w Chinach produkowano ser i wino. Ponad 2500 lat temu wykorzystano pierwszy antybiotyk – w Chinach spleśniałym mleczkiem sojowym leczono czyraki, czyli zakażenia gronkowcem złocistym.



Ryc. V.1.4. Malowidła ściennie z grobowca Ken-Amuna (Egipt) obrazujące proces wyrobienia chleba.

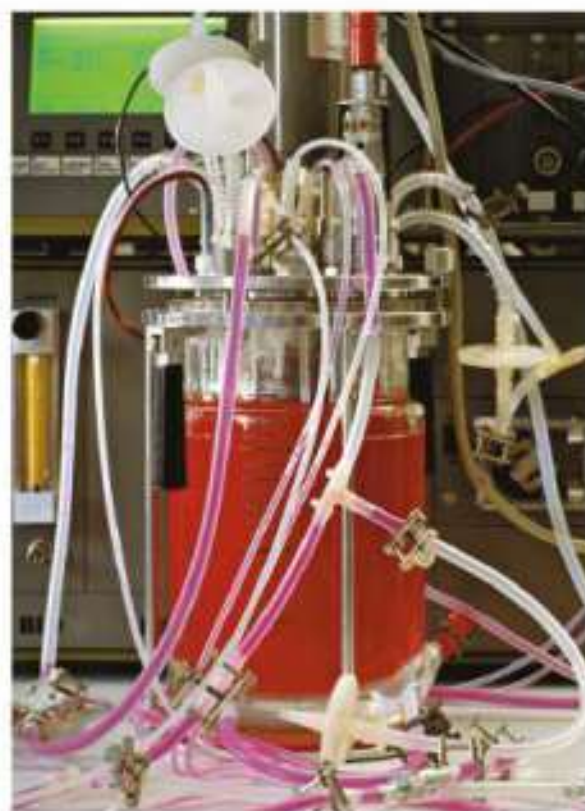


Współczesne zastosowania biotechnologii tradycyjnej

Współczesny przemysł i nauka w dużej mierze opierają się na tym, co przez miliony lat wypracowała natura. Metody tradycyjnej biotechnologii mają zastosowanie w wielu obszarach gospodarki, m.in. w przemyśle spożywczym, farmaceutycznym, rolnictwie czy ochronie środowiska.

Podstawowym procesem biotechnologicznym jest **fermentacja**, czyli cykl reakcji katalizowanych enzymatycznie, które zachodzą w komórkach mikroorganizmów w warunkach beztlenowych. Podstawy tego procesu u drożdży odkrył w 1875 r. Ludwik Pasteur (czyt. paster), który czasami bywa nazywany „ojcem biotechnologii”. Znamy kilka rodzajów fermentacji, a z nich najistotniejsze w kontekście biotechnologicznym są fermentacja etanolowa i fermentacja mleczanowa. **Fermentacja etanolowa** to rozkład cukrów prostych do alkoholu etylowego i dwutlenku węgla. Jest przeprowadzana przez drożdże i niektóre bakterie. Z kolei fermentacja mleczanowa polega na rozkładzie cukrów do kwasu mlekowego. Przeprowadzają ją liczne gatunki bakterii, m.in. z rodzaju *Lactobacillus* (czyt. laktobacillus), *Lactococcus* (czyt. laktokokus), *Streptococcus* (czyt. streptokokus). Hodowle mikroorganizmów w celach przemysłowych prowadzi się w specjalnych urządzeniach zwanych **bioreaktorami** lub **fermentorami** (ryc. V.1.5.). Jest to najczęściej duże metalowe lub szklane naczynie z opcją mieszania i napowietrzania, zazwyczaj sterowane automatycznie. Hodowla w bioreaktorach odbywa się w warunkach sterylnych z użyciem płynnych pożywek, czyli wodnych roztworów zawierających wszystkie substancje odżywcze niezbędne dla namnażania mikroorganizmów. Pojęcie *bioreaktor* w biotechnologii nowoczesnej ma też inne znaczenie – określa się nim mikroorganizmy, rośliny oraz zwierzęta, ponieważ również je wykorzystuje się do produkcji związków potrzebnych człowiekowi (białek, szczepionek, hormonów i in.). To znaczenie zostanie omówione w dalszej części tego działu.

fermentacja



Ryc. V.1.5. Bioreaktor do namnażania komórek zwierzęcych.

Biotechnologia tradycyjna w przemyśle spożywczym

Biotechnologia w przemyśle spożywczym bazuje głównie na procesach fermentacyjnych. **Fermentacja mlekowa** zachodzi podczas produkcji jogurtów, kefirów (w połączeniu z fermentacją alkoholową), śmietany, a także kiszenia warzyw i owoców (ryc. V.1.6.). Kiszenie to jedna z najstarszych znanych metod konserwacji żywności. Bakterie mlekowe prowadzą do obniżenia pH roztworu, w którym się rozwijają, co uniemożliwia rozwój bakterii odpowiedzialnych za psucie się żywności. Fermentację mlekową wykorzystuje się także do wyrobu produktów mięsnych, takich jak: metka, kindziuk, salami. Zakwas chlebowy to zawiesina bakterii kwasu mlekowego, który jest używany do produkcji pieczywa. Proces fermentacji mlekowej znalazł zastosowanie w procesie tzw. dojrzewania serów podpuszczkowych

fermentacja
mlekowa

**fermentacja
alkoholowa**

(np. parmezanu). W produkcji tych serów wykorzystuje się enzym, który powoduje denaturację (zmianę w strukturze) białek mleka. Po uformowaniu masy serowej poddaje się ją dojrzewaniu, w czasie którego bakterie oraz grzyby rozkładają część białek i tłuszczów.

Fermentacja alkoholowa jest wykorzystywana do produkcji piwa, wina oraz pieczywa i ciast. Jako substrat do produkcji wina stosuje się soki owocowe, a przy produkcji piwa – głównie zboża. Fermentacja jest szeroko rozpowszechnionym procesem w przemyśle spożywczym.

Różne jej rodzaje wykorzystuje się także przy produkcji czekolady (fermentacji poddaje się ziarno kakaowca), kawy, octu, sosu sojowego oraz wielu dań kuchni orientalnych, m.in. kimchi (czyt. kimczy) (**ryc. V.1.7.**), miso, natto.



Ryc. V.1.6. Fermentacja mleczanowa w przemyśle spożywczym jest wykorzystywana do produkcji przetworów mlecznych oraz kiszonek.



Ryc. V.1.7. Kimchi to tradycyjne danie kuchni koreańskiej składające się ze sfermentowanych warzyw.

Biotechnologia tradycyjna w przemyśle farmaceutycznym**antybiotyki**

Klasyczne procesy biotechnologiczne w obszarze farmacji są wykorzystywane do syntezy i izolacji substancji leczniczych głównie z mikroorganizmów – grzybów i bakterii. Przykładami są **antybiotyki**, m.in. penicylina z grzyba *Penicillium notatum*, streptomycyna z bakterii *Streptomyces*, enzymy, takie jak α -amylaza z bakterii *Bacillus* czy glukozydaza z grzyba *Aspergillus niger*. Przykłady innych związków uzyskiwanych tradycyjnymi metodami biotechnologicznymi przedstawiono w **tabeli V.1.1.** Klasyczne procesy biotechnologiczne są także wykorzystywane do poszukiwania nowych substancji biologicznie czynnych ze źródeł biologicznych (m.in. mikroorganizmów, roślin), syntezy związków leczniczych czy opracowywania nowych szczepionek. Choć klasyczne metody biotechnologiczne w przemyśle farmaceutycznym są ciągle wykorzystywane, to ustępują one nowym, bazującym na biologii molekularnej.



Tab. V.1.1. Wybrane związki biologicznie czynne uzyskiwane metodami biotechnologii tradycyjnej

Związek	Źródło biologiczne	Działanie
Cyklosporyna C	grzyb glebowy (<i>Tolypocladium inflatum</i>)	działanie immunosupresyjne; wykorzystywana w transplantologii
Briostatyna	korale i gąbki morskie	działanie przeciwnowotworowe; w leczeniu białaczek
Epotilony	myksobakterie (bakterie śluzowe)	działanie przeciwnowotworowe; używane w leczeniu raka piersi
Taksol	cis krótkolistny (<i>Taxus brevifolia</i>)	działanie przeciwnowotworowe; w leczeniu raka sutka, jajnika, płuc
Monakolina	grzyb <i>Monascus ruber</i> rosnący na ziarnach czerwonego ryżu	obniżanie stężenia cholesterolu we krwi; działanie przeciwmiażdżycowe
Asperilicyna	grzyb <i>Aspergillus alliaceus</i>	działanie przeciwpasożytnicze, stosowana w medycynie weterynaryjnej
Esmeraldyna B	<i>Streptomyces antibioticus</i>	działanie przeciwbakteryjne i przeciwnowotworowe

Do działań w zakresie biotechnologii farmaceutycznej należy zaliczyć także wykorzystanie do leczenia roślin i związków w nich zawartych. Człowiek dawno temu rozpoznał, że w przyrodzie istnieją gatunki, które potrafią łagodzić rozmaite dolegliwości. Dziś wiele ze związków roślinnych, ważnych z punktu widzenia medycznego, jest odkrywane na nowo, modyfikowane i wykorzystywane jako składniki nowoczesnych leków.

Biotechnologia tradycyjna w ochronie środowiska

Metody biotechnologiczne w ochronie środowiska są stosowane w dwóch głównych celach:

- w ochronie środowiska, czyli zapobieganiu i/lub ograniczaniu ilości zanieczyszczeń wprowadzanych do wód, gleby i do atmosfery; w tym zakresie mieści się oczyszczanie ścieków, unieszkodliwianie odpadów, a także wytwarzanie biopaliw;
- w odbudowie terenów zdegradowanych (np. w wyniku katastrof ekologicznych); proces ten nazywamy **bioremediacją**, ponieważ zachodzi z udziałem organizmów.

Procesy biotechnologiczne wykorzystywane w oczyszczaniu ścieków bazują na **osadzie czynnym**, czyli zawiesinie mikroorganizmów (bakterii, pierwotniaków), których zadaniem jest rozkład (utlenianie) związków organicznych do takich produktów, jak: CO₂, H₂O, azotany, siarczany i fosforany. Dodatkowo wyselekcjonowane gatunki bakterii osadu czynnego usuwają ze ścieków nadmiar azotu (bakterie nitryfikacyjne) i fosforu. W oczyszczaniu ścieków wykorzystuje się także proces fermentacji metanowej, który prowadzi do rozkładu materii organicznej oraz powstawania biogazu wykorzystywanego jako źródło energii.



bioremediacja

Bioremediacja to usuwanie toksyn z terenów zanieczyszczonych, które zachodzi z udziałem różnych populacji mikroorganizmów zamieszkujących stale te tereny (np. w glebie czy w wodzie). Drobnoustroje wykorzystują te substancje jako źródło pokarmu, przetwarzając je do nietoksycznych prostych związków. Niekiedy bakterie są specjalnie wprowadzane do zanieczyszczonego środowiska, aby usunęły toksyny, m.in. metale ciężkie. Przykładem jest bakteria *Alcanivorax borkumensis* (czyt. alkaniworaks borkumensis), która doskonale rozwija się w wodach zanieczyszczonych ropą naftową. Enzymy tej bakterii są zdolne do rozkładu ropy naftowej, a powstałe w tym procesie związki są wykorzystywane do wzrostu. Ponadto *Alcanivorax borkumensis* usuwa rtęć, arsen, miedź i inne metale ciężkie, które zanieczyszczają środowisko. Odmianą bioremediacji jest **fitoremediacja**, czyli odbu-



Ryc. V.1.8. Rzeżusznik Hallera jest hiperakumulatorem i może rosnąć na terenach o wysokiej zawartości metali.

dowa zanieczyszczonych terenów z wykorzystaniem roślin. W tej metodzie wykorzystuje się rośliny wykazujące zdolność do gromadzenia (akumulowania) w swoich tkankach ponadprzeciętnych ilości toksyn, głównie metali (ołowiu, niklu, arsenu, miedzi). Rośliny te nazywamy **hiperakumulatorami**. Do hiperakumulatorów sadzonych np. na terenach pogórnich należą tobotki polne, smagliczka pagórkowa czy rzeżusznik Hallera (ryc. V.1.8.).

Biotechnologia tradycyjna w rolnictwiewiązanie azotu
atmosferycznego

Mikroorganizmy i procesy przez nie przeprowadzane znalazły zastosowanie także w rolnictwie. Bakterie z rodzaju *Rhizobium* i *Azotobacter* potrafią wykorzystywać azot cząsteczkowy (N_2) i przekształcać go w formy przyswajalne dla roślin, a przez to wzbogacać glebę w związki azotowe niezbędne dla ich rozwoju. Rośliny motylkowe, które żyją w symbiozie z tymi bakteriami, mogą korzystać z tego źródła azotu. Większa dostępność związków azotowych przyczynia się do zwiększania ilości plonów. Aby wzbogacić glebę w azot, stosuje się tzw. szczepionki wzbogacające, czyli rozsiewa się po glebie pożywkę z gatunkiem bakterii *Rhizobium* lub *Azotobacter*. Za pomocą tego typu szczepionek glebę wzbogaca się także w bakterię *Bacillus megaterium*, która wpływa na lepsze przyswajanie związków fosforu.



ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wyjaśnij ustnie, na czym polega różnica pomiędzy biotechnologią tradycyjną a nowoczesną.
2. Wymień procesy, które są wykorzystywane obecnie w biotechnologii, a które są znane ludzkości od niepamiętnych czasów. Wyjaśnij, na czym polegają te procesy.
3. Wyjaśnij pojęcie *bioreaktor*.
4. Sporządź w zeszycie tabelę dotyczącą wykorzystania procesów biotechnologicznych w przemyśle spożywczym, farmaceutycznym i w ochronie środowiska. Uwzględnij rodzaje procesów, wykorzystywane organizmy oraz przykłady zastosowań.
5. Wykonaj jedno z doświadczeń opisanych na stronach 405–406 podręcznika.

PODSUMOWANIE LEKCJI

Biotechnologia wykorzystuje organizmy, ich składniki oraz procesy biologiczne do wytwarzania określonych produktów. s. 316

Biotechnologia tradycyjna bazuje na naturalnie występujących w środowisku organizmach i produkowanych przez nie substancjach. s. 316

Biotechnologia nowoczesna opiera się na najnowszych osiągnięciach biologii molekularnej. s. 316

Biotechnologia tradycyjna towarzyszy człowiekowi od niepamiętnych czasów – udomowienie roślin i zwierząt bazowało na sztucznej selekcji oraz krzyżowaniu (wewnątrz- i międzygatunkowym). s. 316

Efektem sztucznej **selekcji**, **krzyżowania** oraz **mutagenezy** są znane współcześnie odmiany roślin (np. kapusty warzywnej) oraz zwierząt (np. rasy psów). s. 316

Procesy biotechnologiczne to procesy zachodzące w komórkach organizmów przeprowadzane na dużą skalę w celu uzyskania określonego produktu. s. 318

Podstawowym procesem biotechnologicznym jest **fermentacja** (mleczanowa i alkoholowa). s. 319

Fermentację mleczanową przeprowadzają bakterie. Wykorzystuje się ją przy produkcji przetworów mlecznych (jogurty, kefiry, kwaśna śmietana), do kiszenia warzyw i owoców oraz do wytwarzania produktów mięsnych (salami, metka). s. 319

Fermentację alkoholową przeprowadzają drożdże i jest ona wykorzystywana do produkcji piwa, wina, pieczywa i ciast. s. 320

W przemyśle farmaceutycznym klasyczne procesy biotechnologiczne są wykorzystywane do syntezy i izolacji związków leczniczych, głównie z grzybów (**antybiotyki**) oraz z bakterii (np. enzymy). s. 320

Mikroorganizmy glebowe i wodne są wykorzystywane w procesie **bioremediacji**, czyli usuwania toksyn z zanieczyszczonych terenów. s. 322

Bakterie z rodzaju *Rhizobium* i *Azotobacter* zdolne do **wiązania azotu atmosferycznego** są wykorzystywane do wzbogacania gleby w dostępne dla roślin związki azotu. s. 322



2. Biotechnologia nowoczesna i inżynieria genetyczna

NA TEJ LEKCJI:

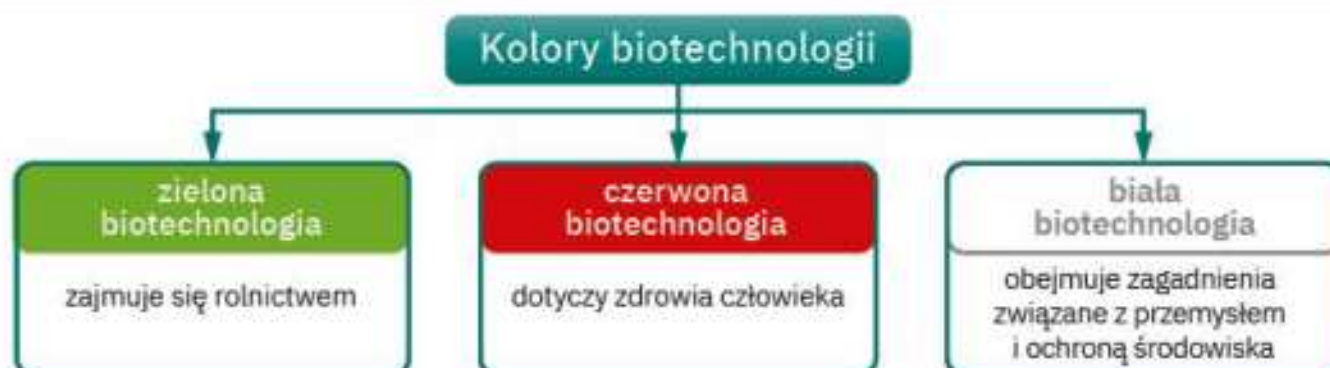
- poznasz główne techniki inżynierii genetycznej;
- dowiesz się, na czym polega klonowanie genu;
- dowiesz się, do czego służą enzymy restrykcyjne;
- zapoznasz się z rodzajami wektorów;
- uzyskasz informacje na temat elektroforezy.

biologia
molekularna

inżynieria
genetyczna

kolory
biotechnologii

U podstaw współczesnej biotechnologii, zwanej biotechnologią nowoczesną lub molekularną, leży rozwój biologii molekularnej i inżynierii genetycznej. **Biologia molekularna** bada właściwości cząsteczek budujących komórkę, głównie białek i kwasów nukleinowych. **Inżynieria genetyczna** to zespół technik pozwalających na celową zmianę właściwości materiału genetycznego, przenoszenie genów pomiędzy organizmami, powielanie DNA, a także otrzymywanie organizmów genetycznie zmodyfikowanych (GMO). Ogromne znaczenie dla rozwoju nowoczesnej biotechnologii miał postęp w innych naukach, m.in. w chemii, mikrobiologii, biochemii czy informatyce. Nowoczesna biotechnologia jest szeroko wykorzystywana w rolnictwie, technologii żywności, ochronie środowiska, farmacji, medycynie i innych dziedzinach nauki. Działania biotechnologii w tych obszarach dla ułatwienia oznaczono kolorami. I tak, **zielona biotechnologia** zajmuje się pracami związanymi z rolnictwem, **czerwona biotechnologia** dotyczy zdrowia człowieka, a **biała biotechnologia** to biotechnologia ochrony środowiska i przemysłu.



Ryc. V.2.1. Kolory biotechnologii.

Techniki inżynierii genetycznej

Metody inżynierii genetycznej pozwalają na dokonywanie zmian w materiale genetycznym, wprowadzanie obcych genów i wytwarzanie nowych, nieistniejących w naturze kombinacji DNA. Do jej najważniejszych narzędzi należy rekombinowanie



DNA oraz klonowanie DNA (zwane także klonowaniem genu). Do inżynierii genetycznej należą także wszystkie techniki pozwalające na cięcie DNA na fragmenty (za pomocą enzymów restrykcyjnych) i ich wstawianie do innych cząsteczek DNA (za pomocą wektorów) oraz analizę DNA (np. elektroforeza).

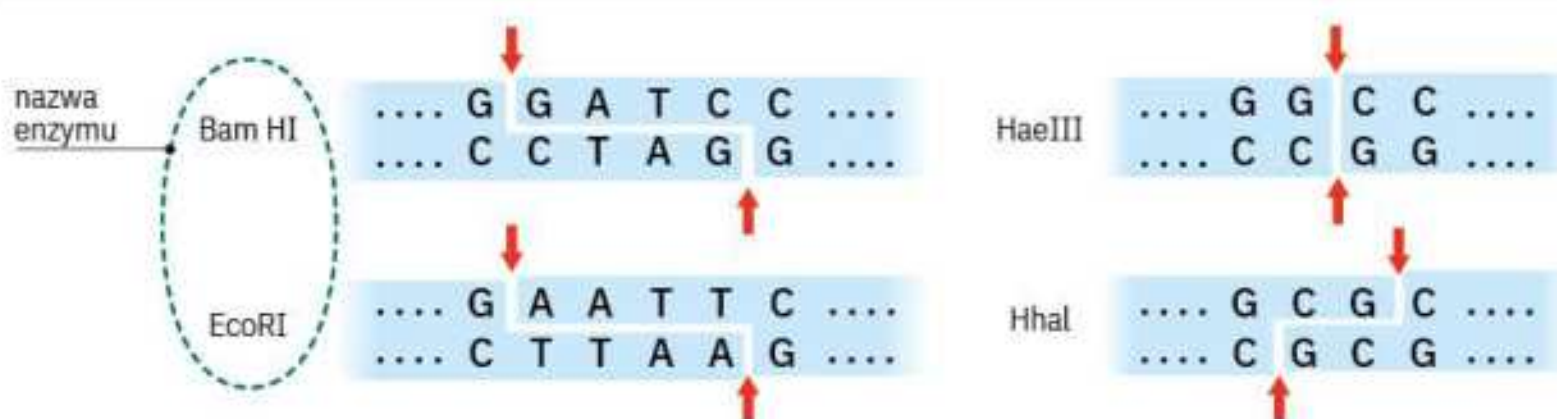
Rekombinowanie i klonowanie DNA

Enzymy restrykcyjne

Enzymy restrykcyjne są swego rodzaju „skalpelami” w rękach naukowców. Służą do precyzyjnego cięcia DNA. Enzymy te rozpoznają specyficzne sekwencje w DNA i w tym miejscu przecinają obie jego nici. Enzymy restrykcyjne występują u bakterii i służą do rozcinania i degradowania obcych cząsteczek DNA. Enzymy restrykcyjne zostały odkryte w latach 60. XX w., a już kilka lat później zaczęto wykorzystywać je w badaniach. Dotychczas scharakteryzowano ponad 3000 różnych enzymów restrykcyjnych. Ich nazwy tworzy się od nazw organizmów, z których zostały wyizolowane, np. Eco (od *Escherichia coli*). Przykłady sekwencji DNA rozpoznawanych przez niektóre enzymy zostały przedstawione na **rysunku V.2.2**.

rekombinowanie
i klonowanie DNA

enzymy
restrykcyjne



Ryc. V.2.2. Miejsca działania wybranych enzymów restrykcyjnych. Miejsce cięcia może przebiegać prosto lub ukośnie. Jeśli DNA jest rozcinane ukośnie, powstają lepkie końce, jeśli prosto – tworzą się tzw. tępe końce.

Enzymy restrykcyjne są niezastąpione przy klonowaniu i sekwencjonowaniu DNA, badaniu struktury chromosomów oraz tworzeniu nowych cząsteczek DNA. Krótkie odcinki DNA pocięte przez te enzymy łączy się z innymi fragmentami DNA za pomocą enzymów zwanych **ligazami**.

Klonowanie DNA

Proces wprowadzania obcego DNA do komórek organizmów to **transformacja**. Stosowany wcześniej termin *transfekcja* odnoszący się do techniki wprowadzania genów do komórek ssaczych ma dziś znaczenie historyczne. Aby na bazie genu wprowadzonego do DNA biorcy uzyskać pożądany produkt, czyli białko, musi on zostać włączony do materiału genetycznego gospodarza i podlegać wraz z nim replikacji, transkrypcji i translacji. W tym celu przeprowadza się **klonowanie genu (DNA)** (ryc. V.2.3.). Metoda ta polega na wstawieniu fragmentów DNA przeznaczonych do klonowania do innej cząsteczki DNA, która służy jako nośnik, inaczej wektor, zdolny do replikacji w żywych komórkach. Połączenie DNA pochodzących

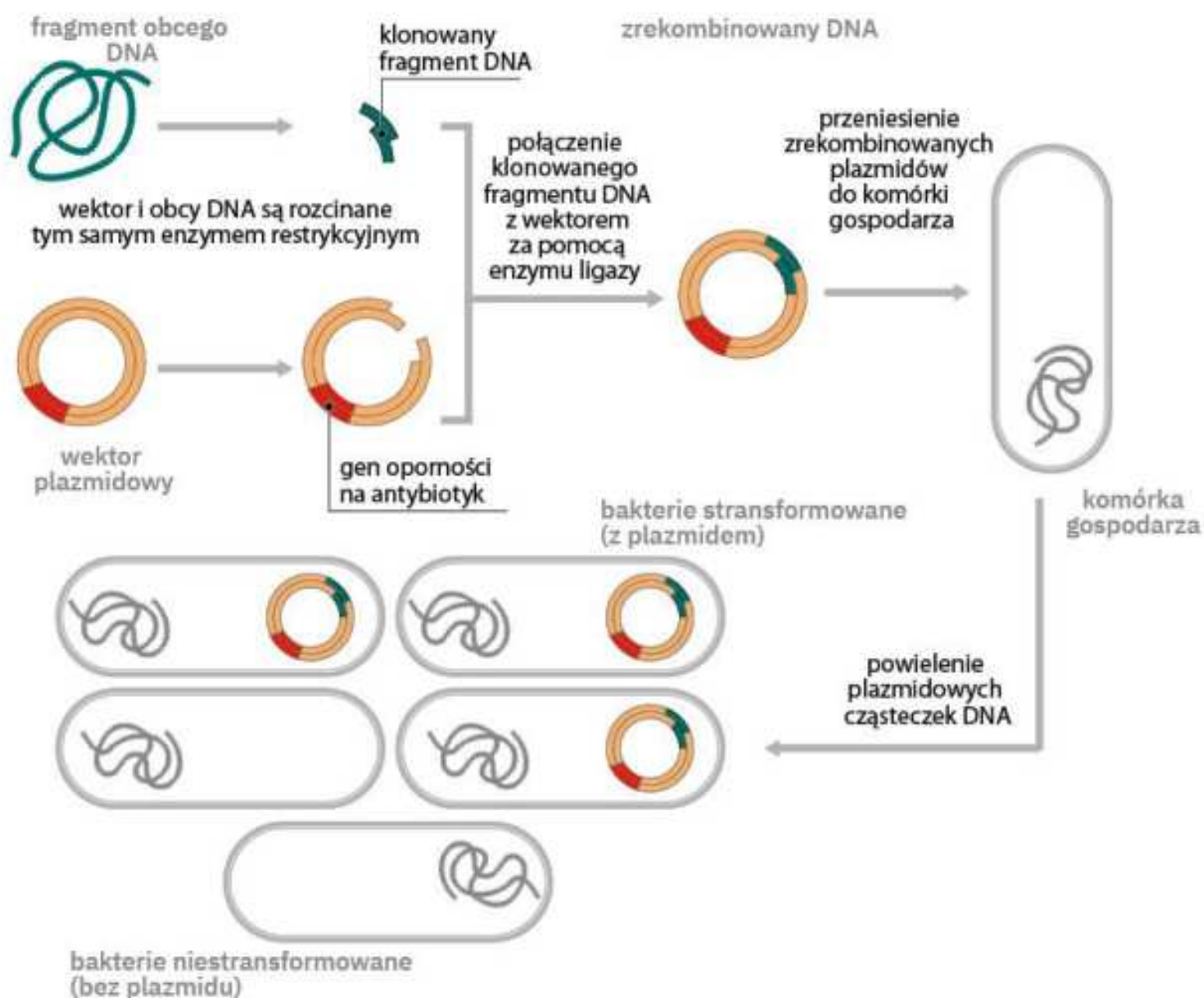
klonowanie DNA

transformacja



z różnych źródeł prowadzi do powstania cząsteczki **zrekombinowanego DNA**. Taka cząsteczka zostaje wprowadzona do komórki gospodarza (np. bakterii), która replikuje się (powiela), tworząc klon (**ryc. V.2.3.**). W czasie replikacji komórki gospodarza powiela się także wektor z obcym fragmentem DNA. Dzięki temu uzyskuje się wiele jego kopii, które w dalszej kolejności oczyszcza się i analizuje. Podsumowując, proces klonowania genu obejmuje cztery etapy:

- a) pocięcie DNA z użyciem enzymów restrykcyjnych i uzyskanie fragmentów DNA przeznaczonych do klonowania;
- b) połączenie klonowanych fragmentów z wektorem (np. z plazmidem) i uzyskanie zrekombinowanej cząsteczki DNA;
- c) przeniesienie zrekombinowanej cząsteczki DNA do komórki biorcy (np. bakterii) i uzyskanie wielu identycznych kopii tych komórek, czyli klonów; każdy klon zawiera klonowaną sekwencję;
- d) selekcja zrekombinowanych komórek bakterii zawierających docelowy gen z użyciem sondy (patrz ryc. V.2.7).



Ryc. V.2.3. Klonowanie DNA.

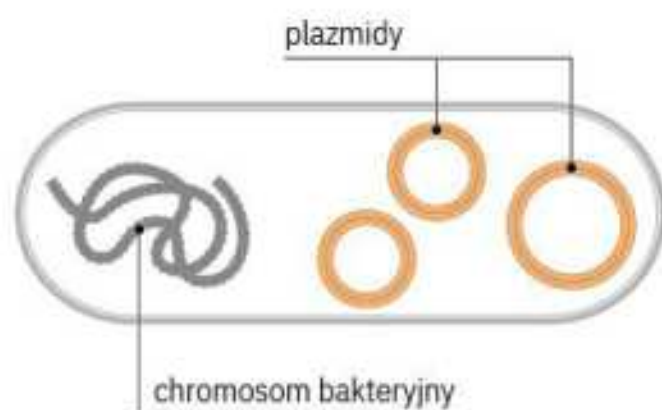


Wektory

wektory

Wektory do klonowania są cząsteczkami DNA zdolnymi do przenoszenia innych DNA. Charakteryzują się zdolnością do replikacji niezależnej od gospodarza i obecnością miejsc cięcia rozpoznawanych przez enzymy restrykcyjne. Można je stosunkowo łatwo wyizolować. Dodatkowo wektory zawierają znacznik (np. gen oporności na antybiotyki), dzięki któremu możemy rozróżnić komórki gospodarza zawierające ten wektor od tych, które go nie mają. Do najczęściej wykorzystywanych wektorów zaliczamy **plazmidy**, bakteriofagi oraz wektory oparte na wirusach. Plazmidy to małe, kuliste cząsteczki DNA występujące u bakterii (**ryc. V.2.4.**).

plazmidy



Ryc. V.2.4. Plazmidy to małe koliste DNA, którego replikacja przebiega niezależnie od DNA chromosomu bakteryjnego.



Ryc. V.2.5. *Agrobacterium tumefaciens* (czyt. agrobakterium tumefaciens) atakuje roślinę i powoduje powstawanie charakterystycznych narośli.

Wektory plazmidowe wykorzystuje się do transformacji komórek roślinnych z wykorzystaniem bakterii glebowych *Agrobacterium tumefaciens* (**ryc. V.2.5.**), które wykazują naturalną zdolność do infekowania roślin. W komórkach tych bakterii występuje **plazmid Ti**, którego niewielki fragment w czasie infekcji rośliny włącza się w jej DNA i ulega tam ekspresji. Ze względu na tę właściwość genetycy wykorzystują go jako wektor do wprowadzania obcych fragmentów DNA do roślin (**ryc. V.2.5.**). Innymi wektorami do wprowadzania genów do komórek bakterii są **bakteriofagi** (fagi), czyli wirusy bakteryjne. Jednym z najbardziej znanych wektorów tego typu jest fag λ (fag lambda). Do wprowadzania DNA do komórek zwierząt i człowieka są używane najczęściej wirusy, głównie adenowirusy, **wirusy towarzyszące adenowirusom (AAV)** oraz retrowirusy. Fragmenty DNA można także wprowadzać **metodami bezwektorowymi**, do których należą mikroiniekcja oraz elektroporacja. W czasie **mikroiniekcji** fragmenty DNA wprowadza się bezpośrednio do jądra za pomocą szklanej mikroigły (**ryc. V.2.6.**). Z kolei **elektroporacja** polega na poddaniu komórek biorcy działaniu impulsów elektrycznych, pod wpływem których ich błony komórkowe stają się na chwilę przepuszczalne, co umożliwia wnikięcie wektora do ich środka.

bakteriofagi

metody bezwektorowe

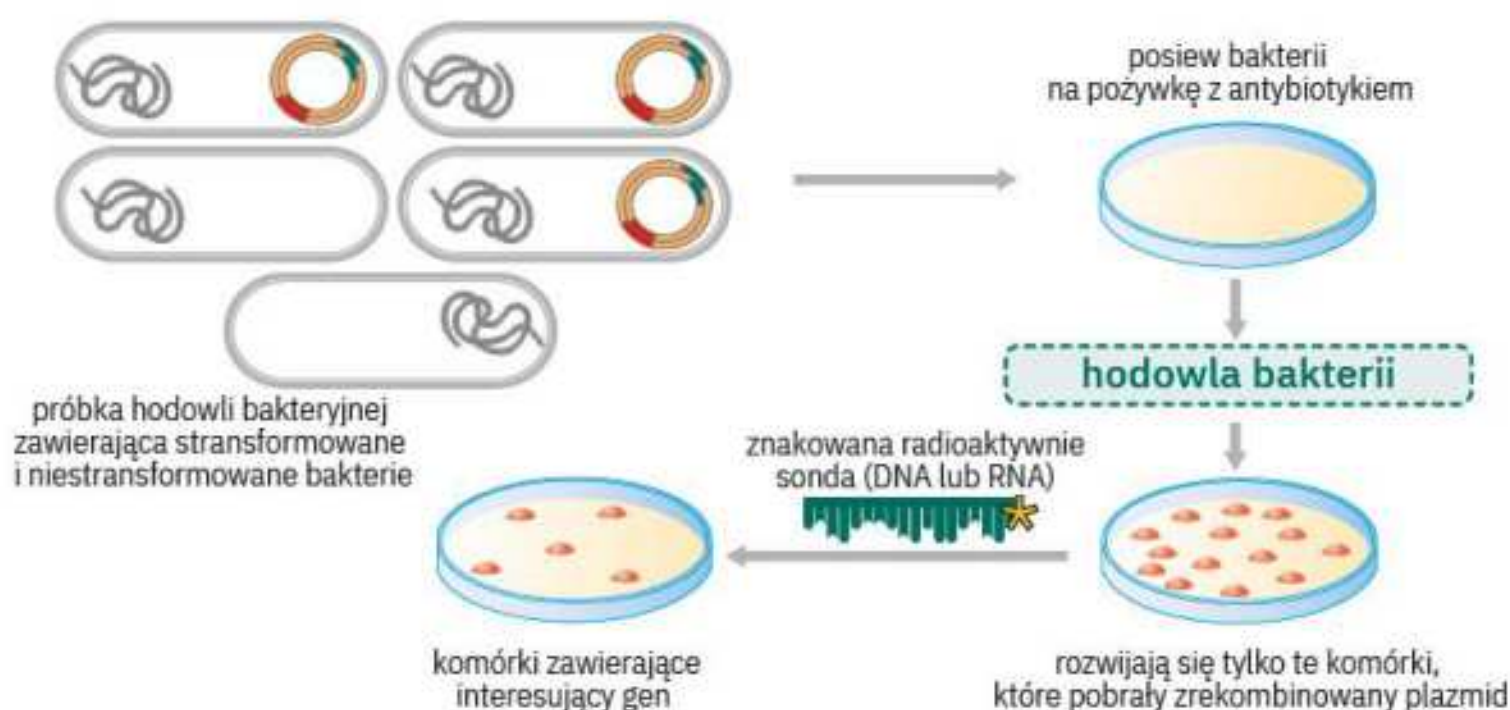


Ryc. V.2.6. W czasie mikroiniekcji do komórki wprowadza się DNA za pomocą mikroigły.



geny markerowe

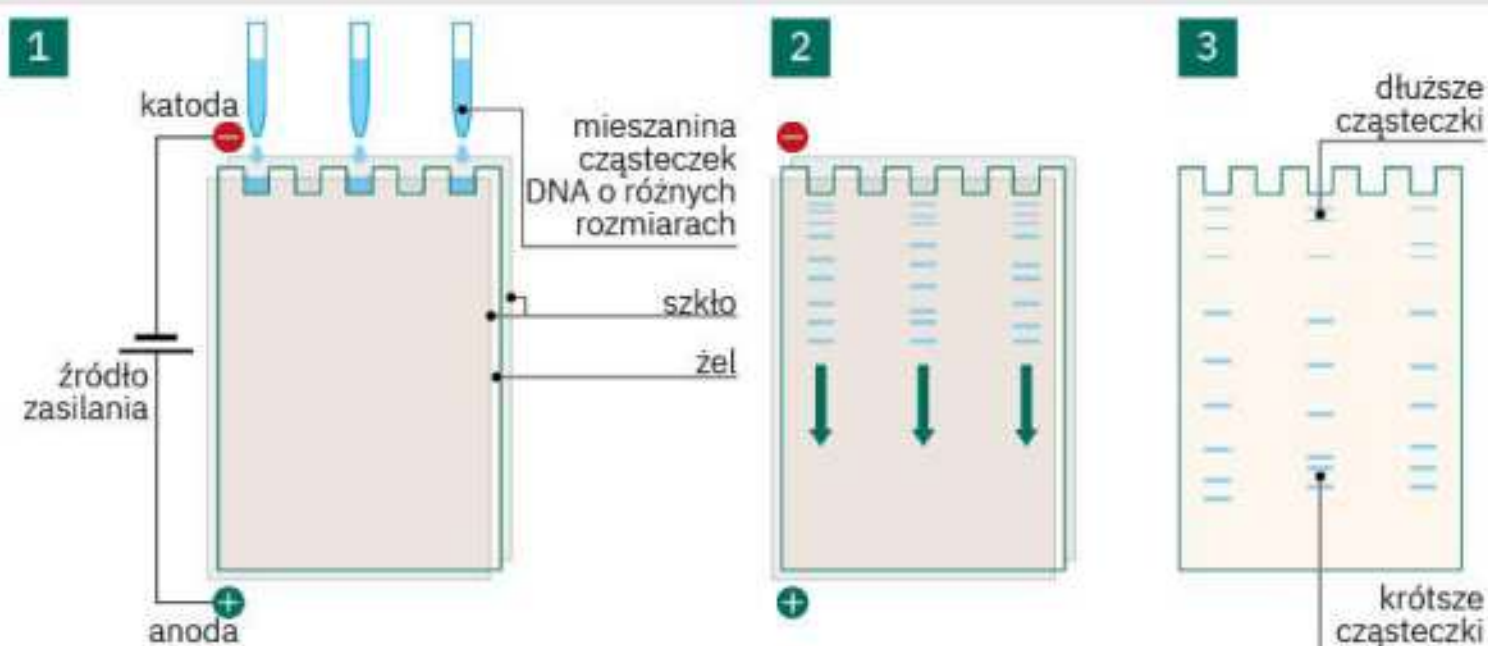
Jak poznać, czy udało się wprowadzić wektor do organizmu gospodarza? Jak wspomniano, wektory zawierają znaczniki zwane także **genami markerowymi**, które warunkują np. oporność na antybiotyki. Jeśli wektor z takim genem zostanie wprowadzony do komórki biorcy, to stanie się ona oporna na antybiotyk. Komórki, które nie uległy transformacji i nie zawierają wektora, będą wrażliwe na antybiotyk. Po wprowadzaniu ich na podłoże z antybiotykiem ich wzrost ulegnie zahamowaniu. Proces przeszukiwania i sprawdzania, czy do komórki udało wprowadzić się wektor, nazywamy **selekcją** (ryc. V.2.7.). Ostatnim jej etapem jest wyszukanie wśród zrekombinowanych komórek tych, które zawierają interesujący nas gen. W tym celu wykorzystujemy tzw. sondy, czyli najczęściej DNA lub RNA o takiej samej lub podobnej sekwencji jak poszukiwany gen. Sondy są najczęściej oznakowane (np. radioaktywnie), co umożliwia badaczowi ich wykrycie za pomocą dostępnych metod analitycznych.



Ryc. V.2.7. Selekcja pozwala na sprawdzenie, czy do bakterii udało się wprowadzić zrekombinowany wektor. Jeśli na pożywce z antybiotykiem wyrosną bakterie, będzie to oznaczać, że transformacja się powiodła, gdyż wektor oprócz klonowanego fragmentu DNA zawiera gen oporności na antybiotyk. Ostatnim jej etapem jest wykorzystanie sondy do wyszukania wśród stransformowanych komórek interesującego nas genu.

elektroforeza
DNA**Elektroforeza DNA**

Elektroforeza żelowa jest najbardziej powszechną metodą służącą do badania cząsteczek DNA. W technice tej wykorzystuje się żel zbudowany z polimeru (np. polisacharydu agarozy), który zastygając, tworzy sieć z mikroporami o określonej średnicy. Pory żelu działają jak sito molekularne. Na żelu są rozdzielane kwasy nukleinowe w zależności od ich masy i ładunku elektrycznego oraz szybkości, z jaką poruszają się w polu elektrycznym (ryc. V.2.8.). Kwasy nukleinowe są naładowane ujemnie i w polu elektrycznym wędrują w stronę elektrody dodatniej. Im cząsteczka dłuższa (większa), tym wolniej porusza się w polu elektrycznym i szybciej zatrzymuje się w porach żelu. Dzięki temu mieszanina cząsteczek DNA o różnych długościach zostaje rozdzielona i uwidoczniona w postaci prążków. Metodą elektroforezy żelowej identyfikujemy zarówno fragmenty DNA pocięte enzymami restrykcyjnymi oraz sklonowane geny, jak i cząsteczki genomowego DNA.



Ryc. V.2.8. Zasada elektroforezy DNA.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wymień metody pozwalające na rekombinowanie DNA i omów jedną z nich.
2. Wymień najczęściej wykorzystywane wektory. Omów dokładnie jeden z nich.
3. Wytlumacz, na czym polega proces klonowania DNA. Wyjaśnij, w jakim celu się ten proces przeprowadza.
4. Wykonaj jedno z doświadczeń opisanych na stronie 407 podręcznika.

PODSUMOWANIE LEKCJI

Nowoczesna biotechnologia wykorzystuje narzędzia i techniki **biologii molekularnej** oraz **inżynierii genetycznej**.

s. 324

Inżynieria genetyczna to zespół technik, które pozwalają na celową zmianę właściwości materiału genetycznego, powielanie DNA, przenoszenie genów pomiędzy organizmami oraz uzyskiwanie organizmów genetycznie zmodyfikowanych.

s. 324

Biotechnologię dzielimy na kolory ze względu na obszary, w których są prowadzone jej działania: zielona biotechnologia (rolnictwo), czerwona (medycyna), biała (przemysł i ochrona środowiska).

s. 324

Najważniejszymi technikami inżynierii genetycznej są **rekombinowanie DNA** oraz **klonowanie DNA**.

s. 325

Rekombinowanie DNA to tworzenie nowych, nieistniejących w naturze połączeń cząsteczki DNA.

s. 325

Przy **rekombinowaniu DNA** wykorzystuje się: enzymy restrykcyjne, wektory oraz elektroforezę.

s. 325

Bakteryjne **enzymy restrykcyjne** służą do precyzyjnego cięcia cząsteczki DNA w ściśle określonych sekwencjach łańcucha DNA.

s. 325

Wprowadzanie DNA do komórek organizmów to **transformacja**.

s. 325

Klonowanie DNA (genu) polega na wprowadzeniu klonowanego fragmentu DNA do wektora, a następnie do komórki biorcy (np. bakterii) i namnożeniu tych komórek.

s. 325

Klonowane fragmenty DNA są wprowadzane do komórek za pomocą **wektorów** (plazmidy, wirusy, bakteriofagi).

s. 327



- s. 327 **Plazmidy** to kuliste cząsteczki DNA występujące u bakterii, u których replikacja przebiega niezależnie od chromosomu bakteryjnego.
- s. 327 **Bakteriofagi** służą do wprowadzania genów do komórek bakteryjnych.
- s. 327 Najczęściej wykorzystywanymi **wektorami wirusowymi** dla komórek organizmów eukariotycznych są adenowirusy, wirusy towarzyszące adenowirusom oraz retrowirusy.
- s. 327 Do **bezwektorowych metod** wprowadzania genów należą: mikroiniekcja i elektroporacja.
- s. 328 **Geny markerowe** obecne w wektorach wprowadza się, aby móc zidentyfikować komórki, do których udało się wprowadzić klonowany fragment DNA, od tych, u których ten proces nie nastąpił.
- s. 328 Poszukiwanie docelowego genu wśród stransformowanych komórek odbywa się za pomocą **sondy** (czyli DNA o sekwencji komplementarnej do poszukiwanego genu).
- s. 328 **Elektroforeza DNA** polega na rozdziale cząsteczek DNA w zależności od ich wielkości na żelu polimerowym w polu elektrycznym. Elektroforeza służy do rozdziału i identyfikacji fragmentów DNA, genów i cząsteczek genomowego DNA.

3. Inne narzędzia inżynierii genetycznej

NA TEJ LEKCJI:

- dowiesz się, na czym polega łańcuchowa reakcja polimerazy;
- zapoznasz się z sekwencjonowaniem DNA;
- dowiesz się, co to jest komplementarny DNA;
- uzyskasz informacje o nokautowaniu genowym, ukierunkowanej mutagenezie i interferencji RNA.

PCR – łańcuchowa reakcja polimerazy

startery

W 1984 r. została wynaleziona metoda pozwalająca na powielanie wybranych odcinków DNA. Metoda ta nazywa się **łańcuchową reakcją polimerazy – PCR** (ang. *polymerase chain reaction*). Przeprowadzając PCR, możemy uzyskać miliony kopii danego odcinka DNA. Warunkiem przeprowadzenia PCR jest znajomość sekwencji nukleotydów sąsiadujących z odcinkiem DNA, który chcemy powielić (nie musimy znać sekwencji nukleotydów odcinka powielanego). W mieszaninie reakcyjnej muszą się znaleźć: krótkie odcinki DNA – tzw. **startery**, które są komplementarne do sekwencji otaczających kopiowaną sekwencję, wolne nukleotydy (A, T, G, C) oraz enzym, np. **termostabilna polimeraza DNA** (polimeraza **DNA Taq**). Enzym ten wyizolowano z bakterii *Thermus aquaticus* (czyt. termus akwatikus; stąd nazwa – Taq), która żyje w gorących źródłach i ma zdolność katalizowania reakcji w 72°C. Jeden cykl reakcji PCR obejmuje (**ryc. V.3.2.**):

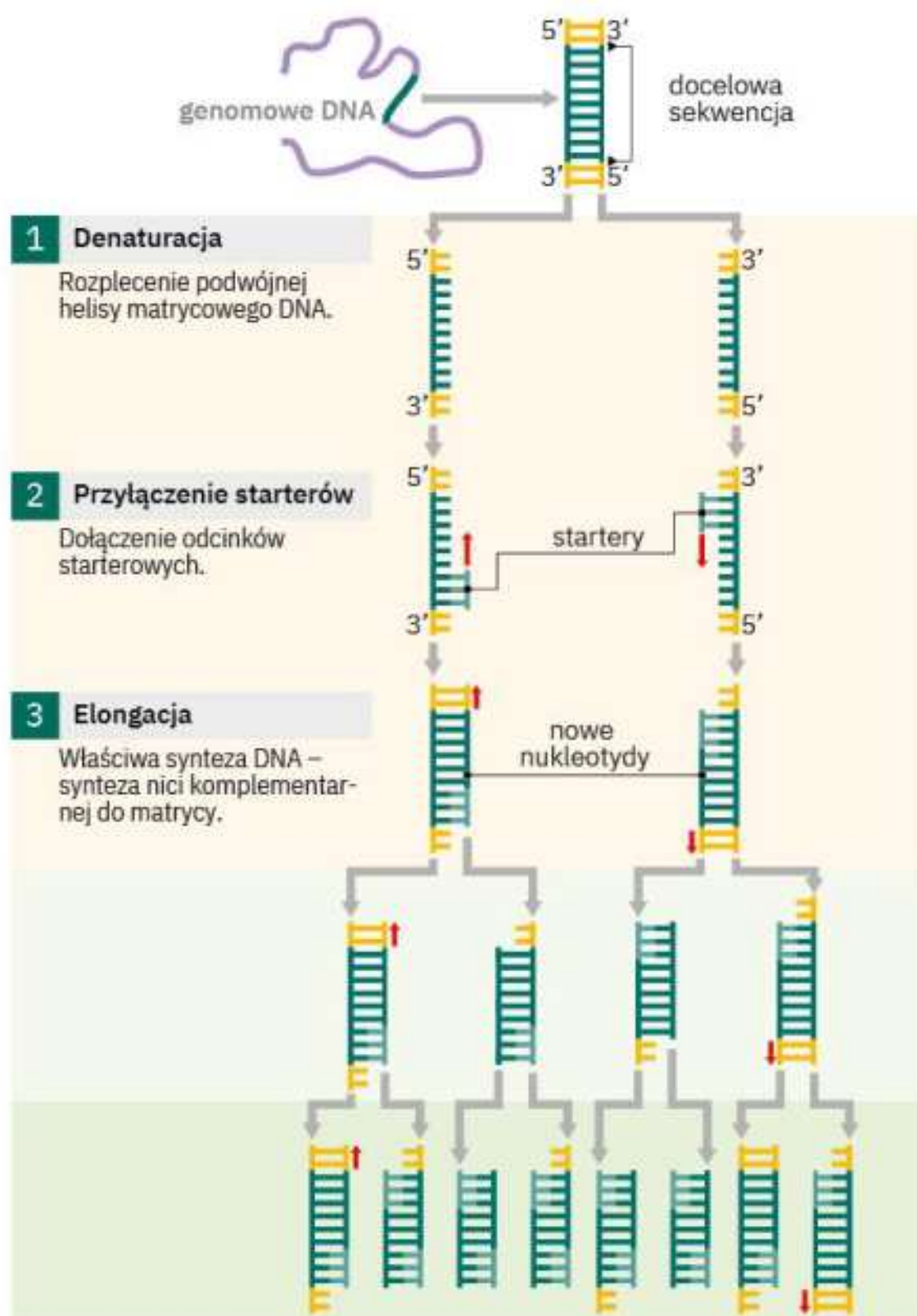


- oddzielenie nici DNA – dwie nici DNA są rozdzielane przez podgrzanie roztworu do temperatury 95°C przez 15 sekund,
- dołączenie starterów – w wyniku gwałtownego schłodzenia mieszaniny reakcyjnej do temperatury 54°C startery przyłączają się do nici DNA,
- syntezę DNA – mieszanina reakcyjna zostaje ponownie podgrzana do temperatury 72°C.

Jest to temperatura odpowiednia do działania polimerazy DNA Taq, która dołącza równocześnie kolejne nukleotydy do obu nici DNA.



Ryc. V.3.1. Środowiskiem życia bakterii *Thermus aquaticus* są gorące źródła.



Ryc. V.3.2. Zasada reakcji PCR – możemy wielokrotnie powielić wybrany odcinek DNA.



Te trzy etapy reakcji są powtarzane raz za razem, co prowadzi do powielania odcinka DNA. Po 20 cyklach DNA zostaje powielony milion razy, a po 30 – miliard w czasie krótszym niż godzina. Co więcej, metoda PCR jest obecnie całkowicie zautomatyzowana. Urządzenie służące do przeprowadzania PCR to **termocykler** (ryc. V.3.3.).



Ryc. V.3.3. W termocyklerach przeprowadza się reakcję PCR.

zastosowanie PCR

Metoda powielania DNA za pomocą reakcji PCR jest niezwykle dokładna. Dzięki niej można wyizolować gen, który stanowi mniej niż milionową część całej cząsteczki DNA. Pozwala to zastosować tę metodę w sytuacjach, gdy mamy bardzo mało materiału. Reakcja PCR znalazła wiele zastosowań w medycynie do wykrywania bakterii, wirusów (np. koronawirusa SARS-CoV-2 czy wirusa HIV przed rozwojem AIDS). Rutynowo wykorzystuje się ją w sądownictwie (np. do ustalania ojcostwa) i kryminalistyce (jako jeden z dowodów w sprawach o gwałt czy zabójstwo). Ponieważ DNA jest cząsteczką bardzo stabilną i może przetrwać wiele tysięcy lat, PCR wykorzystuje się też do analizy DNA muzealnego lub znajdowanego w skamieniałościach.

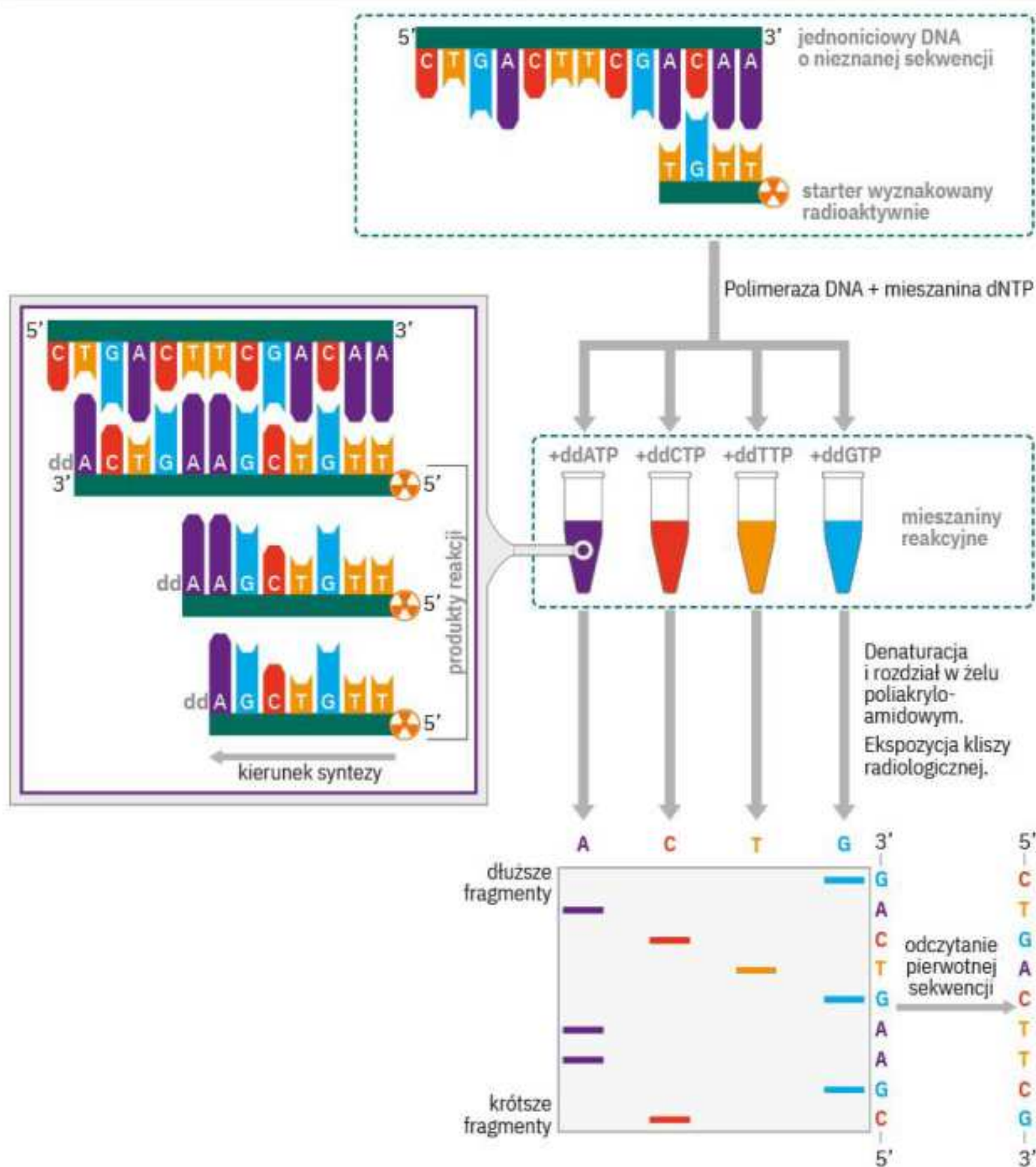
sekwencjonowanie DNA

Sekwencjonowanie DNA

Opracowanie metody sekwencjonowania DNA, czyli techniki pozwalającej na określanie kolejności ułożenia nukleotydów w DNA, było przełomowym odkryciem. Najbardziej znaną metodę sekwencjonowania opisał Frederick Sanger. W reakcji syntezy DNA tą metodą biorą udział: jednoniciowy DNA, polimeraza DNA, znakowany radioaktywnie starter konieczny do zapoczątkowania syntezy DNA, mieszanina normalnych nukleotydów (dATP, dGTP, dCTP, dTTP) oraz jeden z czterech zmodyfikowanych nukleotydów (bez grupy hydroksylowej w pozycji 3') nazwanych **dideoksynukleotydami** np. ddATP, którego wstawienie powoduje zakończenie syntezy DNA (ryc. V.3.4.). W wyniku reakcji, prowadzonej w czterech różnych próbkach (wersja z ddATP, ddTTP, ddGTP lub ddCTP), powstaje zestaw jednoniciowych cząsteczek DNA o różnej długości. Cząsteczki te poddaje się elektroforezie, a uzyskany profil prążków uwidacznia się (bazując na wykrywaniu radioaktywności



przyłączonego startera). Sekwencję cząsteczki DNA poznajemy, odczytując kolejność zasad od dołu żelu ku górze (**ryc. V.3.4.**). Metoda Sangera, zwana także metodą „dideoksy”, była bardzo pracochłonna – sekwencje musiały być odczytywane przez badacza. Nowoczesne techniki sekwencjonowania są w pełni zautomatyzowane i przeprowadzane w nowoczesnych urządzeniach zwanych sekwenatorami. Sekwenatory wykorzystują oprogramowanie komputerowe, które analizuje i przetwarza uzyskane dane.



Ryc. V.3.4. Sekwencjonowanie metodą Sangera (metodą „dideoksy”).



genom

Dzięki zautomatyzowaniu prac związanych z sekwencjonowaniem DNA rozszyfrowano genom człowieka i wielu innych organizmów. Znajomość ludzkiego **genomu** daje nie tylko informacje o budowie i funkcji pojedynczych genów. Jest także potężnym narzędziem w walce z chorobami – umożliwia ich wczesne wykrywanie, odpowiednią profilaktykę oraz opracowywanie skutecznych leków i terapii. To również niezastąpione źródło wiedzy o pochodzeniu i ewolucji człowieka.

Znajomość genomów otwiera ogromne możliwości dla opracowania nowych terapii i leków, np. przeciwnowotworowych. Ich opracowywaniem zajmują się firmy farmaceutyczne, a sam proces jest czasochłonny i kosztowny. Uregulowane muszą być sprawy związane z własnością opracowanych sekwencji DNA oraz udziałem osób, od których pobiera się DNA do badań. Przede wszystkim należy zagwarantować im pełną anonimowość, aby nie dochodziło do ich dyskryminacji, jeśli znalezione geny byłyby „złe” (np. predysponujące do zachorowania na określone choroby). Takie sytuacje mogłyby mieć miejsce podczas przyjmowania ludzi do pracy lub ustalania składki ubezpieczenia na życie przez firmy ubezpieczeniowe. W przypadku osób „obciążonych genetycznie” jedną lub kilkoma poważnymi chorobami genetycznymi ubezpieczyciel mógłby nałożyć na nie wyższe składki lub odmówić ubezpieczenia, a pracodawca – nie przyjąć do pracy.

W internecie jest dostępnych wiele baz, w których można znaleźć dane o sekwencjach nukleotydów. W najbardziej znanym serwisie internetowym NCBI (Narodowym Centrum Informacji Biotechnologicznej, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/guide/>) znajduje się wiele połączonych ze sobą baz danych dotyczących m.in.: kompletnych sekwencji nukleotydowych genomów organizmów, sekwencji nukleotydowych pojedynczych genów, sekwencji genów odpowiedzialnych za choroby genetyczne człowieka, struktury białek oraz danych literaturowych.

Po porównaniu genomu człowieka z genomami innych organizmów okazało się, że wiele genów jest „wspólnych”, natomiast niewielka część pozostaje unikatowa (tzn. charakterystyczna tylko dla człowieka). Okazuje się, że aż 99% genów człowieka ma swoje odpowiedniki u szympansa, a 85% jest wspólnych z myszą. Wytwarzanie tych samych białek przez identyczne geny jest dość typowe u gatunków spokrewnionych. To pozwoliło np. na wykorzystywanie przez lata świńskiej insuliny do leczenia ludzi chorych na cukrzycę. Choć genom poszczególnych ludzi jest bardzo do siebie podobny (w 99,9%), to jednak występują drobne różnice (tylko bliźnięta jednojajowe mają taki sam genom). To czyni każdego z nas jednostką niepowtarzalną. Różnice na poziomie genomowym pomiędzy poszczególnymi osobami dotyczą pojedynczych nukleotydów – jeden nukleotyd jest zastępowany przez inny. Miejsca, w których następuje ta zmiana, nazywamy **polimorfizmami punktowymi** lub SNP (ang. *single nucleotide polymorphisms*). Wiele SNP nie wywołuje żadnych efektów, natomiast część może zmieniać białko kodowane przez gen, w którym ta zmiana nastąpiła. SNP są jednym z mechanizmów warunkujących różnorodność osobników (**ryc. V.3.5.**). Dlatego mówiąc o poznaniu genomu człowieka, powinniśmy zdawać sobie sprawę z tego, że jest to genom tej osoby, od której pobrano DNA.

polimorfizmy
punktowe



Ryc. V.3.5. Ludzie na poziomie genomowym są do siebie podobni w 99,9%.

DNA komplementarny do mRNA

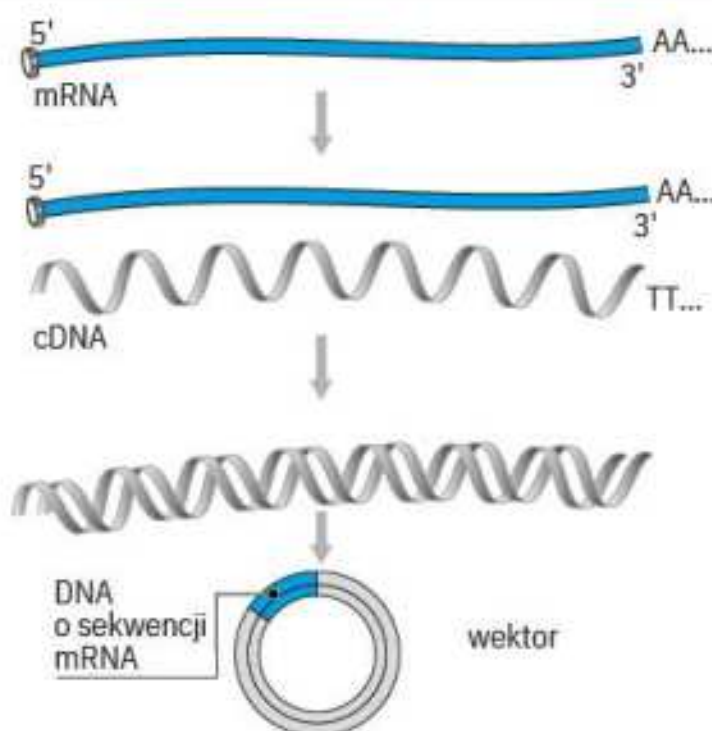
Jak wcześniej wspomniano, często wykorzystujemy bakterie jako „fabryki” do produkcji różnych białek (np. bakterie *Escherichia coli* do produkcji ludzkiej insuliny). Aby bakterie zaczęły wytwarzać ludzkie białko, muszą mieć informację o jego budowie. W tym celu do materiału genetycznego bakterii wprowadza się gen pochodzący od człowieka. Geny człowieka stanowią mieszaninę eksonów i intronów, a bakterie nie mają możliwości usuwania intronów z genu. W związku z tym do bakterii należy dostarczyć gen w ostatecznej postaci. Trudność tę pokonano, uzyskując DNA, które jest komplementarne do dojrzałego mRNA (ryc. V.3.6.). mRNA wytworzony w czasie transkrypcji zostaje poddany działaniu odwrotnej transkryptazy, która wytwarza DNA komplementarny do mRNA. W kolejnym kroku mRNA ulega degradacji, a polimeraza DNA dobudowuje drugą nić DNA, komplementarną do pierwszej. Powstaje w ten sposób dwuniciowa cząsteczka DNA, którą nazywamy **komplementarnym DNA** i oznaczamy **cDNA** (ang. *complementary DNA*).

komplementarny
DNA

1 Odwrotna transkryptaza wykorzystuje mRNA jako matrycę do syntezy komplementarnej nici DNA (cDNA).

2 Nić mRNA ulega zniszczeniu, a na nici cDNA powstaje druga nić DNA.

3 Nowe DNA jest wprowadzane do wektora.



Ryc. V.3.6. W czasie odwrotnej transkrypcji informacja z mRNA jest przepisywana na DNA przez enzym – odwrotną transkryptazę.



nokaut genowy

Nokautowanie genowe

Jeśli funkcja któregoś genu nie została jeszcze scharakteryzowana, jednym ze sposobów na jej poznanie jest „popsucie” go. Gen można zablokować (wyłączyć), a cecha, za którą odpowiada, zostanie wtedy zmieniona (zaburzona). Takie celowe uszkodzanie genów nazywa się ich **nokautowaniem** (genowy nokaut, genowy knock-out). Warunkiem przeprowadzenia nokautu genu jest znajomość jego sekwencji. Dla przykładu: nokaut pewnego genu u myszy doprowadził do śmierci zwierzęcia zaraz po narodzinach. Okazało się, że gen ten odpowiadał za prawidłowe wykształcanie się mięśni szkieletowych, a ponieważ tkanki, z których powstają mięśnie, nie ulegały pełnemu przekształceniu – zwierzę zmarło. W taki sposób poznano funkcje wielu innych genów. Z użyciem tej techniki uzyskano tysiące modelowych zwierząt (m.in. mysich modeli chorób genetycznych człowieka), u których nie funkcjonuje produkt, czyli białko wybranego, nokautowanego genu. O znaczeniu metody nokautu genowego świadczy fakt, że za jej opracowanie przyznano Nagrodę Nobla w 2007 r.

ukierunkowana
mutageneza**Ukierunkowana mutageneza**

Ryc. V.3.7. „Potężna mysz” ma wyciszony gen odpowiedzialny za kontrolę wzrostu mięśni. Brak substancji kontrolującej rozwój mięśni powoduje ich silny rozrost.

Dysponując odcinkiem DNA składającym się z nukleotydów w określonej sekwencji, można zmienić ich pierwotny zapis genetyczny poprzez usunięcie nukleotydu, dodanie nukleotydu bądź zamianę jednego nukleotydu na inny w określonym miejscu. Są to takie same zmiany, jak te występujące w przypadku mutacji. Różnica polega na tym, że mutacje wprowadzają zmiany w przypadkowych miejscach i dopiero mając skutek mutacji (objawy chorobowe), można znaleźć jej przyczynę, czyli miejsca, w których ta mutacja nastąpiła. Kiedy mutacje wprowadzane są w kontrolowany sposób, to zanim powstanie skutek, znana jest jego przyczyna. Proces ten nazywamy **ukierunkowaną mutagenezą**. Na przykład za pomocą ukierunkowanej mutagenezy genetycy wyłączyli gen substancji odpowiedzialnej za hamowanie rozwoju mięśni i uzyskali w ten sposób „potężną mysz” (ang. *Mighty Mouse*, czyt. majti małs) z wielkimi mięśniami (ryc. V.3.7.). W ten sposób uzyskano wiele zwierzęcych modeli chorób człowieka.

interferencja
RNA**Interferencja RNA (RNAi)**

Na początku lat 90. XX w. naukowcy chcieli z użyciem narzędzi inżynierii genetycznej udoskonalić kolor kwiatów petunii. Wprowadzili do tych roślin dodatkowy gen, który warunkuje fioletową barwę kwiatów. Po tym zabiegu zamiast petunii o intensywnie fioletowych płatkach otrzymali petunie z kwiatami barwy jaśniejszej w białe plamy (ryc. V.3.8.).



Ryc. V.3.8. Chcąc uzyskać petunie o intensywnych fioletowych kwiatach, naukowcy wprowadzili do jej komórek gen warunkujący tę barwę. Okazało się, że zamiast fioletowych kwiatów uzyskali kwiaty w białe plamy. Za to zjawisko odpowiada interferencja RNA.

Okazało się, że za to zjawisko odpowiadają małe cząsteczki RNA (siRNA), należące do grupy tzw. regulacyjnych RNA i działające na zasadzie interferencji RNA (RNAi). siRNA, wiążąc się z komplementarnymi odcinkami mRNA, prowadzą do jego degradacji, zatem białko, o którym to mRNA niosło informację, nie powstanie. RNAi daje ogromne nadzieje na leczenie wielu chorób genetycznych. Za pomocą RNAi można „wyłączyć” geny, które są zbyt aktywne. Trwają prace nad wykorzystaniem w przyszłości tej metody w leczeniu, m.in. nowotworów czy chorób neurodegeneracyjnych.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Przeczytaj poniższy tekst, a następnie wykonaj ustnie polecenia.

W 2004 roku zaprezentowano pierwszy poznany genom ptasi – genom kury. Liczy on 1 mld par zasad i został zsekwencjonowany podobnie jak poprzednio: DNA losowo pocięto na kawałki, sekwencjonowano je z osobna, a następnie komputer dopasował końce kawałków do siebie, składając z nich cały genom. Dzięki temu została wypełniona istotna luka, jeśli chodzi o strunowce – do tamtej pory znano bowiem genomy człowieka (3 mld par zasad), myszy, szczura, psa, ryb: rozdymki i fugu (350 i 360 mln) oraz prymitywnego strunowca – zachwy (180 mln). Dzięki poznaniu genomów zwierząt należących do tak odległych gromad możliwe będzie prześledzenie przebiegu ewolucji i odpowiedź na tak podstawowe pytania, jak: skąd się wzięła żyworość, stałocieplność czy zdolność latania.

Źródło: Genomy, genomy, „Świat Nauki” 2005, nr 2 (162), s. 20.

- a) Wymień etapy składające się na sekwencjonowanie DNA.
- b) Wyjaśnij, jakie znaczenie miało poznanie genomu kury.





2. Na podstawie fragmentu poniższego artykułu oceń, czy przedstawione w tabeli stwierdzenia mogą być wnioskami z tego tekstu. Odpowiedzi zapisz w zeszycie.

*Wprowadzenie nowych, bardziej czułych metod diagnostycznych (PCR) pozwoliło wykazać, że zarówno w populacji osób zdrowych, jak i chorych z zakażeniami dróg oddechowych rzeczywisty odsetek osób zakażonych drobnoustrojem *Chlamydomydia pneumoniae* (czyt. chlamydomydia pneumonie) może być wyższy niż oceniany na podstawie dodatnich wyników badań serologicznych.*

Źródło: R. Krenke, Zakażenia górnych dróg oddechowych wywołane przez drobnoustroje atypowe, „Magazyn Otorynolaryngologiczny” V(20), s. 95–100.

Stwierdzenie	Czy może być wnioskiem?
1. Za pomocą PCR możemy wykryć obecność drobnoustrojów, które jeszcze nie zdążyły wywołać objawów choroby.	...
2. Badania standardowe dawały dodatni wynik, jeśli drobnoustrój zakaził organizm.	...
3. Wczesne wykrycie obecności patogenów w organizmie daje szansę ludziom na wyzdrowienie lub zastosowanie odpowiedniej terapii.	...

3. W dostępnych źródłach znajdź informację na temat onko-myszy (ang. OncoMouse). Podaj, jaką technikę wykorzystano, aby ją uzyskać, do jakich celów jest wykorzystywana i jakie ma to znaczenie.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- s. 330 Łańcuchowa reakcja polimerazy (PCR) pozwala na wielokrotne powielenie odcinków DNA. Mieszanina reakcyjna PCR musi zawierać **startery** (odcinki komplementarne do sekwencji otaczających kopiowaną sekwencję), wolne nukleotydy oraz enzym termostabilną polimerazę DNA Taq, która jest aktywna w temperaturze 72°C.
- s. 332 PCR znalazła zastosowanie w wielu dziedzinach: medycynie, sądownictwie, kryminalistyce itd.
- s. 332  **Sekwencjonowanie DNA** to poznawanie kolejności ułożenia nukleotydów w DNA. Przeprowadza się je przy użyciu metody Sangera i analizy elektroforetycznej.
- s. 334 Znajomość **genomu** jest niezwykle istotna w profilaktyce i terapii chorób. Stanowi także niezastąpione źródło wiedzy o pochodzeniu i ewolucji człowieka.
- s. 334 Za różnorodność osobniczą odpowiadają m.in. **polimorfizmy punktowe**, czyli zmiany dotyczące pojedynczych nukleotydów.
- s. 335 **Komplementarny DNA (cDNA)** jest komplementarny do dojrzałego mRNA i uzyskuje się go na drodze odwrotnej transkrypcji.
- s. 336 **Nokaut genowy** jest dogodną techniką w poznawaniu funkcji genów.
- s. 336 **Ukierunkowana mutageneza** polega na wprowadzaniu celowych mutacji do materiału genetycznego i obserwowaniu ich skutków.
- s. 336 **Interferencja RNA** to wyciszanie genów za pomocą siRNA; daje nadzieje na leczenie chorób, które są spowodowane zbyt wysoką aktywnością genów i które za pomocą RNAi można wyciszyć.



4. Zastosowania technik inżynierii genetycznej

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz zastosowania technik inżynierii genetycznej w medycynie sądowej i kryminalistyce;
- uzyskasz informacje o badaniach naukowych bazujących na technikach inżynierii genetycznej.

Badania DNA są obecnie nieocenionym narzędziem w wielu dziedzinach naszego życia, m.in. w sądownictwie przy ustalaniu ojcostwa czy w sprawach spadkowych oraz w kryminalistyce, np. podczas identyfikacji śladów biologicznych pozostawionych przez sprawców przestępstw i zaginionych oraz identyfikacji szczątków osób, które zginęły w katastrofach lub wypadkach. Analizy DNA wykorzystuje się też w celach naukowych: do badania wymarłych gatunków, wzbogacania wiedzy o etapach ewolucji lub podczas tworzenia rodowodów.

Badania DNA w medycynie sądowej i kryminalistyce

badanie DNA

Zgodnie z polskim prawem matką dziecka jest kobieta, która je urodziła, a ojcem – mężczyzna wskazany przez matkę. Jeśli mężczyzna nie zgadza się z tym, co mówi kobieta, może wnieść do sądu sprawę o ustalenie **spornego ojcostwa**. Jednym z podstawowych dowodów jest wówczas badanie DNA wykonane na zlecenie sądu w specjalistycznej placówce.

Z kolei porównanie DNA pochodzącego ze **śladów biologicznych** znalezionych na miejscu przestępstwa z DNA podejrzanego może potwierdzić lub wykluczyć udział danej osoby w sprawie. Dzięki zastosowaniu metody PCR do wykonania badania wystarczy bardzo mała ilość DNA (**ryc. V.4.2.**). Analiza pozwala ustalić, od jakiego gatunku (od człowieka, psa, kota itp.) pochodzi znaleziony materiał genetyczny. Można też za jej pomocą określić płeć oraz z dużym prawdopodobieństwem kolor włosów, co znacznie ułatwia ustalenie wyglądu sprawcy przestępstwa lub ofiary. W przypadku materiału bardzo zniszczonego wykonuje się analizę mitochondrialnego DNA, gdyż jest on mniej podatny na degradację i występuje w komórce w wielu kopiach.



Ryc. V.4.1. W celu ustalenia ojcostwa analizuje się m.in. wymaz pobrany z wewnętrznej strony policzków. Najczęściej polega to na porównaniu SNP dziecka i domniemanego ojca.



bazy danych DNA

Na użytek medycyny sądowej prowadzi się **bazy danych DNA**, które zawierają profile genetyczne osób oskarżonych i podejrzanych o dokonanie przestępstwa, żywych osób i ludzkich szczątków o nieustalonej tożsamości, osób usiłujących ukryć swoją tożsamość, a także profile wykonane na podstawie śladów pozostawionych przez nieznaną sprawców przestępstw. Obecnie dostępne metody pozwalają na powtórny analizę zebranych przed laty dowodów, wznowianie umorzonych śledztw i rozwiązywanie spraw, których dotąd nie udało się rozwikłać.



Ryc. V.4.2. Do przeprowadzenia analizy DNA wystarczy kilka komórek pochodzących na przykład ze śliny pozostawionej na kopcie czy niedopałku papierosa, z zabrudzonych ubrań lub fragmentów skóry pod paznokciami ofiary.

Badania genetyczne w nauce

dziedziczenie
mitochondrialne

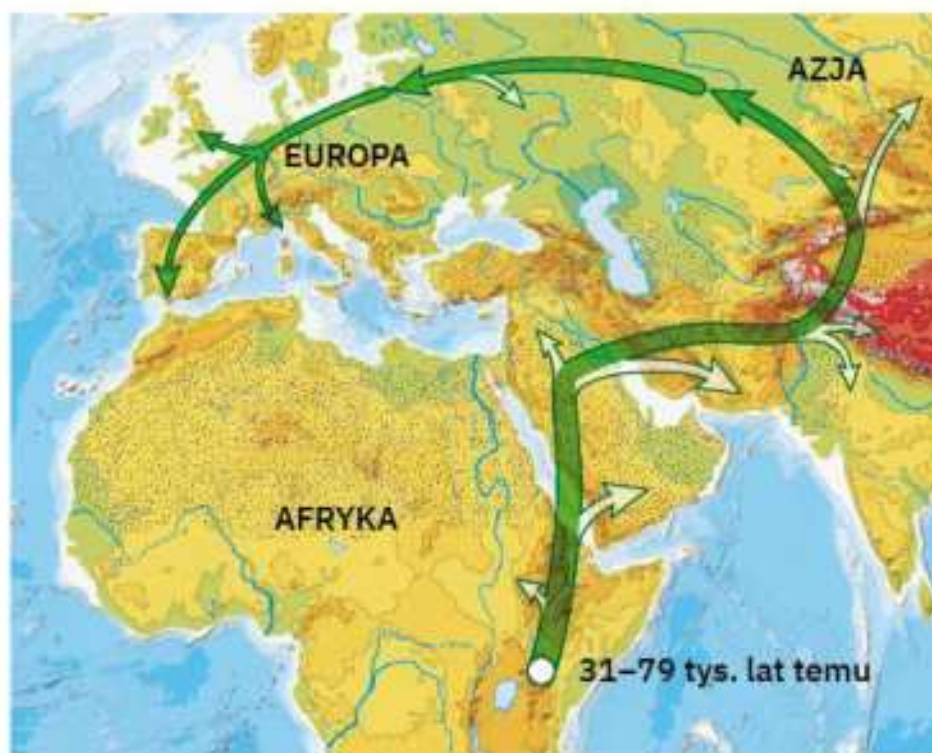
Porównanie sekwencji **mitochondrialnego DNA** osoby zmarłej wiele lat temu z sekwencją osoby żyjącej współcześnie umożliwia określenie tożsamości zmarłego. Wynika to z faktu, że osoby spokrewnione ze sobą w linii żeńskiej mają taką samą sekwencję mtDNA, ponieważ rozwijający się zarodek otrzymuje mitochondria od matki (znajdują się one w komórce jajowej). Dlatego dziedziczenie mitochondrialne nazywa się dziedziczeniem matczynym (informacja genetyczna jest przekazywana tylko od matki). Dzięki badaniom mtDNA udało się rozwikłać wiele zagadek z przeszłości. Przykładem może być odkrycie, że Mikołaj Kopernik został pochowany w katedrze we Fromborku.

analiza
pokrewieństwaGenographic
Project

Badania DNA (zarówno jądrowego, jak i mitochondrialnego) wykorzystuje się także do sporządzania drzew rodowych (genealogicznych) i ustalania pochodzenia – w tym pochodzenia gatunku *Homo sapiens*. Przykładem może być przedsięwzięcie o nazwie **Genographic Project** realizowane m.in. przez National Geographic i firmę IBM. Jego celem jest odtworzenie szlaków migracyjnych przodków człowieka za pomocą analizy unikalnych markerów genetycznych poszczególnych osób. DNA do badań jest pobierany od ochotników z całego świata. Wyniki badań są przedstawiane w postaci map, na których oznaczono trasy wędrówek grup ludzi (np. Aborygenów) albo pojedynczych osób.



Ryc. V.4.3. Projekt Genographic pozwolił m.in. odtworzyć trasę wędrówki przodków Karola Darwina – ojca ewolucjonizmu. Materiał genetyczny pobrano od jego prapraprawnika (Chrisa Darwina). Na podstawie analiz ustalono, że najstarszy przodek Darwinów żył 50 tysięcy lat temu we wschodniej Afryce. Stamtąd jego potomkowie przez Morze Czerwone, Mezopotamię, Iran i Ukrainę dotarli do Europy.



Genetycy zajmują się również badaniem **starożytnego** (antycznego) **DNA** (aDNA; ang. *ancient DNA*). To DNA wyizolowany z martwych organizmów (np. zasuszonych czy z mumifikowanych okazów). Dziedzina nauki zajmująca się tego typu badaniami to **archeogenetyka**. Analizy te umożliwiają uzyskanie nowych informacji na temat wymarłych gatunków zwierząt (np. niedźwiedzia jaskiniowego) oraz ich pokrewieństwa z gatunkami żyjącymi obecnie (np. na temat wspólnego przodka kwagi i zebry). Z kolei analizy aDNA roślin (np. kukurydzy sprzed ok. 4000 lat) pozwalają zdobyć wiedzę o stosowanych wcześniej metodach upraw, a badania aDNA człowieka (np. mumii sprzed 2400 lat) doprowadziły do uzyskania wielu nowych informacji na temat ewolucji.

starożytny DNA

Nanobiotechnologia stoi na pograniczu nanotechnologii, biologii i biochemii. Jej zadaniem jest obserwowanie natury, a następnie wykorzystanie zasad jej funkcjonowania w użyteczny dla człowieka sposób. Dzięki temu powstają materiały oraz urządzenia odwzorowujące właściwości żywych organizmów (np. gekona, który potrafi poruszać się po pionowych, śliskich powierzchniach) (**ryc. V.4.4.**). Pozwala to np. na wytworzenie rękawic oraz butów, które charakteryzują się wyjątkową przyczepnością.

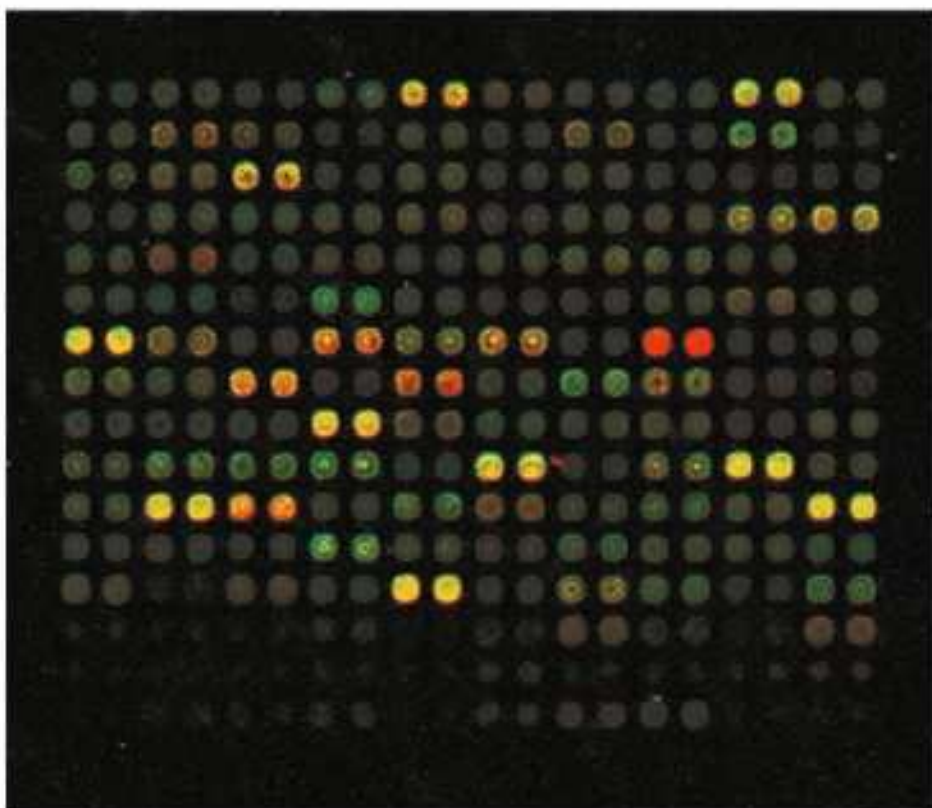


nanobiotechnologia

Ryc. V.4.4. Stopy gekona są bardzo gęsto pokryte specjalnymi białkami (do ponad 5000 białek na 1 mm² powierzchni). Wzorując się na nich, naukowcy stworzyli materiał o wyjątkowej przyczepności.



Produkty nanobiotechnologii to tzw. nanourządzenia. Mają wyjątkowo małe rozmiary (od 1 do 100 nm; dla porównania średnica włosa wynosi 8×10^4 nm). Znalazły zastosowanie w medycynie, m.in. jako tzw. **mikromacierze DNA** lub **nanochipy diagnostyczne** wykrywające stany chorobowe (ryc. V.4.5.).



Ryc. V.4.5. Chip DNA (mikromacierz DNA) pozwala porównać funkcjonowanie genów osoby zdrowej i chorej. Chip diagnostyczny to płytka z zagłębieniami, na której unieruchomione są fragmenty DNA. Każde zagłębienie to informacja, jak działa dany gen w dwóch próbkach. Dzięki temu można się dowiedzieć, który gen działa inaczej niż normalnie, i wykorzystać tę informację do leczenia choroby.

Farmakogenomika ma na celu umożliwienie poznania genetycznego podłoża choroby i na tej podstawie konstruowanie leku dla konkretnego pacjenta (obecnie określony lek jest przepisywany pacjentom cierpiącym na daną dolegliwość niezależnie od jej podłoża). Sposób, w jaki dany lek jest metabolizowany, także zależy od czynników genetycznych. Leki nowej generacji mają uwzględniać również te predyspozycje, co pozwoli na precyzyjne dopasowanie dawki lub zrezygnowanie z zastosowania farmaceutyku. Jednym z pierwszych sukcesów farmakogenomiki jest herceptyna.

Na koniec warto podkreślić, że nowoczesna biotechnologia nie rozwinęłaby się, gdyby nie postęp w naukach informatycznych. Szerokie wykorzystanie informatyki w różnych dziedzinach nauk biologicznych spowodowało, że narodziła się nowa nauka – **bioinformatyka**. Narzędzia bioinformatyki służą przede wszystkim analizie danych.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. W dostępnych źródłach (internet, prasa) znajdź i zapisz w zeszycie cztery przykłady zastosowania analiz DNA w sprawach sądowych.
2. Wyjaśnij w zeszycie pojęcie *mitochondrialne DNA*. Podaj przykłady zastosowania analizy mtDNA w badaniach genetycznych.
3. Korzystając ze strony internetowej projektu Genographic Project, wypisz w zeszycie najnowsze odkrycia wynikające z przeprowadzonych analiz.



4. W pewnym mieście dokonano włamania do sklepu. Policjanci zatrzymali troje podejrzanych. Na miejscu zdarzenia znaleziono kilka włosów, z których wyizolowano DNA. Na tej podstawie określono profil genetyczny sprawcy (przedstawia go kolumna oznaczona cyfrą I). Określono także profile genetyczne trojga zatrzymanych (kolumny A–C).

Na podst.: R. Walker, *Geny i DNA*, SAMP Informacja i Edukacja, Warszawa 2004.

Przeanalizuj profile i odpowiedz ustnie, czy dzięki nim można określić, który z podejrzanych był obecny w miejscu, w którym dokonano włamania. Uzasadnij swoją odpowiedź.



5. Wyjaśnij, czym zajmuje się farmakogenomika.

PODSUMOWANIE LEKCJI

Badania DNA są niezastąpione w sądownictwie (np. przy ustalaniu ojcostwa) oraz medycynie sądowej i kryminalistyce (np. do analizy śladów biologicznych).

Na użytek medycyny sądowej prowadzi się **bazy danych DNA**, które zawierają m.in. profile genetyczne osób oskarżonych i podejrzanych o dokonanie przestępstw.

W **dziedziczeniu mitochondrialnym** informacja genetyczna jest przekazywana tylko od matki. Dlatego analizy mtDNA umożliwiają ustalanie tożsamości osób zmarłych wiele lat temu (przez porównanie ich DNA z DNA osób żyjących współcześnie).

Badania mitochondrialnego i jądrowego DNA wykorzystuje się w **analizowaniu pokrewieństwa** (w tym pokrewieństwa gatunków) oraz w sporządzaniu rodowodów.

Genographic Project wykorzystuje badania DNA w celu ustalenia pochodzenia człowieka, jego przodków oraz szlaków wędrówek ludzi.

Starożytny DNA (aDNA) to DNA pochodzący z zachowanych do dziś szczątków organizmów żyjących wiele lat temu.

Techniki inżynierii genetycznej są wykorzystywane w nowych obszarach, takich jak: **nanobiotechnologia** czy farmakogenomika.

s. 339

s. 340

s. 340

s. 340

s. 340

s. 341

s. 341



5. Inżynieria genetyczna w profilaktyce i diagnostyce chorób uwarunkowanych genetycznie

NA TEJ LEKCJI:

- dowiesz się, na czym polega profilaktyka pierwotna chorób genetycznych;
- uzyskasz informacje na temat poradnictwa genetycznego;
- poznasz cele wykonywania testów genetycznych;
- dowiesz się, jakie możliwości stwarza inżynieria genetyczna w diagnostyce chorób genetycznych.

profilaktyka zdrowotna

Profilaktyka zdrowotna to działania zapobiegające występowaniu chorób, w tym chorób genetycznych. Profilaktyka pierwotna obejmuje eliminowanie i kontrolowanie czynników ryzyka (np. utrzymanie prawidłowej diety, niepalenie papierosów). Profilaktyka wtórna to zapobieganie chorobom poprzez wczesne ich wykrywanie oraz leczenie. Ponieważ dostępne metody leczenia mają ograniczone zastosowanie w odniesieniu do chorób genetycznych, choroby te stanowią współcześnie poważny problem. Wszelkie działania zmniejszające ryzyko ich wystąpienia są więc niezwykle ważne.

Profilaktyka pierwotna chorób genetycznych. Poradnictwo genetyczne

Choroby spowodowane mutacjami pojedynczych genów (tzw. choroby jednogenowe) oraz aberracje chromosomowe są niemożliwe do przewidzenia i wczesnego wykrycia. Profilaktyka pierwotna w przypadku tego typu chorób ogranicza się do **poradnictwa genetycznego** obejmującego rodziny obarczone ryzykiem ich wystąpienia. Natomiast w przypadku wieloczynnikowych chorób genetycznych profilaktyka pierwotna może być skuteczna (np. zapobieganie wadom cewy nerwowej u płodu poprzez przyjmowanie kwasu foliowego przez kobiety w ciąży i planujące ją).

poradnictwo genetyczne



Ryc. V.5.1. Wizyta w poradni genetycznej jest niezbędna, jeśli w rodzinie istnieje ryzyko wystąpienia choroby dziedzicznej.



Termin *poradnictwo genetyczne* oznacza formę specjalistycznej pomocy medycznej dla rodzin, w których istnieje ryzyko wystąpienia chorób genetycznych. Poradnictwo to obejmuje następujące etapy: prawidłowe rozpoznanie choroby, analizę rodowodu rodziny, określenie ryzyka genetycznego, przekazanie porady oraz ocenę skutków porady. Celem poradnictwa genetycznego jest przekazanie pełnej informacji o rozpoznanej chorobie (wraz z opisem jej przebiegu i istniejących sposobów leczenia), a także określenie genetycznego podłoża choroby oraz oszacowanie ryzyka pojawienia się jej u pozostałych członków rodziny oraz potomstwa. Przekazane informacje powinny pomóc osobom konsultowanym w podjęciu działań zgodnych z uzyskaną wiedzą, przekonaniem i celami życiowymi, a także przyczynić się do jak najlepszego funkcjonowania chorego oraz ograniczenia ponownego pojawienia się choroby w rodzinie.

Porada genetyczna udzielana jest jedynie osobom zainteresowanym i ma charakter informacyjny. Udzielający jej lekarz powinien wzbudzać zaufanie i wykazywać się taktem. Decyzja o dalszym postępowaniu należy do osób zasięgających porady. Podstawowym zadaniem poradnictwa genetycznego jest zwiększenie wiedzy osób konsultowanych o chorobie i ryzyku jej wystąpienia oraz o możliwym jej wpływie na życie chorego i jego rodziny.

Diagnostyka genetyczna jako przykład profilaktyki wtórnej

W diagnostyce genetycznej wyróżnia się dwa podejścia: można badać sposób dziedziczenia danego genu lub identyfikować mutacje genowe. W pierwszym przypadku zostaje określone nosicielstwo genu w rodzinie chorego, czemu służy badanie danej osoby oraz członków jej rodziny. W drugim przypadku analizuje się gen pod kątem występujących w nim mutacji.

Profilaktyka wtórna w odniesieniu do chorób genetycznych obejmuje przede wszystkim badania przedimplantacyjne i prenatalne oraz badania przesiewowe noworodków i dorosłych pod kątem określonych chorób genetycznych (np. fenyloketonurii, anemii sierpowatej).

W przypadku zapłodnienia *in vitro* stosuje się **przedimplantacyjną diagnostykę genetyczną** (PGD), która służy wykryciu wad genetycznych zarodków przed wprowadzeniem ich do organizmu przyszłej matki. Metoda ta pozwala na wykrycie znacznej liczby wad, a także na określenie płci zarodka. Diagnostyka przedimplantacyjna wzbudza wiele kontrowersji, zwłaszcza jeśli chodzi o odrzucanie zarodków z wykrytą wadą genetyczną.

badania przed-
implantacyjne

Testy genetyczne

testy genetyczne

Test genetyczny jest badaniem DNA (a także RNA, białek, chromosomów itp.) wykonywanym dla celów poradnictwa genetycznego i celów klinicznych. Test umożliwia poznanie genetycznej przyczyny choroby lub określenie ryzyka rozwoju choroby genetycznej (test na nosicielstwo genetyczne) u danej osoby lub u jej potomstwa. Pozwala to podjąć kroki zapobiegające wystąpieniu poważnych zaburzeń na skutek niewłaściwej opieki. Badania tego typu są jednym z ważniejszych narzędzi profilaktyki wtórnej chorób uwarunkowanych genetycznie.



Testy genetyczne osoba zainteresowana może też wykonać w firmach zajmujących się tym komercyjnie. Warto jednak zastanowić się nad wpływem, jaki uzyskana wiedza (np. o ryzyku zachorowania na jakąś chorobę) może wywrzeć na nasze życie. Wynik testów może spowodować, że zaczniemy lekceważyć swoje zdrowie (np. wiedza o minimalnym ryzyku zachorowania na raka płuc nie zmotywuje do rzucenia palenia). Z dużą dozą ostrożności należy podchodzić także do testów dostępnych w internecie. Zarówno przed przeprowadzeniem jakiegokolwiek testu genetycznego, jak i po jego wykonaniu powinniśmy skonsultować się z lekarzem.

Diagnostyka chorób nowotworowych

Według danych Centrum Onkologii (<http://www.onkologia.org.pl/>) w Polsce notuje się ponad 155 tysięcy zachorowań na nowotwory i 93 tysiące zgonów rocznie z powodu tych chorób. W dużej mierze przyczynia się do tego zbyt późna wykrywalność nowotworów. Można temu przeciwdziałać, wykorzystując osiągnięcia genetyki. Techniki inżynierii genetycznej umożliwiają oszacowanie ryzyka zachorowania, obserwuje się bowiem rodzinne predyspozycje do zapadalności na niektóre typy nowotworów (np. rak jajnika, sutka i jelita grubego). Wykrycie nowotworu we wczesnej postaci znacznie zwiększa szanse na wyleczenie.

markery
nowotworowe

W diagnostyce chorób nowotworowych wykorzystuje się **markery biochemiczne** oraz **markery genetyczne**. Marker biochemiczny (marker nowotworowy) to każda substancja (najczęściej białko), za pomocą której można odróżnić komórkę nowotworową od komórki zdrowej. W komórce nowotworowej substancja ta występuje w zmienionej postaci lub ilości. Markery biochemiczne rzadko są specyficzne dla danego typu nowotworu (tzn. podwyższenie poziomu danego markera można obserwować w przypadku np. nowotworu płuc, trzustki czy żołądka). Z kolei **markery genetyczne** (molekularne) to zmiany w strukturze lub sekwencji materiału genetycznego, które umożliwiają zbadanie ryzyka zapadalności na dany typ nowotworu, a także ułatwiają diagnostykę i prognozowanie przebiegu choroby nowotworowej oraz wybór terapii. Przykładem markera genetycznego jest gen BRCA (ang. **BREAST CANCER**). Mutacja w tym genie znacznie zwiększa ryzyko wystąpienia nowotworu piersi i jajników. Testy genetyczne wykrywające obecność mutacji, zwłaszcza u kobiet, w których rodzinie występowały te choroby, umożliwiają podjęcie działań zmniejszających ryzyko zachorowania (regularne badania mammograficzne, ultrasonograficzne itp.).

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wymień zadania i cele poradnictwa genetycznego.
2. Wyjaśnij różnicę pomiędzy badaniami prenatalnymi a przedimplantacyjnymi.
3. Podaj, co to jest marker genetyczny i w jakim celu się go oznacza.
4. Wyobraź sobie, że jesteś lekarzem genetykiem. U twojej pacjentki, młodej kobiety, analiza DNA wykazała obecność zmutowanej wersji genu BRCA. Odegraj wraz z kolegą scenkę, w której wcielisz się w rolę lekarza, a twoim zadaniem będzie poinformowanie pacjentki o wyniku analizy DNA oraz wyjaśnienie jej, co oznacza wykryta mutacja.



5. Na podstawie dostępnych źródeł sporządź notatkę na temat Międzynarodowego Konsorcjum Genomu Raka (ang. *International Cancer Genome Consortium*).

PODSUMOWANIE LEKCJI

Profilaktyka zdrowotna to wszystkie działania zapobiegające występowaniu chorób, w tym chorób genetycznych; dzielimy ją na pierwotną i wtórną.

s. 344

Poradnictwo genetyczne jest przykładem profilaktyki pierwotnej. To specjalistyczna pomoc dla rodzin, w których istnieje ryzyko wystąpienia chorób genetycznych.

s. 344

Poradnictwo genetyczne obejmuje prawidłowe rozpoznanie choroby, analizę rodowodu rodziny, określenie ryzyka genetycznego oraz przekazanie porady.

s. 344

Do działań profilaktyki wtórnej zaliczamy **badania przedimplantacyjne**, prenatalne oraz przesiewowe.

s. 345

Przedimplantacyjna diagnostyka genetyczna wykonywana w czasie zapłodnienia *in vitro* służy wykryciu wad genetycznych u zarodków przed wprowadzeniem ich do organizmu przyszłej matki.

s. 345

Testy genetyczne to badanie DNA, RNA, białek lub chromosomów, wykonywane dla celów poradnictwa genetycznego i w celach klinicznych (poznanie genetycznej przyczyny choroby).

s. 345

Markery nowotworowe biochemiczne wykorzystywane w diagnostyce chorób nowotworowych to najczęściej białka, za pomocą których odróżnia się komórkę nowotworową od normalnej; markery genetyczne (molekularne) to zmiany w strukturze lub sekwencji materiału genetycznego.

s. 346

6. Mikroorganizmy genetycznie zmodyfikowane

NA TEJ LEKCJI:

- dowiesz się, co to są organizmy genetycznie zmodyfikowane i organizmy transgeniczne;
- poznasz możliwości wykorzystania genetycznie modyfikowanych mikroorganizmów (GMM);
- dowiesz się o zagrożeniach wynikających ze stosowania mikroorganizmów GM.

Terminem **organizmy genetycznie zmodyfikowane** (organizmy GM, GMO; ang. *genetically modified organisms*) określa się organizmy, których materiał genetyczny został zmieniony przy użyciu technik inżynierii genetycznej w celu uzyskania nowych jego cech lub zmiany cech już istniejących. Jeżeli do genomu organizmu zostanie wprowadzony gen pochodzący z innego organizmu, mamy do czynienia

organizmy
genetycznie
zmodyfikowane



organizmy
transgeniczne

mikroorganizmy
genetycznie
modyfikowane

z **organizmem transgenicznym**. Pierwszym wprowadzonym do sprzedaży organizmem transgenicznym był pomidor FlavrSavr™ (1994 r.). Modyfikacjom genetycznym są poddawane mikroorganizmy, rośliny oraz zwierzęta.

Mikroorganizmy genetycznie zmodyfikowane (GMM)

Do mikroorganizmów (drobnoustrojów) zalicza się bakterie, wirusy, pierwotniaki, liczne glony oraz niektóre grzyby. Mają one ogromne znaczenie w inżynierii genetycznej – zarówno jako organizmy modelowe, jak i wektory genowe. Mikroorganizmy transgeniczne, nazywane również mikroorganizmami GM (GMM; z ang. *genetically modified microorganisms*) wykorzystuje się m.in. w medycynie, rolnictwie, przemyśle (np. farmaceutycznym i spożywczym) czy w ochronie środowiska.

Dużą zaletą mikroorganizmów jest szybkie tempo ich wzrostu oraz łatwość hodowli. Ponadto genomy większości wykorzystywanych w procesach biotechnologicznych mikroorganizmów są znane.

GMM w medycynie

Mikroorganizmy genetycznie zmodyfikowane w medycynie

Mimo rozwoju medycyny z powodu infekcji wirusowych i bakteryjnych na świecie umiera rocznie wiele milionów osób. Najbardziej skuteczną metodą walki z tym zagrożeniem okazały się jak dotąd **szczepienia**. Dzięki szczepieniom profilaktycznym udało się wyeliminować lub znacznie ograniczyć występowanie groźnych chorób (np. ospy prawdziwej, gruźlicy, polio). Istotą szczepień ochronnych jest wprowadzenie do organizmu małej dawki drobnoustrojów chorobotwórczych, dzięki czemu system odpornościowy uczy się je rozpoznawać i zwalczać. Z wykorzystaniem mikroorganizmów genetycznie zmodyfikowanych uzyskuje się nowe szczepionki, których bezpieczeństwo i dostępność są znacznie większe niż szczepionek tradycyjnych. W tym celu z materiału genetycznego żywych drobnoustrojów usuwa się gen warunkujący zjadliwość (przy zachowaniu cech, które pobudzają organizm do odpowiedzi immunologicznej). Z kolei szczepionki złożone z martwych drobnoustrojów próbuje się zastępować **szczepionkami rekombinowanymi**. Uzyskuje się je przez wyizolowanie z drobnoustroju fragmentu materiału genetycznego kodującego białko antygenowe. Po izolacji i oczyszczeniu antygeny otrzymuje się skuteczną i bezpieczną szczepionkę (np. przeciw wirusowemu zapaleniu wątroby typu B czy zakażeniom wywołanym przez wirusa brodawczaka ludzkiego, HPV). Nowym osiągnięciem są także **szczepionki DNA** stosowane na razie u zwierząt. Składają się one z kolistych plazmidów, w których występuje jeden lub kilka genów kodujących białka drobnoustrojów. Wytworzenie szczepionek DNA trwa znacznie krócej niż przygotowywanie szczepionek tradycyjnych (np. klasyczna szczepionka przeciw grypie wymaga hodowli i przechowywania żywych wirusów przez ok. pół roku). Ponadto DNA można przechowywać i transportować w temperaturze pokojowej (ok. 20°C), w przeciwieństwie do szczepionek klasycznych, które wymagają chłodzenia. Mikroorganizmy transgeniczne wykorzystuje się także do produkcji **antybiotyków**. Najczęściej stosuje się w tym celu bakterie, zwłaszcza z rodzaju *Streptomyces*. Produkują one aż 2000 różnych antybiotyków, z których 50 jest stosowanych w lecznictwie (do najbardziej znanych zaliczana jest np. streptomycyna). Modyfikacje bakterii służą uzyskaniu znacznie większej ilości antybiotyku o wysokiej czystości.



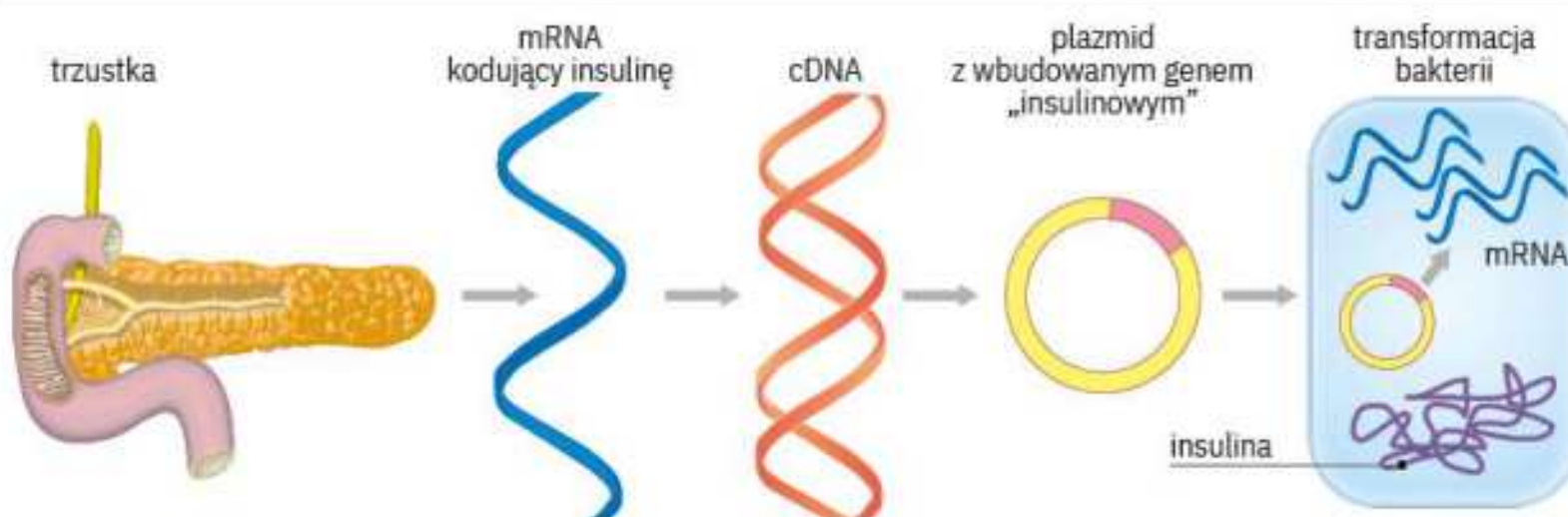
Mikroorganizmy genetycznie zmodyfikowane wykorzystuje się także do produkcji **białek ludzkich** i zwierzęcych na skalę przemysłową. Najczęściej wykorzystuje się do tego celu zmodyfikowaną pałeczkę okrężnicy – *Escherichia coli*. Pierwszymi białkami, które w ten sposób uzyskano, były insulina (stosowana w leczeniu cukrzycy) oraz hormon wzrostu (wykorzystywany w leczeniu karłowatości).

Stosowaną wcześniej do leczenia chorych na cukrzycę insulinę zwierzęcą (głównie bydlęcą lub świńską) zastąpiono insuliną ludzką, produkowaną przez transgeniczne bakterie *Escherichia coli* (ryc. V.6.1 i V.6.2.) oraz drożdże. Zamiana ta zwiększyła skuteczność leczenia cukrzycy oraz bezpieczeństwo chorego. Przykłady innych białek uzyskiwanych z zastosowaniem mikroorganizmów genetycznie zmodyfikowanych podano w tabeli V.6.1.



insulina

Ryc. V.6.1. Zapotrzebowanie na insulinę jest ogromne (nawet do 16 ton rocznie), ponieważ cukrzycę diagnozuje się u coraz większej liczby osób w coraz młodszy wieku.



Ryc. V.6.2. Aby w pałeczkach okrężnicy (*Escherichia coli*) można było produkować insulinę, należy gen kodujący ludzką insulinę wprowadzić do plazmidu bakteryjnego. Bakterie namnaża się, tak aby uzyskać wiele kopii genu, a w efekcie wiele białka – insuliny.

Tab. V.6.1. Przykłady białek i mikroorganizmów transgenicznych wykorzystywanych do ich produkcji

Zmodyfikowany mikroorganizm	Zastosowanie
<i>Escherichia coli</i>	synteza ludzkiej insuliny, interferonu, endorfiny, hormonu wzrostu
<i>Pichia pastoris</i>	produkcja żelatyny
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> (czyt. sacharomyces cerewizje)	synteza ludzkiego hormonu wzrostu



GMM w rolnictwie

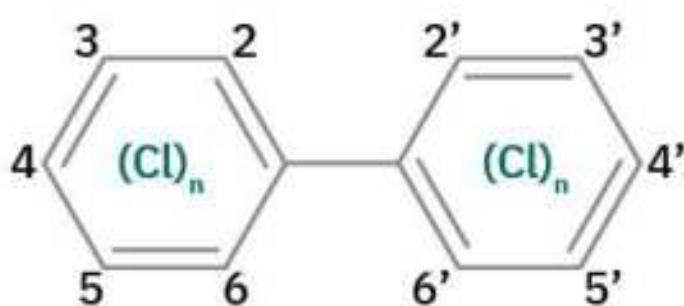
Mikroorganizmy GM w rolnictwie

Geny bakterii wprowadza się do materiału genetycznego roślin, uzyskując gatunki odporne na herbicydy, szkodniki czy patogeny oraz gatunki wzbogacone w substancje odżywcze. Zmodyfikowane grzyby oraz bakterie wykorzystuje się także zamiast nawozów chemicznych bądź jako ich uzupełnienie. Bakterie z rodzaju *Rhizobium*, które żyją w symbiozie z korzeniami roślin motylkowych, zmodyfikowano w taki sposób, że przeprowadzany przez nie proces wiązania azotu atmosferycznego (N_2) przebiega znacznie wydajniej. Wykorzystuje się je jako biologiczny nawóz w celu dostarczania roślinom niezbędnych składników pokarmowych, co przekłada się na wyższe plony.

GMM w ochronie środowiska

Mikroorganizmy GM w ochronie środowiska

Jednym z osiągnięć inżynierii genetycznej jest wytworzenie transgenicznych mikroorganizmów, które produkują enzymy rozkładające ksenobiotyki. **Ksenobiotyki** to substancje niewystępujące naturalnie w środowisku, wchodzące w skład detergentów, środków ochrony roślin oraz mieszanin ropopochodnych. Powodują skażenie środowiska i akumulują się w łańcuchu pokarmowym. Wiele z tych związków jest toksycznych i rakotwórczych. Przykładem są polichlorowane bifenylole (PCB) – substancje stosowane w przemyśle, które mają właściwości rakotwórcze (ryc. V.6.3.). Ulegają powolnemu rozkładowi, w trakcie którego wydzielają się trujące związki. Do usuwania spowodowanych przez PCB skażeń gleby i wody wykorzystuje się transgeniczne bakterie z rodzaju *Pseudomonas*, które degradują te substancje.



Ryc. V.6.3. Polichlorowane bifenylole mogą prowadzić do nowotworów, chorób układu odpornościowego oraz nerwowego, uszkodzenia wątroby, bezpłodności czy uszkodzenia płodu.



Ryc. V.6.4. Biodegradowalne polimery łatwo ulegają rozkładowi – zarówno w glebie, jak i w wodzie.

Duże nadzieje wiąże się z wykorzystaniem modyfikowanych bakterii do usuwania toluenu i rtęci, zwłaszcza podczas katastrof morskich (rtęć kumuluje się w łańcuchu pokarmowym, przez co staje się toksyczna dla ryb, ptaków oraz ludzi). Mikroorganizmy transgeniczne są wykorzystywane również do produkcji **materiałów biodegradowalnych**, czyli takich, które są rozkładane do prostych związków, np. dwutlenku węgla i wody. Zapobiega to składowaniu wytworzonych z nich opakowań na wysypiskach (ryc. V.6.4.).



GMM
w przemyśle

Mikroorganizmy GM w przemyśle

Drobnoustroje żyjące w środowiskach ekstremalnych (gorących źródłach, lodach arktycznych, silnie zanieczyszczonych terenach) budzą duże zainteresowanie jako źródło nowych enzymów i związków. Wykorzystanie genów i kodowanych przez nie białek pochodzących od tych organizmów służy uzyskaniu między innymi bezpiecznych dla środowiska proszków do prania oraz innych detergentów.

Wachlarz związków wytwarzanych przez mikroorganizmy transgeniczne jest ogromny. Znalazły one zastosowanie przy produkcji enzymów trawiennych oraz dodatków do żywności. Biorą udział w produkcji aminokwasów egzogennych (np. tryptofanu, lizyny, metioniny), witamin (B₂, C, prowitaminy A), naturalnych regulatorów kwasowości (liczne kwasy organiczne), konserwantów, substancji wzmacniających smak, zagęstników oraz barwników.

Zagrożenia wynikające ze stosowania mikroorganizmów transgenicznych

kontrola
hodowli GMM

Warunki hodowli mikroorganizmów zmodyfikowanych genetycznie są ściśle kontrolowane, dlatego ich szerokie zastosowanie nie rodzi aż tak dużych kontrowersji, jak wykorzystanie transgenicznych roślin czy zwierząt. Największe obawy budzi przede wszystkim szybkie tempo rozmnażania transgenicznych drobnoustrojów, co po przedostaniu się ich do środowiska może uniemożliwić kontrolę nad nimi. Liczne badania pokazują, że zmodyfikowane mikroorganizmy mają poważne problemy z przystosowaniem się do środowiska naturalnego. Ponadto manipulacje genetyczne są prowadzone w taki sposób, aby można było usunąć zmodyfikowane mikroorganizmy ze środowiska, kiedy nie są już potrzebne. Zastosowanie tzw. **zabójczych elementów genetycznych** pozwala również na ich unieszkodliwienie, gdyby mikroorganizmy te przedostały się do środowiska innego niż to, do którego zostały uwolnione (np. bakterie rozkładające PCB wytwarzają toksyczne dla siebie białko, dlatego po rozłożeniu PCB giną).

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wymień podobieństwa i różnice pomiędzy szczepionkami tradycyjnymi i szczepionkami DNA.
2. Wyjaśnij, jakie znaczenie w leczeniu chorych na cukrzycę miało zastąpienie insuliny zwierzęcej insuliną ludzką produkowaną przez zmodyfikowane genetycznie bakterie.
3. Wskaż korzyści wynikające ze stosowania transgenicznych mikroorganizmów w rolnictwie.
4. Omów zagrożenia związane z wykorzystywaniem mikroorganizmów modyfikowanych genetycznie.
5. Przeczytaj zamieszczony poniżej fragment artykułu, a następnie zdecyduj, czy przedstawione w tabeli stwierdzenia są prawdziwe, czy fałszywe. Zadanie wykonaj w zeszycie.



Mikroorganizmy wywołujące większość zatruć pokarmowych być może pewnego dnia wyprodukują znaczną część paliwa wykorzystywanego przez środki transportu. Naukowcy zmodyfikowali genom pospolitych bakterii *Escherichia coli* (paleczki okrężnicy) tak, aby produkowały olej napędowy oraz inne węglowodory. Najpierw genetycznie zmodyfikowano bakterie, aby przetwarzały cukier i wydzielaly gotowe biopaliwo. Wypływa ono na powierzchnię zbiornika, w którym prowadzi się fermentację, i nie wymaga dalszej destylacji ani oczyszczania. Badacze, dążąc do zminimalizowania negatywnego wpływu produkcji biopaliwa na podaż żywności, w innych gatunkach znaleźli geny produkujące enzymy, które rozkładają podstawowy składnik ścian komórkowych – celulozę. Nie jest ona pokarmem dla człowieka. Naukowcy wprowadzili te geny do *E. coli* i uzyskali mikroorganizmy nie tylko rozkładające celulozę, ale także produkujące biopaliwo. Na podst.: Pożyteczne mikroorganizmy, „Świat Nauki” 2010, nr 5, s. 18.

Stwierdzenie
1. <i>Escherichia coli</i> została zmodyfikowana w taki sposób, aby cukry i białka przetwarzała na paliwo.
2. Biopaliwo produkowane przez zmodyfikowane bakterie może być od razu wykorzystane.
3. Zmodyfikowana bakteria posiada enzymy zdolne do rozkładania cukrów, których człowiek nie jest w stanie trawić.
4. Jeden gatunek bakterii rozkłada celulozę, a inny z produktów tego rozkładu produkuje biopaliwo.

6. Wykonaj doświadczenie opisane na stronie 407 podręcznika.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- s. 347 **Organizm genetycznie zmodyfikowany** to organizm, którego materiał genetyczny został zmieniony przy użyciu technik inżynierii genetycznej.
- s. 348 **Organizm transgeniczny** to organizm, do którego genomu został wprowadzony gen pochodzący od innego organizmu.
- s. 348 **Modyfikacjom genetycznym** poddaje się mikroorganizmy, rośliny oraz zwierzęta.
- s. 348 Mikroorganizmy (bakterie, grzyby, pierwotniaki) **genetycznie zmodyfikowane (GMM)** wykorzystuje się w wielu gałęziach przemysłu.
- s. 348 **Wykorzystanie GMM w medycynie** bazuje na uzyskiwaniu: szczepionek nowej generacji (rekombinowanych, szczepionek DNA) o wyższej skuteczności i bezpieczeństwie dla pacjenta; antybiotyków oraz ludzkich białek.
- s. 349 Dostępna obecnie **insulina** jest produkowana przez zmodyfikowane genetycznie bakterie *Escherichia coli*, do których wprowadzono gen ludzkiej insuliny.
- s. 350 **Mikroorganizmy GM stosuje się w rolnictwie** jako zielony nawóz do wzbogacania gleby w związki azotu i fosforu.
- s. 350 W **ochronie środowiska GMM** stosuje się do usuwania ksenobiotyków, toksyn i metali ciężkich, a także do produkcji tworzyw biodegradowalnych.
- s. 351 Z mikroorganizmów GM uzyskuje się enzymy, dodatki do żywności, barwniki i inne związki wykorzystywane w różnych gałęziach przemysłu.
- s. 351 **Hodowle GMM są ściśle kontrolowane**, a ryzyko ich rozprzestrzeniania się spada w związku z zastosowaniem zabójczych elementów genetycznych, które unieszkodliwia GMM po przedostaniu się ich do środowiska.



7. Modyfikacje genetyczne roślin

NA TEJ LEKCJI:

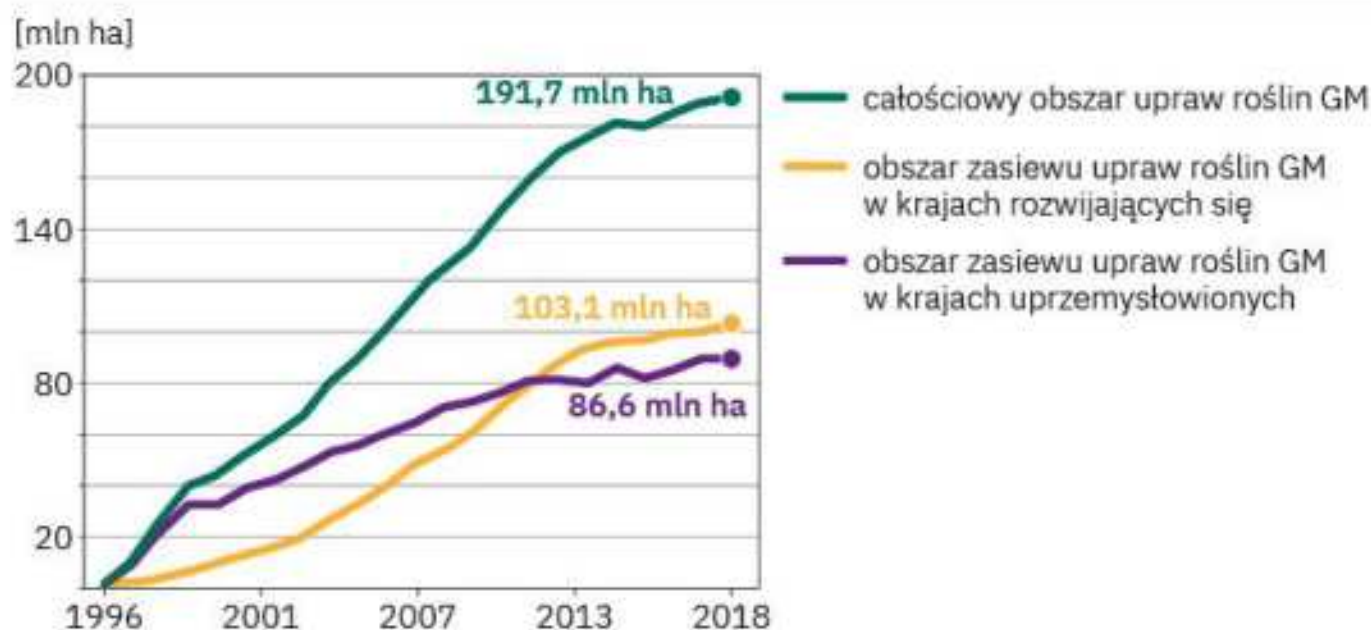
- uzyskasz informacje o uprawach roślin genetycznie zmodyfikowanych na świecie;
- dowiesz się, w jakich celach uzyskuje się rośliny genetycznie zmodyfikowane.

Szacuje się, że do 2050 r. liczba ludzi na świecie wzrośnie do 9 miliardów, co rodzi konieczność zaspokojenia olbrzymich potrzeb żywieniowych. Zastosowanie roślin transgenicznych może się przyczynić do podniesienia wydajności upraw, zwiększając produkcję na określonej powierzchni przy jednoczesnym zmniejszeniu nakładów finansowych i ograniczeniu stosowania pestycydów. Rośliny transgeniczne znajdują również zastosowanie w medycynie czy ochronie środowiska.

rośliny
genetycznie
modyfikowane
na świecie

Uprawy roślin genetycznie zmodyfikowanych na świecie

W 2018 r. uprawy roślin genetycznie zmodyfikowanych (roślin GM) zajmowały na świecie powierzchnię ponad 191 milionów hektarów (**ryc. V.7.1.**). Połowę tego arealu zajmują uprawy soi. Spośród innych roślin transgenicznych powszechnie uprawia się też kukurydzę, bawełnę, rzepak, dynię, papaję oraz lucernę. Największą powierzchnię zajmują uprawy genetycznie zmodyfikowanych roślin odpornych na herbicydy. Najwięcej roślin GM produkuje się w Stanach Zjednoczonych, a ponadto w Brazylii, Argentynie, Indiach, Kanadzie oraz Chinach. Jedynymi krajami Unii Europejskiej, w których uprawia się rośliny transgeniczne, są Hiszpania i Portugalia.



Ryc. V.7.1. Areal upraw roślin GM na przestrzeni lat 1996–2019 (wg ISAAA, 2019).



Ryc. V.7.2. Rośliny najczęściej modyfikowane genetycznie: soja (A), kukurydza (B), bawełna (C).

Pierwszą roślinę transgeniczną uzyskano w 1984 r. Był to tytoń odporny na szkodniki owadzie. Proces uzyskiwania roślin transgeniczných jest bardzo skomplikowany. Najczęściej wykorzystuje się do tego celu mechanizm agroinfekcji.

Rośliny modyfikowane genetycznie w rolnictwie

cele modyfikacji roślin

Inżynieria genetyczna wspiera rolników w staraniach o uzyskanie lepszej jakości roślin oraz w zwiększeniu ich produktywności (tab. V.7.1.). Cel ten realizowany jest poprzez:

Tab. V.7.1. Przykłady roślin zmodyfikowanych genetycznie oraz efekty modyfikacji

Roślina transgeniczna	Uzyskany efekt
burak cukrowy	możliwość wytwarzania niskokalorycznego cukru
kukurydza	większa wartość paszowa zwiększona zawartość witaminy E
mak	eliminacja morfiny
pomidor	przedłużona trwałość owoców zwiększona zawartość witaminy A, karotenoidów i flawonoidów większa wartość dietetyczna
pszenica	większa wartość wypiekowa
ryż	eliminacja związków powodujących alergię zwiększona zawartość witaminy A
rzepak	zwiększona zawartość witamin E i A
ziemniak	zwiększona wartość dietetyczna oraz technologiczna większa zawartość skrobi

- **zwiększenie tolerancji roślin na niesprzyjające warunki środowiska**, czyli suszę, niską lub wysoką temperaturę, zasolenie gleby (przykładem mogą być odporne na suszę pomidor i ziemniak czy odmiana eukaliptusa odporna na działanie niskich temperatur);
- **zwiększenie wartości odżywczej roślin** oraz poprawę ich jakości w wyniku zmiany składu aminokwasowego, zwiększenia zawartości witamin, skrócenia czasu dojrzewania owoców, wydłużenia czasu ich przechowywania (tab. V.7.1.). Dzięki inżynierii genetycznej udało się stworzyć kukurydzę o zwiększonej zawartości witaminy A, C oraz kwasu foliowego, a także złoty ryż (ang. *New Golden Rice*), który zawiera wysoki poziom witaminy A (ryc. V.7.3.). Niedobory witamin dotyczą nawet 50% ludzi na świecie. Najbardziej narażeni są na nie mieszkańcy krajów najuboższych i rozwijających się, których dieta jest niezróżnicowana i oparta na produktach zbożowych. Wprowadzenie do niej odmian roślin z wyższą zawartością składników odżywczych daje nadzieje na zahamowanie chorób spowodowanych ich niedoborem.



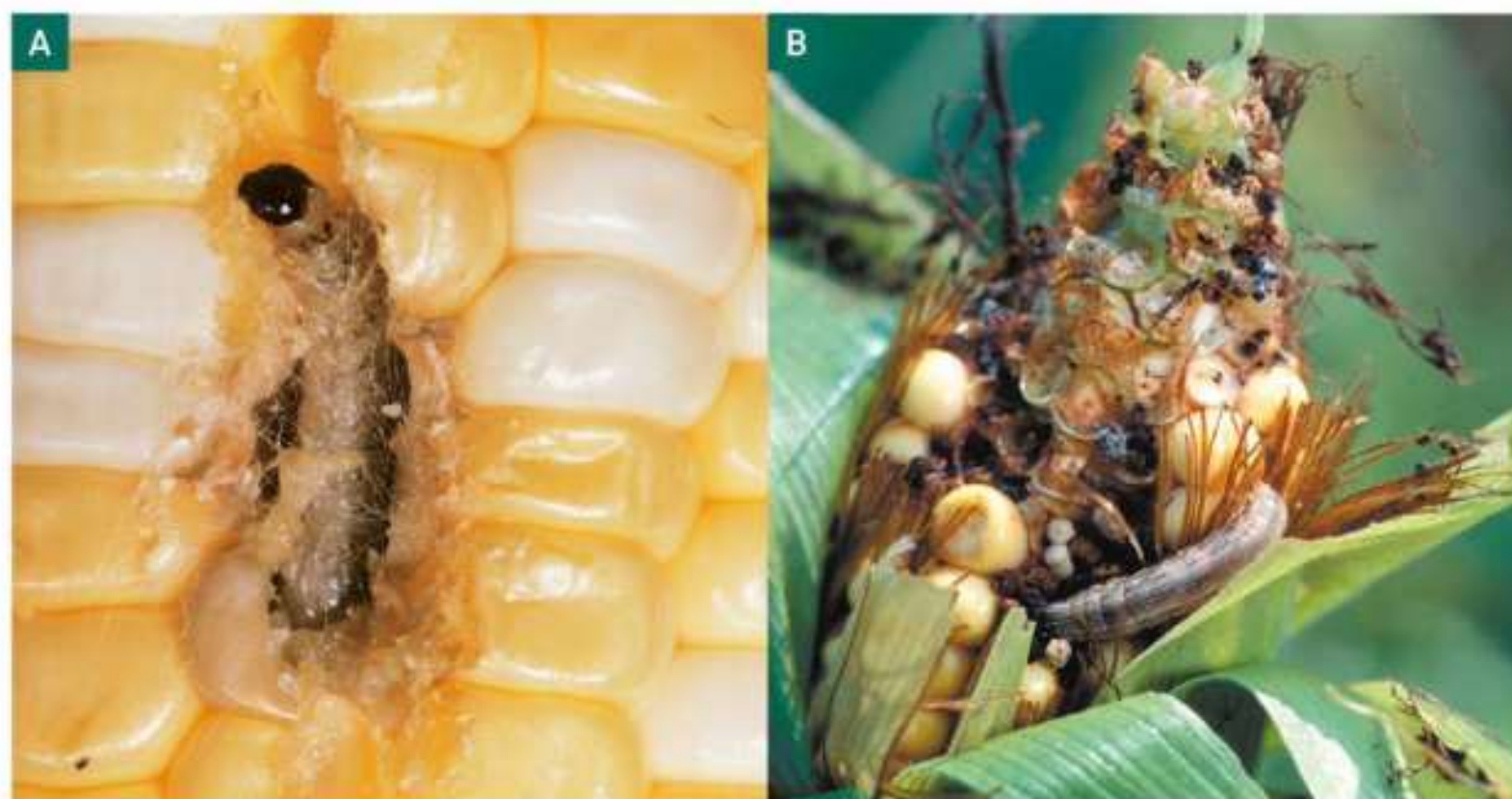
- uzyskanie **roślin odpornych na choroby wirusowe, bakteryjne i grzybowe**, np. ziemniak odporny na wirusa liściozwoju, proso odporne na rdzę żdźbłową oraz inne gatunki odporne na patogeny, m.in. truskawka, pszenica, ogórek, kukurydza;

- uzyskanie **roślin uprawnych niewrażliwych na herbicydy**, czyli substancje chemiczne toksyczne dla określonych grup roślin, wykorzystywane w rolnictwie do zwalczania chwastów. Najpowszechniej uprawianą rośliną tego typu jest soja. Do grupy tej należą także: bawełna, owies, kukurydza, ryż, rzepak, żyto. W Polsce w 1995 r. wyprodukowano pierwszą na świecie odmianę pszenżyta odpornego na herbicydy;



Ryc. V.7.3. W tzw. krajach Trzeciego Świata wielu ludzi umiera lub traci wzrok z powodu niedoboru witaminy A. Spożywanie złotego ryżu mogłoby pomóc temu zapobiegać.

- wytworzenie **roślin odpornych na szkodniki owadzie** – najczęściej uzyskuje się je, wprowadzając do ich materiału genetycznego gen bakterii glebowej *Bacillus thuringiensis*, warunkujący produkcję białka toksycznego dla owadów (białko to nazywa się białkiem CRY lub toksyną Bt). Roślinę transgeniczną wyposażoną w gen tej toksyny nazywamy **rośliną Bt**, np. kukurydza Bt odporna na omacnicę prosowiankę (ryc. V.7.4.) oraz ziemniak Bt odporny na stonkę ziemniaczaną.



Ryc. V.7.4. Najgroźniejszym szkodnikiem atakującym kukurydzę jest omacnica prosowianka – ciepłolubny motyl nocny (A – gąsienica omacnicy prosowianki na ziarniakach kukurydzy; B – kolba kukurydzy uszkodzona przez omacnicę).



biofarmaceutyki

Rola roślin transgenicznych w medycynie i ochronie środowiska

Inżynieria genetyczna stawia sobie także za cel stworzenie roślin na użytek medycyny. Działania te skupiają się przede wszystkim wokół uzyskania roślin produkujących **biofarmaceutyki**, m.in. ludzką albuminę surowicy krwi, hormony, enzymy oraz przeciwciała. Przykładami roślinnych bioreaktorów są tytoń wytwarzający hormon wzrostu czy rzepak wykorzystywany do produkcji hirudyny. Inne przykłady podano w **tabeli V.7.2**. Warto wspomnieć, że polscy naukowcy uzyskali transgeniczny len, którego włókna zawierają silne antyoksydanty. Opatrunki wykonane z włókien tego lnu przyspieszają gojenie się ran i działają bakteriobójczo.

Tab. V.7.2. Przykłady biofarmaceutyków wytwarzanych w roślinach i ich zastosowanie

Białko	Wykorzystywana roślina	Możliwe zastosowanie w medycynie
hirudyna	tytoń, gorczyca	leczenie zaburzeń krzepnięcia krwi
erytropoetyna	tytoń	leczenie anemii, niewydolności nerek
enkefaliny	rzeżucha	terapię przeciwbólowe
czynnik wzrostu naskórka	tytoń	leczenie oparzeń
β -interferon	ryż, rzepak	terapię antywirusowe

biodegradowalne
tworzywa
sztuczne

Inżynieria genetyczna umożliwia również uzyskanie roślin wytwarzających **biodegradowalne tworzywa sztuczne** (np. soję wytwarzającą plastik), a także umożliwiających przemysłową produkcję biopaliw (stosowany w tym celu genetycznie zmodyfikowany rzepak jest dwukrotnie wydajniejszy w porównaniu z rzepakiem niezmodyfikowanym). Transgeniczne rośliny wykorzystuje się także w procesie fitoremediacji (czyli oczyszczania gleb i wód).

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wyjaśnij pojęcie *roślina genetycznie zmodyfikowana*.
2. Wymień pięć korzyści wynikających z uzyskiwania roślin genetycznie zmodyfikowanych.
3. Skonstruuj w zeszycie tabelę dotyczącą roślin bioreaktorów, uwzględniając gatunek, rodzaj wytwarzanych związków oraz ich zastosowania.
4. Wytłumacz, w jaki sposób uzyskuje się rośliny odporne na szkodniki owadzie.
5. Wykonaj doświadczenie opisane na stronie 408 podręcznika.
6. Przeczytaj poniższy tekst, a następnie wykonaj polecenia.

Na amerykańskim Uniwersytecie Cornella przeprowadzono badania, w których wykazano, że pyłek transgenicznej kukurydzy Bt działa owadobójczo nie tylko na larwy omacnicy prosowianki, ale także na larwy motyla monarcha żerujące na liściach trojeści (rodzaj chwastu). Doniesienia te na około 6 lat wstrzymały proces regulacyjny dla nowych GMO w UE. Po wykonaniu badań polowych naukowcy z Uniwersytetu Cornella opublikowali sprostowanie. Okazało się, że dawki pyłku kukurydzy użyte w laboratorium były



całkowicie nieproporcjonalne do potencjalnych dawek w warunkach polowych. Okres żerowania larw nie pokrywa się z okresem pylenia kukurydzy, a trojeść rzadko występuje w uprawach kukurydzy. Ponadto stwierdzono, że motyle monarchy giną w wyniku zabiegów chemicznych stosowanych dla ochrony kukurydzy niemodyfikowanej.

Na podst.: <http://link.operon.pl/n73291>

- Wyjaśnij, dlaczego wyniki doświadczeń laboratoryjnych różniły się od wyników uzyskanych w doświadczeniach polowych.
- Podaj, które z wymienionych w tekście warunków nie zostały uwzględnione przez naukowców z Uniwersytetu Cornella w czasie prac laboratoryjnych.
- Określ, które z przedstawionych w tabeli stwierdzeń mogą stanowić wniosek z sytuacji opisanej w powyższym tekście. Odpowiedź zapisz w zeszycie.

Stwierdzenie	Czy może stanowić wniosek z opisanej sytuacji? (Tak/Nie)
1. Badania laboratoryjne dotyczące wpływu pyłku kukurydzy Bt na larwy motyla monarcha nie odzwierciedlają sytuacji występującej w naturze.	
2. W celu stwierdzenia wpływu pyłku transgenicznej kukurydzy na larwy motyla monarcha należało wykonać równoległe badania laboratoryjne i polowe.	
3. Sytuacja występująca w środowisku naturalnym jest znacznie bardziej złożona niż w warunkach laboratoryjnych.	

PODSUMOWANIE LEKCJI

Areal upraw roślin genetycznie modyfikowanych w 2018 r. wynosił 191 mln ha.

s. 353

Do najczęściej **modyfikowanych roślin** należą: soja, rzepak, kukurydza, bawełna i lucerna.

s. 353

Modyfikacje roślin przeprowadza się w celu poprawy ich jakości oraz zwiększania plonów.

s. 354

Główne **cele modyfikacji roślin** to: zwiększenie tolerancji roślin na złe warunki środowiska, zwiększenie wartości odżywczej, uzyskanie roślin odpornych na choroby wirusowe, bakteryjne i grzybowe, na herbicydy oraz na szkodniki owadzie.

s. 354

Rośliny modyfikuje się na użytek medycyny w celu wytwarzania w ich tkankach **biofarmaceutyków** (białek, hormonów).

s. 356

Z tkanek roślin genetycznie zmodyfikowanych próbuje się uzyskiwać **tworzywa biodegradowalne** oraz wykorzystuje się je do produkcji biopaliw.

s. 356



8. Zwierzęta transgeniczne

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz metodę uzyskiwania zwierząt transgenicznych;
- dowiesz się, w jakim celu przeprowadza się modyfikacje genetyczne zwierząt.

zwierzęta
transgeniczne

Modyfikacje genetyczne zwierząt są znacznie bardziej skomplikowane, długotrwałe i kosztowne niż modyfikacje roślin, dlatego nie są tak rozpowszechnione.

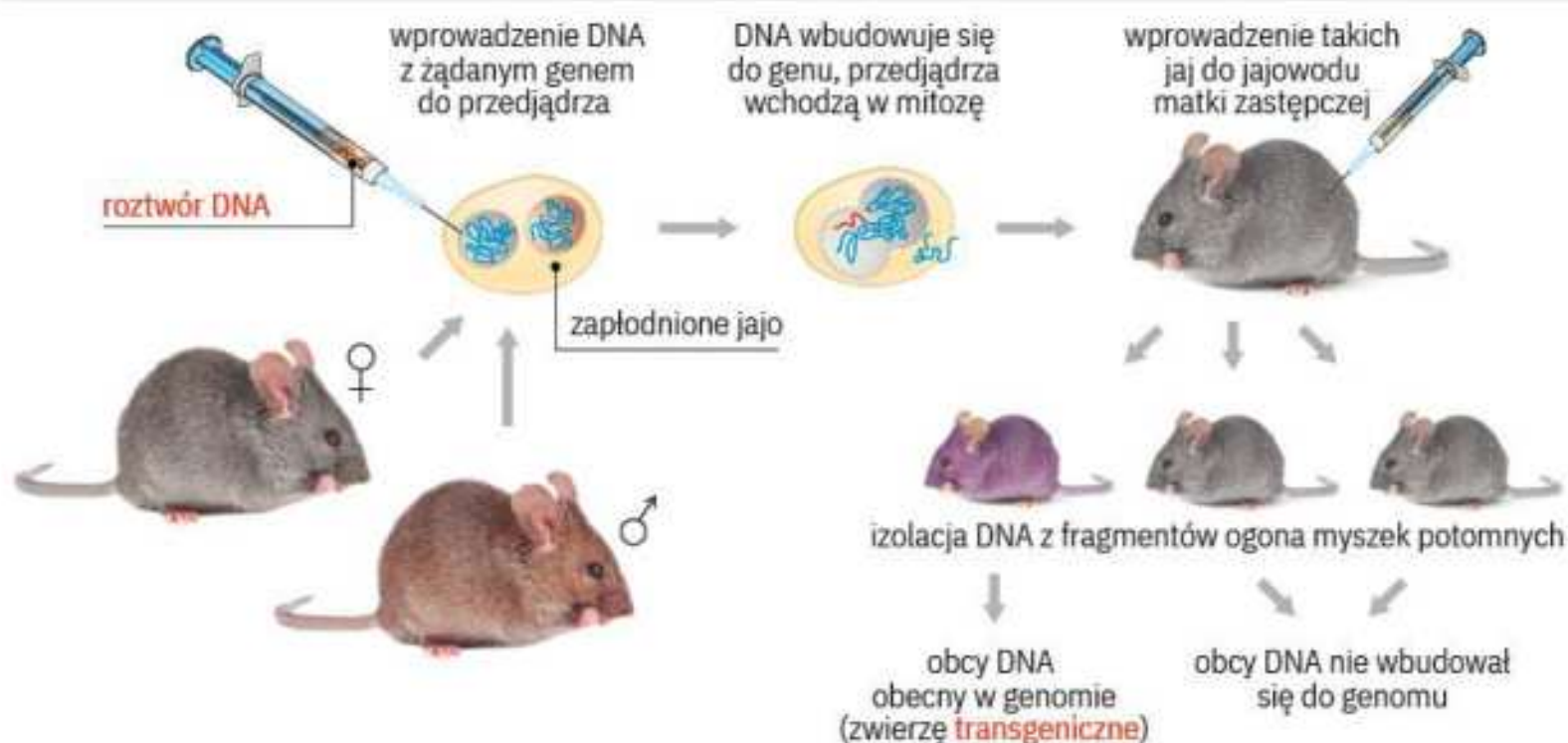
O **zwierzętach transgenicznych** mówimy wówczas, kiedy obcy gen jest wbudowany do materiału genetycznego komórek rozrodczych, to znaczy kiedy może on być przekazany następnym pokoleniom. Pierwszym zwierzęciem uzyskanym przy użyciu technik inżynierii genetycznej była mysz, do której genomu wprowadzono gen hormonu wzrostu pochodzący od szczura.



mikroiniekcja

Metody uzyskiwania zwierząt transgenicznych

Jednymi z metod otrzymywania zwierząt transgenicznych są **mikroiniekcja** i zastosowanie wektorów wirusowych. Uzyskiwanie zwierząt transgenicznych najczęściej odbywa się poprzez wprowadzenie obcego genu do zapłodnionej komórki jajowej, którą następnie umieszcza się w macicy matki zastępczej (**ryc. V.8.1.**).



Ryc. V.8.1. Etapy uzyskiwania zwierząt transgenicznych. Na rysunku różowym kolorem oznaczono transgeniczną mysz.



cele modyfikacji
genetycznej
zwierząt

Cele modyfikacji genetycznej zwierząt

Modyfikacje genetyczne zwierząt mają na celu zwiększenie odporności na choroby (np. na ptasią grypę czy priony wywołujące chorobę szalonych krów), a także zmiany jakościowe produktów zwierzęcych. Efekt ten osiąga się m.in. poprzez:

- zwiększenie masy ciała zwierząt hodowlanych (np. na skutek wprowadzenia genu hormonu wzrostu u niektórych gatunków ryb (**ryc. V.8.2.**) oraz świń czy królików);
- wzrost wydajności mlecznej zwierząt oraz poprawę jakości produktów nabiałowych (np. na skutek modyfikacji białek mleka) czy zwiększenie przyrostu i jakości wełny;
- zwiększenie zawartości NNKT w tłuszczu ssaków.



Ryc. V.8.2. Transgeniczny łosoś z genem hormonu wzrostu jest znacznie większy niż łosoś niezmodyfikowany.
Fot. AquaBounty Technologies – Barrett & MacKay Photography

Wykorzystanie zwierząt transgenicznych do celów medycznych polega przede wszystkim na uzyskiwaniu biofarmaceutyków (ludzkich białek, przeciwciał, hormonów) oraz szczepionek z mleka zmodyfikowanych krów, kóz i owiec, jaj transgenicznych kur, a także m.in. z krwi zwierząt bioreaktorów (**tab. V.8.1.**). Modyfikacjom genetycznym poddaje się nie tylko kręgowce. Trwają prace nad uzyskaniem komarów niezdolnych do przenoszenia zarodźców malarii, a także pszczoł odpornych na choroby.

Tab. V.8.1. Przykłady białek o znaczeniu medycznym wytwarzanych w mleku zwierząt transgenicznych

Białko	Zwierzę	Zastosowanie
antytrambina (ludzki czynnik krzepliwości krwi)	koza	kontroluje powstawanie zakrzepów
albumina krwi (białko krwi)	koza	wykorzystywana podczas transfuzji
czynnik VIII, czynnik IX (odpowiadają za krzepnięcie krwi)	owca, koza, świnia, królik	stosowane w leczeniu hemofilii typu A i B
laktoferyna (naturalny antybiotyk)	krowa	wykorzystywana przy operacjach
ludzki hormon wzrostu (odpowiada za wzrost i różnicowanie komórek)	królik, koza	leczenie karłowatości
białko nici pajęczej	koza	produkcja ultracienkich i bardzo wytrzymałych materiałów dla medycyny i przemysłu
erytropoetyna (odpowiada za powstawanie erytrocytów)	owca, krowa, świnia	leczenie anemii



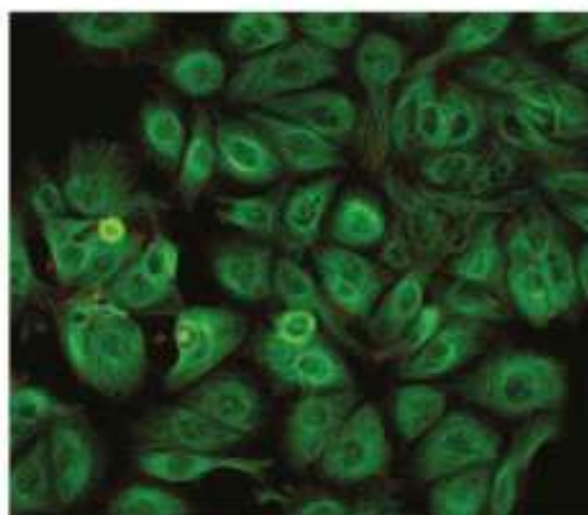
ksenotransplantacja

zapobieganie
wyginięciu
gatunków


Ryc. V.8.3. Transgeniczna świnia TG 1154, uzyskana w 2003 r. w krakowskim Instytucie Zootechniki, miała wbudowany gen, który znosił barierę immunologiczną świnia – człowiek.

Trwają również prace nad uzyskaniem narządów do **transplantacji** od zwierząt transgenicznych (tzw. ksenotransplantacji). Polegają one przede wszystkim na znoszeniu bariery immunologicznej pomiędzy gatunkami (ryc. V.8.3.).

Metody inżynierii genetycznej pozwalają również na zapobieganie wyginięciu niektórych gatunków zwierząt. W celu ochrony gatunków zagrożonych i wymierających stosuje się głównie sztuczne zapłodnienie, zamrażanie nasienia, komórek jajowych oraz zarodków, a także klonowanie oraz uzyskiwanie zwierząt transgenicznych. Zamrażanie materiału genetycznego stosuje się najczęściej w przypadku zwierząt dziko żyjących.

modele ludzkich
chorób


Ryc. V.8.4. Struktury komórkowe wyznakowane białkiem GFP.

Genetycznie zmodyfikowane zwierzęta są również wykorzystywane w celach naukowych. Odgrywają olbrzymią rolę jako **modele ludzkich chorób** (np. cukrzyca, otyłość) i obiekty badań (np. poświęconych procesom poznawczym). Dzięki temu

możliwe jest zdobycie wiedzy niezbędnej do zrozumienia badanych zjawisk, znalezienie ich przyczyn oraz sposobów reagowania na nie, np. poprzez testowanie działania nowych leków. Organizmy genetycznie modyfikowane to niezwykle pomocne narzędzia w pracy badawczej. W badaniach naukowych niezastąpione jest zielone białko fluoryzujące (GFP, z ang. *Green Fluorescent Protein*), które pozyskano z meduzy. Pod wpływem ultrafioletu białko to świeci intensywnie na zielono. Po wprowadzeniu go do komórek i „przyczepieniu” do innych białek można obserwować jego lokalizację, przemieszczanie oraz aktywność (ryc. V.8.4.). Za odkrycie GFP w 2008 r. przyznano Nagrodę Nobla w dziedzinie chemii.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Skonstruuj w zeszycie tabelę dotyczącą celów i przykładów modyfikacji genetycznych zwierząt.
2. Przeczytaj tekst i wykonaj polecenie.

W Banku Materiałów Genetycznych Instytutu Zootechniki zgromadzono nasienie i zarodki bydła rasy polskiej czerwonej, owiec rasy: świniarka, olkuska górską, romanowską, wrzosówką oraz wyselekcjonowanych pod względem wybitnych cech użytkowych i hodowlanych królików rasy: białej nowozelandzkiej, czerwonej nowozelandzkiej, białej duńskiej, czarnej alaski, białej termondzkiej i szynszyla dużego.

Źródło: B. Gajda, Z. Smorąg, Wykorzystanie metod biotechnologii rozrodu w zachowaniu bioróżnorodności zwierząt, „Biotechnologia” 2007, nr 4.

Wyjaśnij, w jakim celu gromadzi się nasienie zwierząt wymienionych w tekście.



PODSUMOWANIE LEKCJI

Zwierzęta transgeniczne mają obcy gen wbudowany do materiału genetycznego komórek rozrodczych.

s. 358

Zwierzęta transgeniczne uzyskuje się między innymi poprzez **mikroiniekcję** lub za pomocą wektorów wirusowych. Obcy gen jest wprowadzany do zapłodnionej komórki jajowej, którą następnie wprowadza się do macicy matki zastępczej.

s. 358

Zwierzęta modyfikuje się **w celu zwiększenia odporności na choroby** oraz w celu poprawy jakości produktów zwierzęcych (zwiększenie masy mięśni, wzrost wydajności mlecznej, poprawa jakości wełny).

s. 359

Modyfikacje genetyczne zwierząt mają na celu uzyskanie narządów do **ksenotransplantacji**.

s. 360

Metodami inżynierii genetycznej próbuje się **zapobiegać wyginięciu niektórych gatunków**.

s. 360

Zwierzęta modyfikowane genetycznie są **modelami chorób człowieka** (np. cukrzycy czy otyłości) i służą m.in. do badań nad nowymi terapiami.

s. 360

9. Zagrożenia związane z GMO

NA TEJ LEKCJI:

- zapoznasz się z głównymi obawami związanymi ze stosowaniem GMO.

Coraz szersze zastosowanie osiągnięć inżynierii genetycznej i biotechnologii budzi kontrowersje. Mimo korzyści, jakie płyną z uzyskiwania organizmów transgenicznych, od kilkunastu lat toczą się dyskusje na temat GMO. Rodzą się pytania o zagrożenia, jakie organizmy genetycznie zmodyfikowane mogą stworzyć dla zdrowia ludzi oraz dla środowiska.

dyskusje
na temat GMO

Argumenty przeciw GMO

argumenty
przeciwko GMO

Istotną obawą związaną z organizmami transgenicznymi jest lęk przed wpływem, jaki mogą one wywrzeć na informację genetyczną człowieka na skutek spożywania wytworzonych z nich produktów. Wynika to z niezrozumienia faktu, że człowiek od tysięcy lat zjada geny zawarte w żywności i nie spowodowało to ich wbudowania do DNA ludzkiego.

Istnieje wiele organizacji skupiających przeciwników uzyskiwania roślin i zwierząt zmodyfikowanych genetycznie. Organizacje te w różny sposób wyrażają swoją opinię (**ryc. V.9.1, V.9.2.**).



Ryc. V.9.1. Oznakowanie niektórych produktów spożywczych informujące o tym, że zostały one wytworzone lub pozyskane bez użycia organizmów genetycznie zmodyfikowanych.



Ryc. V.9.2. Protest Greenpeace przeciwko GMO przed budynkiem Ministerstwa Środowiska w Warszawie.

Obawy związane z uprawami roślin genetycznie zmodyfikowanych odnoszą się w głównej mierze do bezpieczeństwa uzyskiwanej z nich żywności oraz do bezpieczeństwa środowiska naturalnego. Jednym z potencjalnych zagrożeń może być **negatywny wpływ roślin transgenicznych na inne organizmy**. Istnieją obawy, że toksyny produkowane przez rośliny odporne na szkodniki mogą wpływać na gatunki blisko spokrewnione ze szkodnikami oraz na zwierzęta, które się tymi szkodnikami odżywiają. Aby ocenić, czy takie ryzyko istnieje, przeprowadzono wiele badań naukowych i dotychczas nie wykazały one negatywnych skutków oddziaływania roślin transgenicznych. Niemniej jednak możliwość przeniesienia transgenów wraz z pyłkiem kwiatowym (przez wiatr, owady) czy wraz z nasionami istnieje. W związku z tym są podejmowane próby tworzenia takich roślin GM, u których transgen po wypełnieniu swojej funkcji uległby samozniszczeniu. Każda metoda produkcji roślin GM musi być udoskonalana, a hodowla restrykcyjnie monitorowana oraz regulowana prawnie.

Innym argumentem, często wysuwany przez przeciwników GMO, jest możliwość **pojawienia się patogenów opornych na toksyny** oraz **chwastów odpornych na herbicydy**, tzw. superchwastów. Wyniki prowadzonych obserwacji nie wykluczają tej możliwości. Dlatego zwykle rośliny transgeniczne są pozbawione zdolności wytwarzania pyłku lub zapylają się same.

Brak zaufania społeczeństwa do GMO wynika również z popełnionych w przeszłości błędów biotechnologów. Przykładem może być omyłkowe wprowadzenie do produktów spożywczych w Stanach Zjednoczonych w 2000 r. zmodyfikowanej genetycznie kukurydzy przeznaczonej na paszę dla zwierząt. Produkty te szybko wycofano ze sprzedaży. Takie zaniedbania dodatkowo wzmagają obawy o **zanieczyszczenie żywności produktami GMO**.

Niepokój budzi również ryzyko **przenoszenia przez transgeniczne rośliny genów warunkujących alergię pokarmową**. Warto jednak pamiętać, że to nie gen wywołuje alergię, ale jego produkt, czyli białko. Białka te są wykrywane na długo przed tym, gdy roślina transgeniczna zostanie wprowadzona do uprawy.



obawy dotyczące
zwierząt
transgenicznych

Podobne obawy budzi **wprowadzanie genów warunkujących oporność na antybiotyki** jako genów markerowych, pozwalających rozróżnić komórki transgeniczne od niezmodyfikowanych. Dlatego geny niosące oporność na antybiotyki eliminuje się przed wprowadzeniem roślin do uprawy lub w ogóle nie stosuje się tego typu selekcji.

Zastosowanie metod inżynierii genetycznej w przypadku zwierząt budzi mniej kontrowersji niż w przypadku roślin. Prawdopodobieństwo przedostania się zwierzęcia transgenicznego do środowiska jest niewielkie, ponieważ w większości nie są one zdolne do przeżycia czy rozmnażania w warunkach naturalnych. Obawa ta dotyczy głównie ryb zmodyfikowanych genetycznie, dlatego gatunki przeznaczone do hodowli na szerszą skalę są bezpłodne.



Wśród argumentów przeciw uzyskiwaniu zwierząt transgenicznych wymienia się także ryzyko przenoszenia chorób od zwierząt na człowieka oraz problemy natury etycznej (np. dotyczące wykorzystania zwierząt do celów transplantacji).

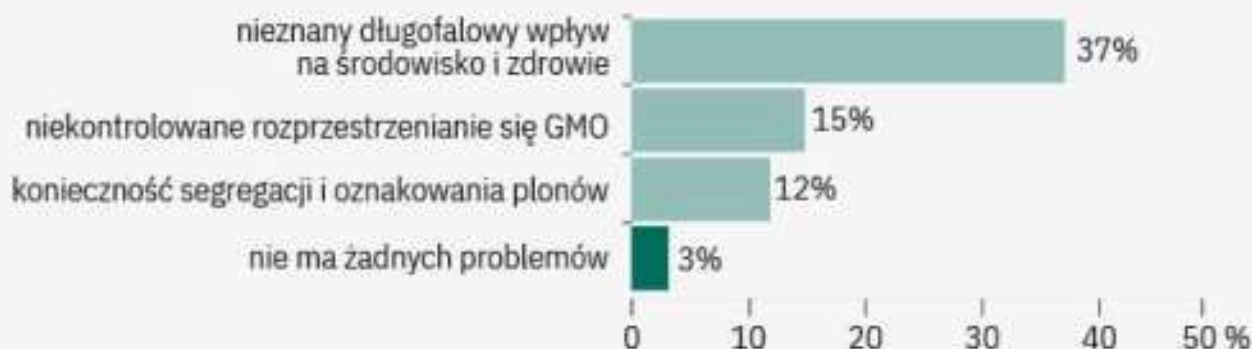
Ryc. V.9.3. Transgeniczne ryby są zwykle bezpłodne, aby po przedostaniu się do środowiska nie mogły się rozmnażać.

Postępowi metodycznemu i wykorzystaniu GMO powinno towarzyszyć upowszechnianie wiedzy o GMO. Brak informacji na ten temat jest głównym fundamentem nieufności i uprzedzeń wobec tego zagadnienia.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Polska Federacja Biotechnologii przeprowadziła wywiad wśród rolników na temat upraw roślin zmodyfikowanych genetycznie. Poniżej zamieszczono wybrane pytania użyte w ankiecie oraz wykresy ilustrujące uzyskane odpowiedzi.

A. Jakie są Pana/Pani zdaniem największe problemy związane z uprawą roślin zmodyfikowanych genetycznie?





B. Jakie są Pana/Pani zdaniem największe korzyści związane z uprawą roślin zmodyfikowanych genetycznie?



- Przeanalizuj wyniki badania i wskaż najważniejsze korzyści i problemy, jakie dostrzegają rolnicy w związku z uprawami roślin GM.
 - Określ, czy twoim zdaniem wyniki badania wskazują na konieczność edukacji społeczeństwa oraz przekazywania rzetelnej wiedzy na temat uprawy roślin GM. Odpowiedź uzasadnij.
 - Przeprowadź podobną ankietę wśród uczniów w klasie oraz wśród członków rodziny. Zapisz wyniki w postaci diagramów w zeszycie oraz je przeanalizuj.
2. Wraz z kolegami i koleżankami z klasy podzielcie się na dwie grupy: zwolenników oraz przeciwników GMO. Przeprowadźcie dyskusję na temat GMO, przedstawiając po cztery argumenty za i przeciw.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- s. 361 Obawy związane z GMO pogłębia brak rzetelnej informacji.
- s. 361 Brak jest udokumentowanych doniesień o negatywnych efektach działań inżynierii genetycznej.
- s. 361 Obawy związane z uprawami roślin GM odnoszą się w głównej mierze do bezpieczeństwa uzyskiwanej z nich żywności oraz bezpieczeństwa środowiska naturalnego.
- s. 361 Najczęstszymi argumentami przeciwko uprawom roślin transgenicznych są: negatywny wpływ na rośliny niemodyfikowane, pojawienie się chwastów odpornych na herbicydy („superchwastów”), możliwość przenoszenia genów na inne rośliny, nabycie odporności na antybiotyki oraz wywoływanie alergii.
- s. 361 Każdy przypadek uzyskiwania i wprowadzania do obrotu roślin modyfikowanych genetycznie jest oddzielnie badany i podlega ścisłej kontroli.
- s. 363 Obawy związane z uzyskiwaniem zwierząt transgenicznych dotyczą głównie możliwości przedostania się ich do środowiska i niekontrolowanego rozwoju.



10. Klonowanie organizmów

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz metody klonowania organizmów;
- uzyskasz informacje na temat komórek macierzystych i ich zastosowania;
- dowiesz się, co to jest klonowanie terapeutyczne.

Termin **klon** oznacza zbiór komórek lub organizm identyczny pod względem genetycznym z innym organizmem (będący jego genetyczną kopią). Klony mogą powstawać w sposób naturalny lub w wyniku sztucznego zabiegu. Naturalnymi klonami są bliźnięta jednojajowe oraz potomstwo organizmów rozmnażających się bezpłciowo (np. przez podział, pączkowanie czy rozłogi) (**ryc. V.10.1.**).

klon

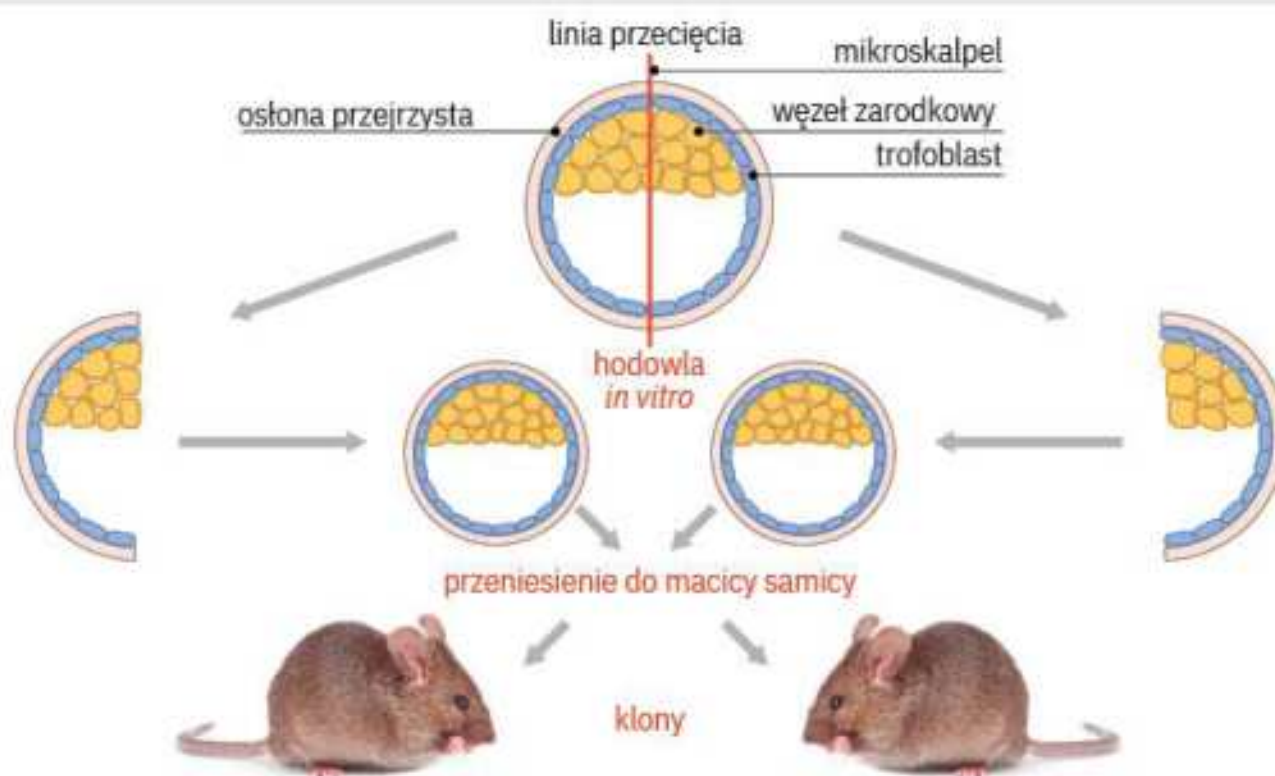


Ryc. V.10.1. Naturalne klony powstają przez podział organizmu wyjściowego (A – pantofelek, B – drożdże, C – truskawka) lub przez podział zygoty (D – bliźnięta jednojajowe).



Metody klonowania organizmów

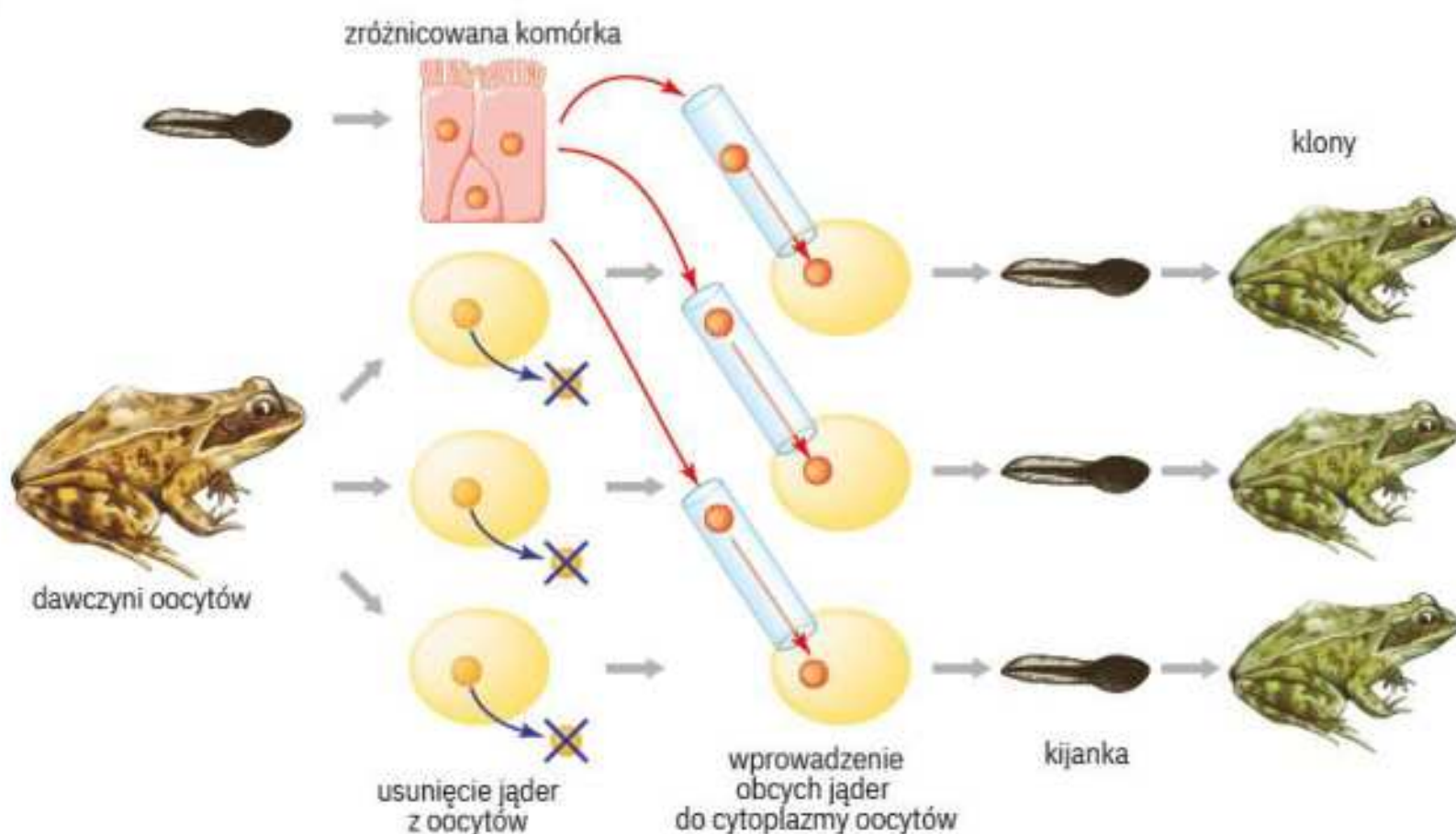
Pierwsze próby klonowania zwierząt i roślin podjęto 70 lat temu. Odkryto, że z komórek korzenia marchwi hodowanych *in vitro* na specjalnym podłożu można odtworzyć całą roślinę, identyczną pod względem genetycznym z rośliną macierzystą. Klonowanie roślin jest obecnie powszechną praktyką w rolnictwie (np. rozmnażanie storczyków, rozmnażanie truskawek z sadzonek). Podstawowe metody sztucznego klonowania zwierząt to **dzielenie zarodków i transfer jąder komórek somatycznych** do pozbawionych jąder komórek jajowych lub zygot. Pierwsza metoda polega na tym, że zarodki ssaków w stadium blastocysty (tzn. składające się z trofoblastu, czyli warstwy komórek otaczającej blastocystę, i węzła zarodkowego, czyli komórek, z których rozwija się ciało zarodka) klonuje się poprzez podział na dwie części. Za pomocą mikroskalpela przecina się węzeł zarodkowy na pół i hoduje *in vitro* podzielone zarodki do momentu, gdy osiągną stadium, z którego zostały uzyskane (stadium blastocysty). Następnie przenosi się je do dróg rodnych samic.



Ryc. V.10.2. Metodą klonowania poprzez dzielenie zarodków uzyskano klony myszy, królika, owcy, świni i konia, jest ona jednak mało wydajna.

Klonowanie poprzez transfer jąder, nazywane też **klonowaniem somatycznym**, polega na pobraniu jądra komórkowego z zarodka lub komórki somatycznej dorosłego organizmu. Następnie przenosi się je do (pozbawionych wcześniej własnych jąder) dojrzewających komórek jajowych bądź zygoty tego samego gatunku. Komórki te pobudza się do rozwoju. Pierwszym zwierzęciem sklonowanym tą metodą była żaba (ryc. V.10.3.).

Za pomocą mikropipety komórkę jajową żaby pozbawiono materiału genetycznego i na to miejsce wprowadzono jądra komórkowe z komórek nabłonka jelita. W ten sposób uzyskano kilkanaście kijanek, które były klonami zarodka.



Ryc. V.10.3. Klonowanie zarodka żaby metodą transferu jąder komórkowych.

Klonowanie somatyczne jest mało wydajne, a uzyskanie jednego kлона wymaga wielu prób. Pierwszym sklonowanym ssakiem (1996 r.) uzyskanym z zastosowaniem tej metody była **owca nazwana Dolly**. Komórki użyte do klonowania pochodziły z wymienia innej owcy. W eksperymencie, w wyniku którego przyszła na świat, wykorzystano aż 277 zygot. Ze względu na chorobę płuc po sześciu latach Dolly została uśpiona.

owca Dolly

W tym samym roku co Dolly przyszły na świat dwie inne owce: Polly i Molly. Były one pierwszymi klonami ssaków transgenicznych (w swoim genomie miały gen warunkujący wytwarzanie czynnika krzepnięcia krwi). Kolejnymi sklonowanymi ssakami były myszy, bydło, świny, muflon europejski, muł, kot, jeleń, wilk i pies. Zwierzęta transgeniczne klonuje się w celu pozyskania biofarmaceutyków (np. produkowanych w mleku bydła). Klonowanie można również wykorzystać do kopiowania odmian zwierząt o cechach wartościowych dla rolników, np. mlecznych ras krów czy świń o dużej masie ciała. Podejmowane są także próby klonowania zwierząt zagrożonych wyginięciem, np. sklonowanie „Lady” – ostatniej żyjącej krowy rasy Enderby Island żyjącej na Nowej Zelandii.

W przypadku zwierząt wolno żyjących lub wymarłych stosuje się tzw. **międzygatunkowe klonowanie somatyczne**. W tej metodzie materiał genetyczny zwierzęcia wprowadza się do pozbawionych jądra komórek jajowych. W dalszej kolejności rozwijające się zarodki wprowadza się do dróg rodnych matek zastępczych. Sklonowano w ten sposób zagrożonego wyginięciem gaura. Jego materiał genetyczny wprowadzono do komórek jajowych krów, matką zastępczą również była krowa.



Urodzone cielę żyło kilka dni, lecz zmarło na skutek poważnej infekcji. Rok później sklonowano muflona oraz banteng (gatunek dzikiego bydła). Trwają prace nad klonowaniem antylopy bongo, azjatyckiego geparda, pandy wielkiej oraz wombata (australijskiego torbacza). Podejmowane są także próby sklonowania zwierząt wymarłych, m.in. mamuta oraz tura.



Ryc. V.10.4. Dolly – pierwszy sklonowany ssak.



Ryc. V.10.5. Za pomocą międzygatunkowego klonowania somatycznego udało się sklonować gaura.

cele klonowania

komórki
macierzyste

embrionalne
komórki
macierzyste

Klonowanie terapeutyczne z użyciem komórek macierzystych

Rodzaje komórek macierzystych

Komórki macierzyste (ang. *stem cells*) to komórki zachowujące zdolność do podziałów przez całe życie organizmu. Ich drugą ważną cechą jest zdolność różnicowania się w inne typy komórek. Ze względu na źródło pochodzenia wyróżnia się: embrionalne (zarodkowe) komórki macierzyste pochodzące z zygot lub węzłów zarodkowych, płodowe komórki macierzyste uzyskiwane z krwi pępowinowej i somatyczne komórki macierzyste, znajdujące się w tkankach dorosłego organizmu (m.in. w szpiku, jelitach, naskórku, tkance nerwowej, krwi, siatkówce oka). Ze względu na możliwości różnicowania i autoodbudowy komórki macierzyste dzieli się na: totipotencjalne, pluripotencjalne, multipotencjalne oraz unipotencjalne (**tab. V.10.1.**).

Tab. V.10.1. Podział komórek macierzystych ze względu na pochodzenie i zdolność transformacji

Typy komórek macierzystych		
Embrionalne	totipotencjalne (tworzące zygotę)	Mają zdolność transformacji do każdego typu komórek, w tym komórek łożyska.
	pluripotencjalne (tworzące węzeł zarodkowy)	Różnicują się we wszystkie typy komórek, ale nie mogą powrócić do stanu komórek totipotencjalnych (nie są w stanie utworzyć łożyska).
Płodowe	multipotencjalne	Mają możliwość przekształcenia się we wszystkie typy komórek w obrębie danego listka zarodkowego.
Somatyczne	unipotencjalne	Przekształcają lub różnicują się w jeden typ dojrzałych komórek.



Liczne badania prowadzone na zarodkowych komórkach macierzystych pozwoliły poznać geny i białka odpowiadające za ich pluripotencję. Wiadomo także, w jaki sposób doprowadzić w warunkach *in vitro* do tego, aby komórki te przekształciły się w określony typ komórek (np. w neurony czy włókna mięśniowe). Trwają badania nad porównaniem komórek uzyskanych w wyniku różnicowania się komórek macierzystych z komórkami pobranymi z prawidłowych tkanek. Celem porównań jest sprawdzenie, czy komórki macierzyste mogłyby zastępować uszkodzone tkanki. Zarodkowe komórki macierzyste można pozyskać dwoma sposobami: w wyniku zapłodnienia *in vitro* lub w wyniku klonowania techniką transplantacji jąder komórkowych (pierwsze zarodkowe komórki macierzyste uzyskano z zarodków myszy).

Uzyskiwanie komórek macierzystych z ludzkich zarodków budzi wiele kontrowersji natury etycznej, dlatego trwają prace nad pozyskiwaniem ich z innych źródeł.

Opracowano metodę uzyskiwania komórek macierzystych z komórek zróżnicowanych (np. fibroblastów, komórek wątroby i nabłonka oraz neuronów). Z użyciem wektorów wirusowych do fibroblastów wchodzących w skład tkanki łącznej właściwej wprowadzono geny, które odpowiadają za pluripotencję komórek. Następnie doprowadzono do przekształcenia się fibroblastów w tzw. **indukowane pluripotencjalne komórki macierzyste**. Są one obecnie wykorzystywane do sprawdzania działania leków, a także poznawania mechanizmów schorzeń genetycznych. Wykorzystanie tych komórek pozwoli uniknąć kontrowersji etycznych związanych z zarodkowymi komórkami macierzystymi.

Istnieją różne rodzaje komórek macierzystych: komórki zarodkowe oraz indukowane pluripotencjalne komórki macierzyste różnicujące się do wszystkich typów komórek, oraz macierzyste komórki krwiotwórcze, np. **komórki z krwi pępowinowej**, mogące się przekształcać w komórki krwi. Mimo takiej oczywistej specjalizacji niektórzy uważają, że dowolne komórki macierzyste można stosować w różnych chorobach. Próbuje się zatem wykorzystywać komórki krwi pępowinowej w leczeniu chorób serca, uszkodzeń rdzenia kręgowego, chorób neurodegeneracyjnych, jak np. stwardnienie zanikowe boczne czy w cukrzycy. Zastosowania takie, wątpliwe z biologicznego punktu widzenia, są krytykowane przez specjalistów, zwracających także uwagę na niebezpieczeństwa, jakie mogą rodzić takie eksperymentalne terapie. Oczekiwania ciężko chorych pacjentów, jak np. aktora Christophera Reeve'a (**ryc. V.10.6**) oraz rodzin mogą być niestety wykorzystywane przez prywatne kliniki, oferujące odpłatnie takie niepotwierdzone terapie. Przestrzegają przed tym odpowiedzialne środowiska naukowe oraz instytucje regulujące, jak np. Europejska Agencja Leków (EMA).

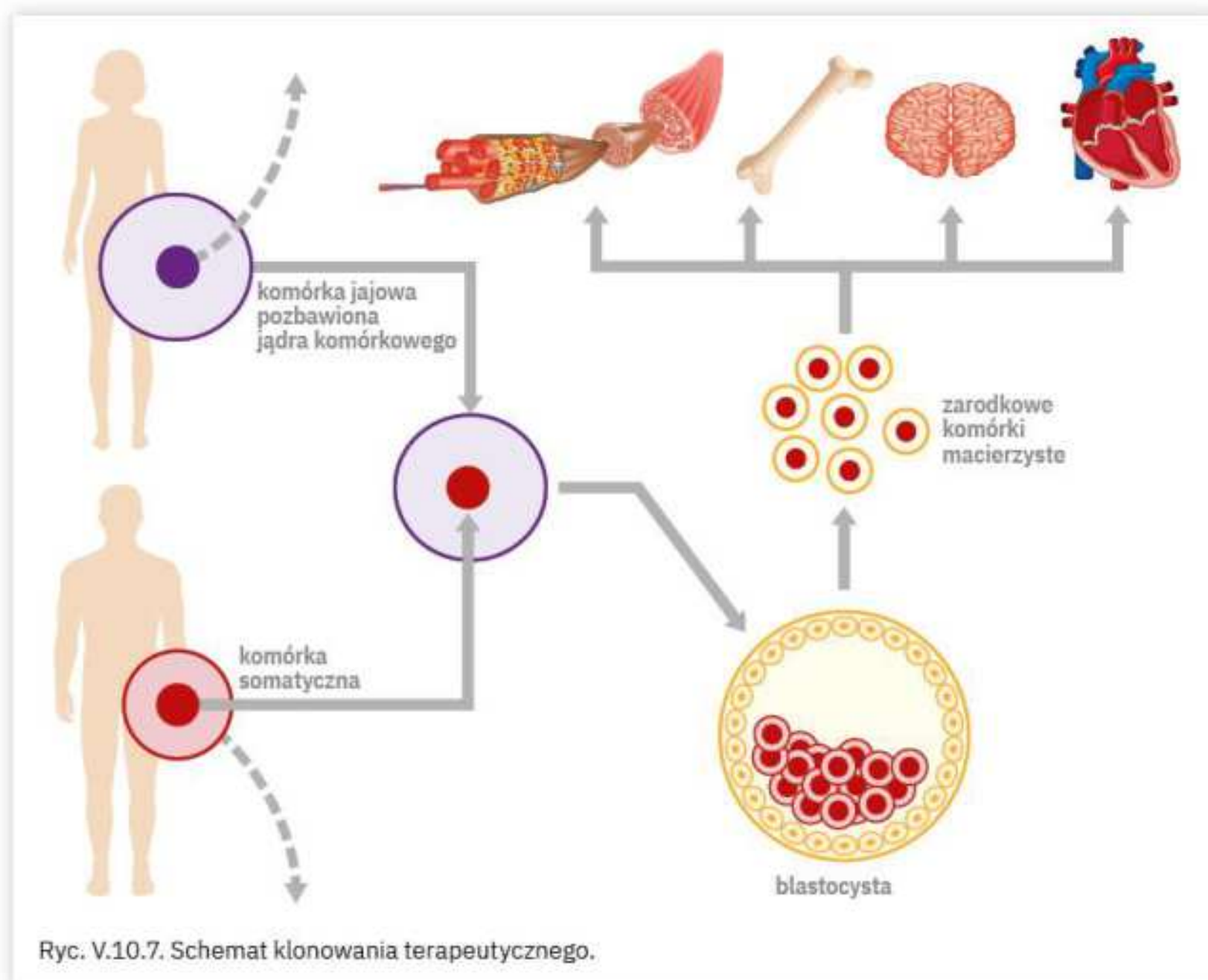
Klonowanie terapeutyczne

Komórki macierzyste można uzyskać poprzez **klonowanie terapeutyczne**. Polega ono na przeniesieniu jądra dowolnej komórki somatycznej (np. fibroblastu skóry) do pozbawionej uprzednio jądra komórki jajowej. Powstała na skutek podziałów takiej komórki blastocysta jest źródłem zarodkowych komórek macierzystych. Komórki te można zróżnicować w dowolny rodzaj komórek ciała.



Ryc. V.10.6. Terapie z użyciem komórek macierzystych popierał zmarły w 2004 r. amerykański aktor Christopher Reeve (czyt. krystofer riw, odtwórca roli Supermana), który w 1995 r. został sparaliżowany po upadku z konia.

klonowanie
terapeutyczne



Ryc. V.10.7. Schemat klonowania terapeutycznego.

**klonowanie
terapeutyczne
w medycynie**

Klonowanie terapeutyczne zastosowane u mysich modeli choroby Parkinsona spowodowało znaczną poprawę ich zdrowia. Metoda ta mogłaby być stosowana w terapeutycznych przeszczepach. W tym celu można byłoby od chorego pobrać komórki, wprowadzić je do komórek jajowych, uzyskać zarodki, a z nich zarodkowe komórki macierzyste. W komórkach macierzystych wadliwy gen byłby zastępowany prawidłowym, następnie komórki macierzyste różnicowałyby się w pożądany rodzaj komórek, a te wprowadzano by do chorej tkanki pacjenta. Ponieważ są to komórki pobrane pierwotnie od pacjenta, nie byłyby odrzucane. Taka terapia, choć możliwa, jest bardzo trudna do przeprowadzenia. Aby uzyskać zarodkowe komórki macierzyste, trzeba byłoby wielu komórek jajowych, co wymagałoby współpracy wielu kobiet. Po drugie, wykorzystanie ludzkich zarodków, żeby zdobyć komórki macierzyste, budzi wiele wątpliwości natury etycznej. Bardzo istotnym problemem jest także brak metody dającej pewność, że wszystkie komórki macierzyste przekształcą się w odpowiedni sposób (np. w komórki trzustki czy mięśnia sercowego). Jeśli choć jedna komórka macierzysta zaczęłaby się różnicować w organizmie pacjenta, stanowiłaby olbrzymie zagrożenie. Mógłby powstać guz (tzw. potworniak) będący mieszaniną komórek wszystkich tkanek. Konieczne jest opracowanie metody pełnego różnicowania zarodkowych komórek macierzystych.



ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Przeanalizuj ilustracje i określ, czy przedstawione na nich organizmy są swoimi klonami. Uzasadnij odpowiedź.



2. Omów podstawowe techniki klonowania zwierząt.
3. Spośród zaproponowanych stwierdzeń wybierz poprawne dokończenie zdania

Przywrócenie mamuta musiałoby się odbyć poprzez:

- a) klonowanie somatyczne międzygatunkowe,
- b) klonowanie somatyczne,
- c) klonowanie poprzez podział zarodków,
- d) klonowanie terapeutyczne,

ponieważ

- 1) jest to najskuteczniejsza z obecnie dostępnych metod klonowania.
- 2) brak jest żyjącego obecnie przedstawiciela tego gatunku.
- 3) nie dysponujemy zbyt dużą ilością DNA mamuta.
- 4) materiał genetyczny mamuta jest silnie zdegradowany.

4. Przeczytaj poniższy tekst i wykonaj polecenia.

Południowokoreańscy naukowcy pierwsi na świecie sklonowali psa – trzyletniego charta afgańskiego. Z pobranych od suk labradora (matek zastępczych) niezapłodnionych komórek jajowych usunięto jądra komórkowe. Następnie wprowadzono do nich jądra komórkowe pobrane z komórek skóry ucha klonowanego psa. Komórki te stymulowano, aby zaczęły się dzielić i rozwijać. Potem wprowadzono je do macic matek zastępczych. W wyniku klonowania uzyskano dwa szczeniaki charta afgańskiego. Jeden z nich zdechł po 22 dniach, drugi – Snuppy – przeżył. Zdaniem naukowców sklonowanie psa umożliwia lepsze poznanie przyczyn wielu poważnych chorób i opracowanie skutecznych sposobów ich leczenia.

Na podst.: <http://link.operon.pl/n73292>

- a) Określ, jaką metodę klonowania wykorzystali naukowcy, aby stworzyć Snuppy'ego.
- b) Oceń prawdziwość stwierdzeń podanych w tabeli. Odpowiedź zapisz w zeszycie.



Stwierdzenie	Prawda/Fałsz
1. Choroba płuc spowodowała śmierć jednego ze sklonowanych labradorów.	
2. Komórki do klonowania pobrano z ucha charta afgańskiego.	
3. Komórki jajowe suk labradora zostały pozbawione własnych jąder przed wprowadzeniem jąder komórek somatycznych charta afgańskiego.	
4. Klony psów mogą zostać wykorzystane jako modele zwierzęce chorób człowieka.	

5. Przepisz tekst do zeszytu i uzupełnij luki.

Komórki macierzyste pochodzące z węzła zarodkowego charakteryzują się ..., co oznacza, że mogą przekształcać się w dowolny rodzaj komórek z wyjątkiem łożyska. Komórki macierzyste dzielimy na ..., ... i Komórki macierzyste występujące m.in. w szpiku, jelitach, krwi i siatkówce oka nazywamy W leczeniu białaczek oraz innych nowotworów próbuje się wykorzystywać komórki macierzyste pochodzące z Komórki macierzyste powstałe poprzez wprowadzenie genów do komórek dojrzałych i ich odróżnicowanie się nazywamy

6. Wymień w punktach etapy klonowania terapeutycznego. Podaj wady i zalety tej metody.

PODSUMOWANIE LEKCJI

s. 365

Klon to organizm lub zbiór komórek identycznych pod względem genetycznym z innym organizmem lub zbiorem komórek.

s. 365

Klon może powstać w sposób naturalny (np. w wyniku rozmnażania wegetatywnego) lub sztuczny (przez podział zarodków lub transfer jąder komórkowych).

s. 366

Najczęściej wykorzystywaną **techniką klonowania** jest metoda transferu jądra komórkowego z komórki somatycznej do komórki jajowej uprzednio pozbawionej jądra.

s. 367

Pierwszym sklonowanym zwierzęciem była żaba, a pierwszym sklonowanym ssakiem – **owca Dolly**.

s. 368

Zwierzęta klonuje się w celu pozyskania zwierząt transgenicznych produkujących biofarmaceutyki lub powielania odmian zwierząt o cechach wartościowych dla rolników, a także by chronić gatunki zagrożone wymarciem lub przywrócić zwierzęta już wymarłe (np. mamuta).

s. 368

Komórki macierzyste zachowują zdolność podziałów przez całe życie organizmu i mogą różnicować się w każdy typ komórek.

s. 368

Wyróżnia się **komórki macierzyste**: embrionalne, płodowe i somatyczne (występują w tkankach dorosłego organizmu, m.in. w szpiku kostnym, jelitach, naskórku, krwi i siatkówce oka).

s. 368

Embrionalne komórki macierzyste mogą być totipotencjalne (komórki zygoty) lub pluripotencjalne (komórki węzła zarodkowego), co oznacza, że mogą różnicować się w dowolne komórki organizmu.

s. 370

Klonowanie terapeutyczne polega na pobraniu od pacjenta jąder komórkowych, wprowadzeniu ich do komórki jajowej pozbawionej jądra, uzyskaniu w ten sposób komórek macierzystych, „naprawieniu” ich, przekształceniu w wyjściowe komórki i wprowadzeniu z powrotem do organizmu pacjenta.

s. 370

W celu wykorzystania **klonowania terapeutycznego w leczeniu** musi zostać opracowana metoda pełnego różnicowania, tak aby nie dochodziło do powstawania nowotworów – potworniaków.



11. Terapia genowa

NA TEJ LEKCJI:

- zapoznasz się z istotą terapii genowej;
- dowiesz się o możliwości wykorzystania terapii genowej w leczeniu.

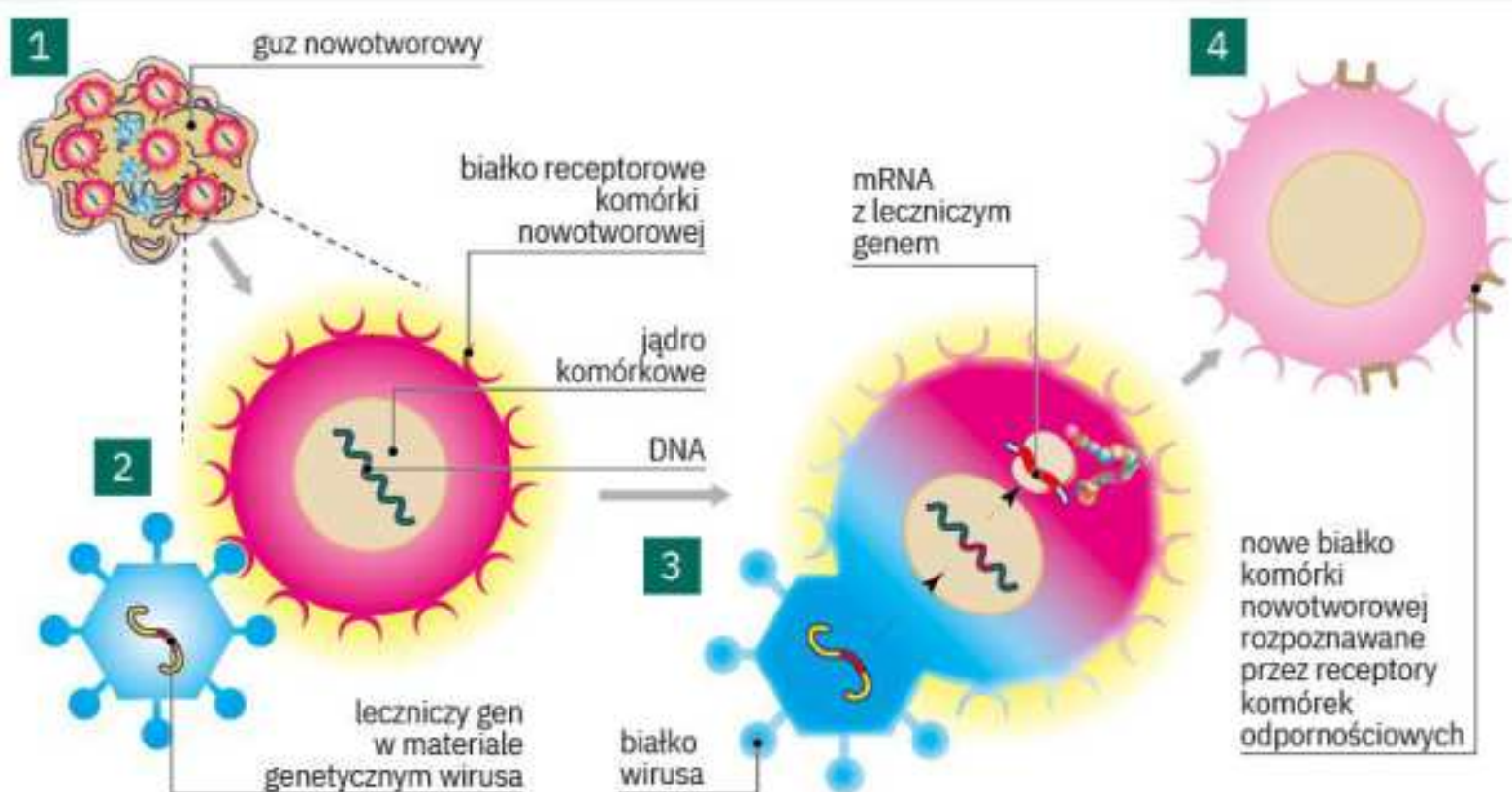
Jak dotąd nie istnieje w pełni skuteczna metoda umożliwiająca eliminowanie przyczyny chorób uwarunkowanych genetycznie. Najczęściej leczy się ich objawy (np. deformacje ciała). Naprawa wadliwego genu prowadząca do produkcji właściwych białek jest nie lada wyzwaniem. Takie możliwości stwarza **terapia genowa**.

terapia genowa

Istota terapii genowej

istota terapii genowej

Terapia genowa to nowatorska metoda leczenia polegająca na modyfikacji informacji genetycznej nieprawidłowo funkcjonujących komórek za pomocą metod biologii molekularnej. Terapię genową próbuje się stosować zarówno w przypadku chorób uwarunkowanych genetycznie, np. hemofilii, mukowiscydozy, dystrofii mięśniowej, wrodzonych zaburzeń odporności, jak i nowotworów. Terapia genowa polega na wprowadzaniu prawidłowych wersji genów, usuwaniu genów wadliwych albo wpływaniu na ich ekspresję (hamowaniu lub wzmacnianiu). Za jej pomocą można też doprowadzić do zniszczenia komórki poprzez wprowadzenie do niej genów pobudzających aktywność układu immunologicznego lub odpowiedzialnych za apoptozę, czyli zaprogramowaną śmierć komórki, m.in. w przypadku nowotworów (**ryc. V.11.1.**).



Ryc. V.11.1. Terapia genowa polega na wprowadzaniu do organizmu człowieka leczniczych genów (najczęściej za pomocą wirusów pozbawionych chorobotwórczych właściwości).

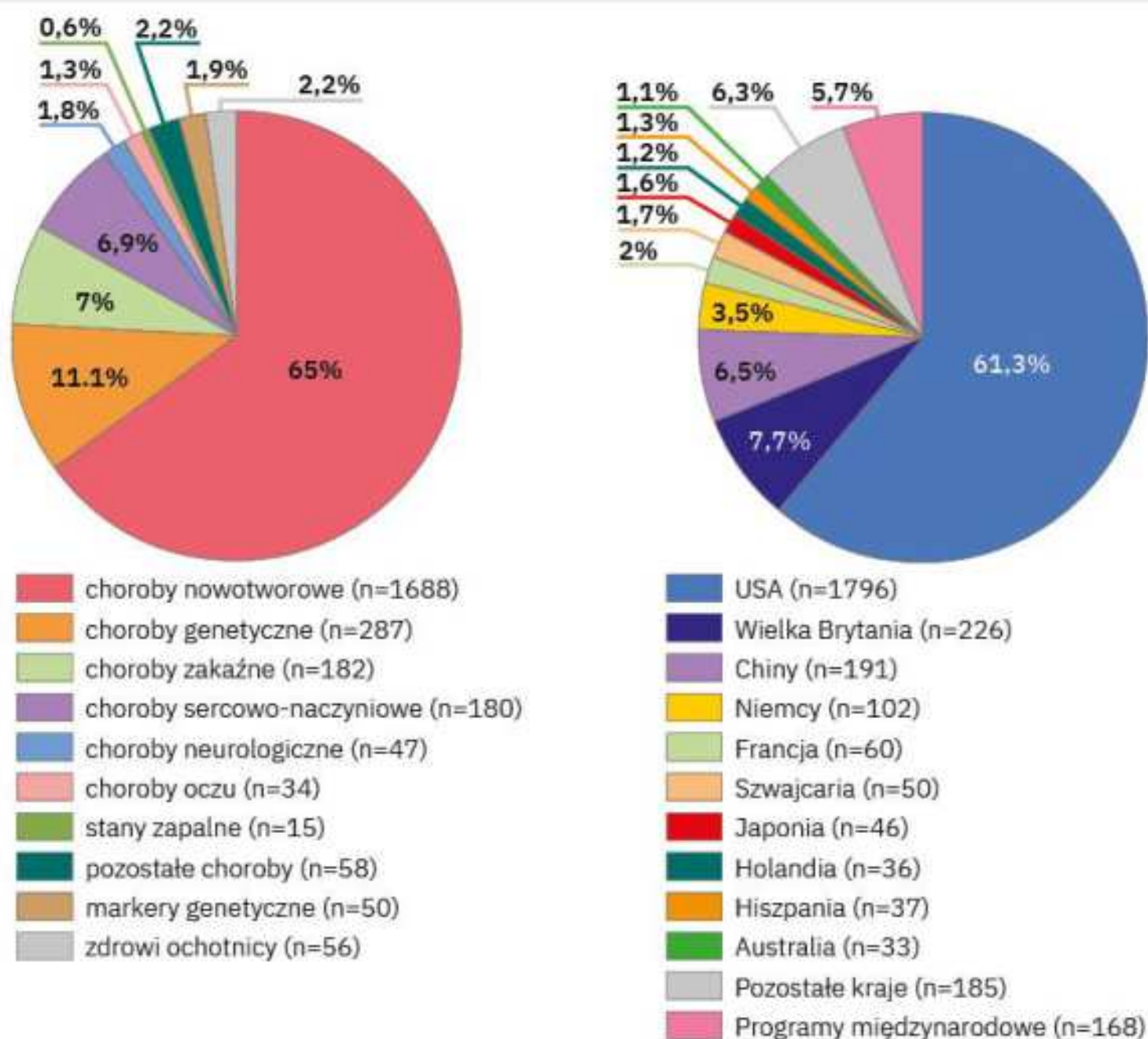


Stosowanie terapii genowej naraża wiele trudności. Jedną z nich jest ryzyko wywołania przez wprowadzony gen i białko, które z niego powstanie, niepożądaną odpowiedzi immunologicznej organizmu. Aby uniknąć takiej sytuacji, przeprowadza się testy na modelach zwierzęcych. Innym problemem jest skuteczne przetransportowanie DNA do jądra komórkowego, zanim zostanie zniszczony przez enzymy trawiące kwasy nukleinowe. To najtrudniejszy etap terapii, decydujący o jej efektywności.

Dużą szansą na rozwój terapii genowej jest wykorzystanie zjawiska interferencji RNA. Za pomocą RNAi można wyłączać niepożądaną informację genetyczną bez konieczności dokonywania zmian w genomie. Z użyciem RNAi udało się już skutecznie (na modelach zwierzęcych) zablokować namnażanie wirusa żółtaczk, a także doprowadzić do obniżenia poziomu cholesterolu we krwi. Trwają podobne doświadczenia nad zwalczaniem wirusa HIV.

terapia
genetyczna
na świecie

Dotychczas na świecie, głównie w Stanach Zjednoczonych, prowadzonych jest kilka tysięcy prób klinicznych w zakresie terapii genowej różnych chorób, przede wszystkim nowotworowych i chorób serca (ryc. V.11.2.).



Ryc. V.11.2. Grupy schorzeń objęte próbami klinicznymi w zakresie terapii genowej. Kraje, w których przeprowadza się próby kliniczne w zakresie terapii genowej (udział procentowy). Dane wg Ginn i współaut., „Journal of Gene Medicine” 2018.



Sukcesy i porażki terapii genowej

Największym problemem, z jakim obecnie borykają się naukowcy, jest mała skuteczność terapii genowej. Próbuje się ją stosować w okresie prenatalnym, obejmując nią zarodki i płody, a także komórki płciowe i zygoty. Niestety, nie ma jeszcze udokumentowanych pozytywnych wyników stosowania tego typu terapii u człowieka (nadzieję budzą jednak obiecujące wyniki badań prowadzonych m.in. na szczurach).

Jak dotąd terapia genowa okazała się najbardziej skuteczna w leczeniu ciężkich złożonych niedoborów odporności (SCID). Choroba ta charakteryzuje się całkowitym brakiem odporności. Pacjent nieleczony umiera w pierwszym roku życia, a nawet najdrobniejsze infekcje mogą doprowadzić do śmierci. Obecnie jedynym ratunkiem dla osób ze SCID jest przeszczep szpiku, nie zawsze skuteczny. Zastosowanie terapii genowej w leczeniu SCID okazało się skuteczne w kilkunastu przypadkach.

Terapia genowa znajduje się w fazie eksperymentów. Dąży się do tego, aby można ją było stosować rutynowo. Jednak cechą będącą największą zaletą tej terapii – precyzja – jest zarazem największą przeszkodą w jej rozwoju. Uwarunkowania każdej choroby są bowiem inne, co wydłuża czas opracowania skutecznej metody leczenia z zastosowaniem terapii genowej i wymaga znacznych nakładów finansowych. Mimo wszystko terapię tę uważa się za przyszłość medycyny.



Ryc. V.11.3. Dzieci chore na SCID, nazywane „balonowymi dziećmi” (z ang. *bubble babies*), muszą przebywać w specjalnych, sterylnych namiotach chroniących je przed zarazkami.

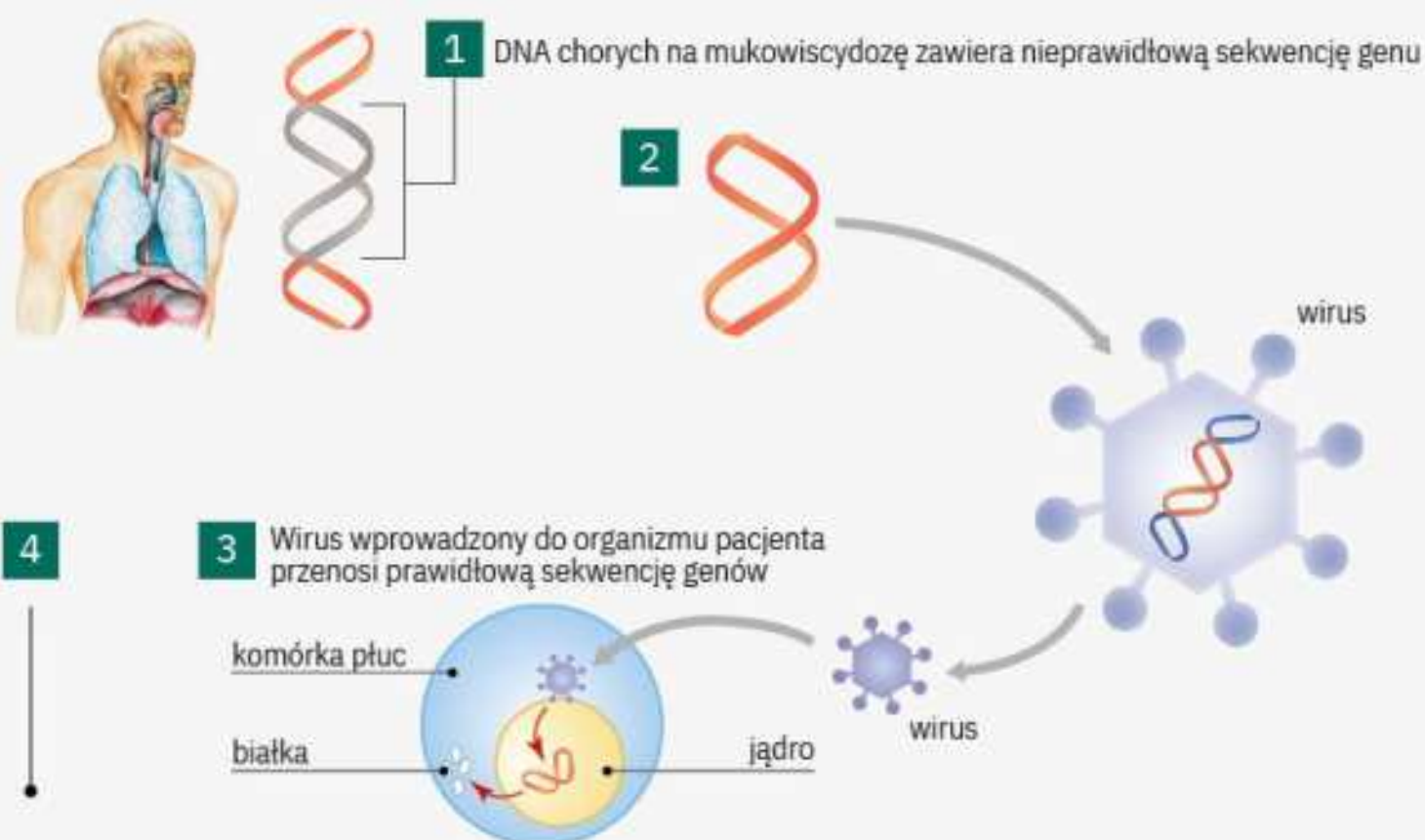
Terapia genowa wzbudza olbrzymie zainteresowanie ze względu na możliwości, jakie stwarza w zakresie modyfikowania wybranych funkcji organizmu. Bezspornie daje nadzieje nieuleczalnie chorym, ale niestety istnieje także ryzyko jej nielegalnego wykorzystania. Na przykład dla nieuczciwych sportowców zwiększenie wydolności za pomocą **genetycznego dopingu** może okazać się silną pokusą. Doping genetyczny polega na dokonywaniu manipulacji w materiale genetycznym zawodnika lub kontroli ekspresji genów odpowiadających za zwiększenie wydolności. Doping taki byłby niezmiernie trudny do wykrycia. Światowa Agencja Antydopingowa (WADA) próbuje przeciwdziałać potencjalnemu zagrożeniu, wspierając badania nad testami wykrywającymi doping genetyczny.

doping genetyczny



ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wyjaśnij, na czym polega terapia genowa.
2. Jak rozumiesz sformułowanie *doping genetyczny*? Korzystając z dostępnych źródeł, znajdź informacje na temat metod przeciwdziałania temu problemowi.
3. Wymień najważniejsze problemy, które stwarza stosowanie terapii genowej.
4. Terapię genową próbuje się wykorzystać m.in. do leczenia mukowiscydozy według schematu przedstawianego poniżej. Uzupełnij opisy na rysunku (w miejscach oznaczonych numerem 2 oraz 4). Zadanie wykonaj w zeszycie.



PODSUMOWANIE LEKCJI

- s. 373 **Terapia genowa** polega na modyfikowaniu informacji genetycznej nieprawidłowo działającej komórki m.in. przez wstawienie lub usunięcie genu bądź wykorzystanie zjawiska interferencji RNA.
- s. 373 **Terapia genowa** jest stosowana w leczeniu chorób uwarunkowanych genetycznie oraz nabytych, tj. cukrzycy, chorób układu krążenia i wirusowych.
- s. 373 **W czasie terapii genowej** DNA wprowadza się do komórek za pomocą wektorów (wirusy) oraz bezwektorowo.
- s. 374 **Na świecie prowadzi się wiele prób klinicznych** z zastosowaniem terapii genowej (najczęściej w leczeniu nowotworów).
- s. 375 Terapia genowa może być stosowana w sposób niedozwolony, np. w **dopingu genetycznym**.



12. Szanse i zagrożenia związane z biotechnologią i inżynierią genetyczną

NA TEJ LEKCJI:

- zapoznasz się z głównymi obawami związanymi z biotechnologią;
- poznasz główne normy prawne dotyczące biotechnologii.

Rozwój biotechnologii i inżynierii genetycznej jest nieunikniony. Szanse i korzyści z tym związane przedstawiono w poprzednich rozdziałach tego działu. Jednak mimo korzyści, jakie te dziedziny nauki przynoszą człowiekowi, budzą one także ogromne kontrowersje. Najwięcej obaw wiąże się z działaniami mogącymi mieć negatywne konsekwencje dla ludzkiego zdrowia i życia. Istotne stają się również kwestie natury etycznej, religijnej i światopoglądowej, a także konieczność modyfikacji obowiązujących przepisów prawa w taki sposób, aby skutecznie regulowały problematyczne zagadnienia.

Co wywołuje najczęściej kontrowersji?

Najwięcej obaw budzą genetycznie zmodyfikowane organizmy (GMO). Oprócz tej kwestii istnieją inne kontrowersyjne zagadnienia. Jednym z nich jest wykorzystanie **organów zwierzęcych do ksenotransplantacji**, które rodzi obawy o ryzyko przeniesienia infekcji ze zwierząt na ludzi. Aby uniknąć takiego zagrożenia, konieczne są kontrole zwierząt-dawców i organów, które mają być przeszczepione. Kontrole te powinny obejmować pochodzenie zwierząt (pobieranie organów od zwierząt wolno żyjących nie jest brane pod uwagę) i stan ich zdrowia, warunki hodowli (powinny spełnić najwyższe standardy bezpieczeństwa), sposób żywienia oraz procedurę pozyskiwania organu i – ewentualnie – jego przechowywania.

przeszczep
organów
zwierzęcych

Ogromne sprzeciwy wzbudza również **gromadzenie i przechowywanie ludzkich zarodków oraz gamet** (nasienia i komórek jajowych) w specjalnych bankach (ryc. V.12.1.). Przechowywane zarodki wykorzystuje się do pozyskiwania zarodkowych komórek macierzystych oraz w celach reprodukcyjnych. Najczęściej wątpliwości związane z bankami zarodków dotyczą liczby i potencjalnego wykorzystania zarodków oraz czasu ich przechowywania.



przechowywanie
zarodków
oraz gamet

Ryc. V.12.1. Banki zarodków i gamet przechowują je w pojemnikach z ciekłym azotem.

zapłodnienie *in vitro*

Gorące dyskusje wywołuje również **zapłodnienie *in vitro*** (zapłodnienie pozaustrojowe), które stosuje się w przypadku niepłodności (ocenia się, że w Europie problem ten dotyczy 10% par). Zabieg budzi kontrowersje z powodu powikłań, możliwych zarówno w przypadku kobiety (np. na skutek stymulacji hormonalnej), jak i dziecka. Największe sprzeciwy wywołuje jednak fakt wytwarzania wielu zarodków. Istnieją obawy, że te z nich, które nie zostaną wykorzystane, będą niszczone lub używane do innych celów medycznych. Także związana z zabiegiem diagnostyka przed-implantacyjna, polegająca na odrzucaniu zarodków z wadami genetycznymi, jest w skrajnych wypadkach odbierana jako działanie z pogranicza eugeniki. Konieczne są więc ściśle regulacje prawne obejmujące wszystkie aspekty zjawiska budzące wątpliwości.

bioterroryzm

Szybki rozwój i ciągle malejące koszty metod stosowanych w biotechnologii sprawiają, że jej osiągnięcia mogą zostać wykorzystane w nieodpowiedni sposób (np. jako narzędzie **bioterroryzmu**). Mogłoby to przynieść katastrofalne skutki. Dlatego potencjalnie niebezpieczne informacje i technologie muszą być zabezpieczone tak, aby nie można było ich użyć przeciwko człowiekowi (np. w USA wprowadzono rygorystyczne przepisy dotyczące obrotu patogenami oraz wszelkimi danymi na ich temat). Dbłość o bezpieczeństwo ma dobre i złe strony: znacznie ogranicza możliwość wystąpienia zagrożenia, ale jednocześnie utrudnia rozwój nauki.

Aby uniknąć kontrowersji, jakie wzbudzają niektóre przedsięwzięcia z dziedziny biotechnologii i inżynierii genetycznej, niezbędne jest opracowanie zasad postępowania, kontroli oraz prawnych i etycznych regulacji dotyczących prac badawczych i badań klinicznych. W przypadku każdej nowej technologii należy zapewnić najwyższy poziom bezpieczeństwa.

prawo
międzynarodowe
regulujące
biotechnologię

Osiągnięcia biotechnologii a prawo i opinia publiczna

Zakres i sposoby wykorzystania osiągnięć biotechnologii określają akty prawne międzynarodowe, europejskie oraz krajowe (dotyczy to zwłaszcza organizmów genetycznie modyfikowanych). Najważniejszymi międzynarodowymi aktami regulującymi wspomniane kwestie są konwencja o różnorodności biologicznej z Rio de Janeiro oraz protokół o bezpieczeństwie biologicznym z Kartageny. Na szczeblu europejskim zagadnienia te porządkują przepisy Unii Europejskiej, zwłaszcza dyrektywy (skierowane do konkretnych państw członkowskich) i rozporządzenia (mające charakter wiążący w całej Unii i zobowiązujący państwa członkowskie do dostosowania prawa krajowego do przepisów unijnych).

W Polsce obowiązują przepisy unijne dotyczące organizmów genetycznie zmodyfikowanych: ich wprowadzania do środowiska, oznaczania i wykorzystania, a także handlu nimi oraz transgranicznego przemieszczania (m.in. dyrektywy 90/219/WE i 2001/18/WE oraz rozporządzenia 1829/2003/WE, 1830/2003 i 1946/2003).

Przykładem regulacji na szczeblu krajowym jest obowiązująca w Polsce Ustawa z dnia 15 stycznia 2015 r. o zmianie ustawy o organizmach genetycznie zmodyfikowanych oraz niektórych innych ustaw. Ustawa ta dostosowuje prawo polskie do



prawa unijnego i dotyczy zamkniętego użycia mikroorganizmów genetycznie zmodyfikowanych, zamkniętego użycia organizmów genetycznie zmodyfikowanych, zamierzonego uwalniania organizmów genetycznie zmodyfikowanych do środowiska oraz wprowadzania do obrotu produktów genetycznie zmodyfikowanych.

Obowiązujące przepisy określają m.in. kompetencje instytucji rządowych w zakresie regulowanych przez nie spraw. Organem podejmującym decyzje odnośnie do GMO jest w Polsce minister środowiska i klimatu, któremu doradza Komisja do spraw GMM i GMO. Kontrolę nad przestrzeganiem przepisów sprawują poza tym: Państwowa Inspekcja Sanitarna, Inspekcja Ochrony Roślin i Nasiennictwa, Inspekcja Ochrony Środowiska, Inspekcja Weterynaryjna, Inspekcja Handlowa oraz Państwowa Inspekcja Pracy.

Lęk przed osiągnięciami biotechnologii i inżynierii genetycznej jest w dużej mierze spowodowany niewiedzą oraz brakiem rzetelnej, przekazanej w prosty sposób informacji. Dlatego niezbędne są edukacja i kampanie informacyjne, które pozwolą zapoznać społeczeństwo z tymi technologiami. Umożliwiłoby to wszystkim rzetelną ocenę argumentów przedstawianych przez przeciwników i zwolenników metod stosowanych w biotechnologii oraz korzyści i zagrożeń wynikających z ich stosowania.

**kampanie
informacyjne**

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Przeczytaj tekst i wykonaj polecenia.

Techniki biologii molekularnej używane w biotechnologii mogą okazać się bardzo niebezpiecznym narzędziem w rękach terrorystów (tzw. czarna biotechnologia). Dzięki inżynierii genetycznej jesteśmy w stanie stworzyć organizmy o nowych cechach (np. bakterie odporne na większą liczbę antybiotyków). W 1997 roku naukowcy z byłych radzieckich laboratoriów [...] podali, że ich własna żywa szczepionka węglkowa [...] nie stanowi skutecznej ochrony przeciw nowemu szczepowi bakterii [który wyhodowali]. Zmodyfikowana bakteria [...] wytwarza nową toksynę i wywołuje syndrom chorobowy, którego mechanizm powodujący śmierć u zwierząt jest [nieznany] [...]. Badania nad obroną przed bronią biologiczną są zawsze trudniejsze niż badania nad programami ofensywnymi. Można jedynie mieć nadzieję, że terroryści nie będą dysponowali laboratoriami oraz wykwalifikowaną kadrą naukową do dokonywania modyfikacji genetycznych mikroorganizmów, ani źródłem, z którego takie mikroorganizmy mogliby pozyskać.

Źródło: <http://link.operon.pl/n7436d>

- a) Na podstawie tekstu określ, jakie zagrożenia niesie czarna biotechnologia.
 - b) Omów cechy zmodyfikowanej bakterii wyhodowanej przez rosyjskich naukowców. Jakie skutki mogłoby wywołać zakażenie tą bakterią?
 - c) Wyjaśnij, w jaki sposób chronić zdobycze biotechnologii przed terrorystami.
2. Wyjaśnij, czym są banki gamet i zarodków. Jak sądzisz, dlaczego ich istnienie wzbudza kontrowersje?
 3. Wymień trzy prawne sposoby regulacji zagadnień związanych z biotechnologią.



4. Przerysuj do zeszytu i uzupełnij poniższą tabelę. Wpisz po jednym argumente za ksenotransplantacją i zapłodnieniem *in vitro* oraz przeciwko nim.

Działanie	Za	Przeciw
ksenotransplantacja		
zapłodnienie <i>in vitro</i>		

5. Twój znajomy poszukuje informacji o organizmach genetycznie zmodyfikowanych. Wyjaśnij mu, gdzie powinien ich szukać.
6. Wykonaj obserwację opisaną na stronie 408 podręcznika.

PODSUMOWANIE LEKCJI

s. 377

Wykorzystanie do **przeszczepów narządów pobranych od zwierząt** budzi wiele obaw, dlatego konieczna jest kontrola tego procesu obejmująca m.in. warunki hodowli zwierząt czy procedury pobierania narządów.

s. 377

Sprzeciw społeczeństwa wzbudza **przechowywanie gamet oraz zarodków w bankach**. Dotyczy to zwłaszcza liczby zarodków oraz ich potencjalnego wykorzystania.

s. 378

Niezwykłe kontrowersyjny jest fakt odrzucania lub wykorzystania do innych celów medycznych zarodków niewykorzystanych podczas **zapłodnienia *in vitro***.

s. 378

Szybki rozwój biotechnologii budzi obawy o możliwość wykorzystania jej osiągnięć przez **terrorystów**.

s. 378

Sprawy związane z biotechnologią reguluje **prawo międzynarodowe** (konwencja z Rio de Janeiro oraz protokół kartageński), europejskie (dyrektywy i rozporządzenia unijne) oraz krajowe (ustawa z 15 stycznia 2015 r. o organizmach genetycznie zmodyfikowanych).

s. 379

Konieczna jest **kampania informacyjna** w celu poszerzenia wiedzy społeczeństwa dotyczącej biotechnologii oraz inżynierii genetycznej.



PODSUMOWANIE PRZED SPRAWDZIANEM

1. Biotechnologia tradycyjna

- **Biotechnologia** wykorzystuje organizmy, ich składniki oraz procesy biologiczne do wytwarzania określonych produktów. s. 316
- **Biotechnologia tradycyjna** bazuje na naturalnie występujących w środowisku organizmach i produkowanych przez nie substancjach. s. 316
- **Biotechnologia nowoczesna** opiera się na najnowszych osiągnięciach biologii molekularnej. s. 316
- **Biotechnologia tradycyjna** towarzyszy człowiekowi od dawna – udomowienie roślin i zwierząt polegało na sztucznej selekcji oraz krzyżowaniu (wewnątrz- i międzygatunkowym). s. 316
- Efektem sztucznej **selekcji, krzyżowania** oraz **mutagenезы** są znane współcześnie odmiany roślin (np. kapusty warzywnej) oraz zwierząt (np. rasy psów). s. 316
- **Procesy biotechnologiczne** zachodzą w komórkach organizmów. Są przeprowadzane na dużą skalę w celu uzyskania określonego produktu. s. 318
- Podstawowym procesem biotechnologicznym jest **fermentacja** (mleczanowa i alkoholowa). s. 319
- **Fermentację mleczanową** przeprowadzają bakterie. Proces ten wykorzystuje się przy produkcji przetworów mlecznych (jogurty, kefiry, kwaśna śmietana), do kiszenia warzyw i owoców oraz do wytwarzania produktów mięsnych (salami, metka). s. 319
- **Fermentację alkoholową** przeprowadzają drożdże i jest ona wykorzystywana do produkcji piwa, wina, pieczywa i ciast. s. 320
- W przemyśle farmaceutycznym klasyczne procesy biotechnologiczne są wykorzystywane do syntezy i izolacji związków leczniczych głównie z grzybów (**antybiotyki**) oraz z bakterii (np. enzymy). s. 320
- Mikroorganizmy glebowe i wodne są wykorzystywane w procesie **bioremediacji**, czyli usuwania toksyn z zanieczyszczonych terenów. s. 322
- Bakterie z rodzaju *Rhizobium* i *Azotobacter* zdolne do **wiązania azotu atmosferycznego** są wykorzystywane do wzbogacania gleby w dostępne dla roślin związki azotu. s. 322

2. Biotechnologia nowoczesna i inżynieria genetyczna

- Nowoczesna biotechnologia wykorzystuje narzędzia i techniki **biologii molekularnej** oraz **inżynierii genetycznej**. s. 324
- **Inżynieria genetyczna** to zespół technik, które pozwalają na celową zmianę właściwości materiału genetycznego, powielanie DNA, przenoszenie genów pomiędzy organizmami oraz uzyskiwanie organizmów genetycznie zmodyfikowanych. s. 324
- **Biotechnologię dzielimy na kolory** ze względu na obszary, w których są prowadzone jej działania: zielona biotechnologia (rolnictwo), czerwona (medycyna), biała (przemysł i ochrona środowiska). s. 324
- Najważniejszymi technikami inżynierii genetycznej są **rekombinowanie DNA** oraz **klonowanie DNA**. s. 325
- **Rekombinowanie DNA** to tworzenie nowych, nieistniejących w naturze połączeń cząsteczki DNA. s. 325
- Przy **rekombinowaniu DNA** wykorzystuje się: enzymy restrykcyjne, wektory oraz elektroforezę. s. 325
- Bakteryjne **enzymy restrykcyjne** służą do precyzyjnego cięcia cząsteczki DNA w ściśle określonych sekwencjach łańcucha DNA. s. 325
- Wprowadzanie DNA do komórek organizmów to **transformacja**. s. 325
- **Klonowanie DNA** (genu) polega na wprowadzeniu klonowanego fragmentu DNA do wektora, a następnie do komórki biorcy (np. bakterii) i namnożeniu tych komórek. s. 325
- Klonowane fragmenty DNA są wprowadzane do komórek za pomocą **wektorów** (plazmidy, wirusy, bakteriofagi). s. 327
- **Plazmidy** to kuliste cząsteczki DNA występujące u bakterii, u których replikacja przebiega niezależnie od chromosomu bakteryjnego. s. 327
- **Bakteriofagi** służą do wprowadzania genów do komórek bakteryjnych. s. 327
- Najczęściej wykorzystywanymi **wektorami wirusowymi** dla komórek organizmów eukariotycznych są adenowirusy, wirusy towarzyszące adenowirusom oraz retrowirusy. s. 327
- Do **bezwektorowych metod** wprowadzania genów należą: mikroiniekcja i elektroporacja. s. 327
- **Geny markerowe** obecne w wektorach wprowadza się, aby móc zidentyfikować komórki, do których udało się wprowadzić klonowany fragment DNA, od tych, u których ten proces nie nastąpił. s. 328
- Poszukiwanie docelowego genu wśród stransformowanych komórek odbywa się za pomocą **sondy** (czyli DNA o sekwencji komplementarnej do poszukiwanego genu). s. 328
- **Elektroforeza DNA** polega na rozdziale cząsteczek DNA w zależności od ich wielkości na żelu polimerycznym w polu elektrycznym. Elektroforeza służy do rozdzielenia i identyfikacji fragmentów DNA, genów i cząsteczek genomowego DNA. s. 328



3. Inne narzędzia inżynierii genetycznej

- s. 330 • Łańcuchowa reakcja polimerazy (PCR) pozwala na wielokrotne powielenie odcinków DNA. Mieszanina reakcyjna PCR musi zawierać **startery** (odcinki komplementarne do sekwencji otaczających kopiowaną sekwencję), wolne nukleotydy oraz enzym termostabilną polimerazę DNA Taq, która jest aktywna w temperaturze 72°C.
- s. 332 • **PCR znalazła zastosowanie w wielu dziedzinach:** medycynie, sądownictwie, kryminalistyce itd.
- s. 332 • **Sekwencjonowanie DNA** to poznawanie kolejności ułożenia nukleotydów w DNA. Przeprowadza się je przy użyciu metody Sangera i analizy elektroforetycznej.
- s. 334 • Znajomość **genomu** jest niezwykle istotna w profilaktyce i terapii chorób. Stanowi także niezastąpione źródło wiedzy o pochodzeniu i ewolucji człowieka.
- s. 334 • Za różnorodność osobniczą odpowiadają m.in. **polimorfizmy punktowe**, czyli zmiany dotyczące pojedynczych nukleotydów.
- s. 335 • **Komplementarny DNA** (cDNA) jest komplementarny do dojrzałego mRNA i uzyskuje się go na drodze odwrotnej transkrypcji.
- s. 336 • **Nokaut genowy** jest dogodną techniką w poznawaniu funkcji genów.
- s. 336 • **Ukierunkowana mutageneza** polega na wprowadzaniu celowych mutacji do materiału genetycznego i obserwowaniu ich skutków.
- s. 336 • **Interferencja RNA** to wyciszanie genów za pomocą siRNA; daje nadzieje na leczenie chorób, które są spowodowane zbyt wysoką aktywnością genów i które za pomocą RNAi można wyciszyć

4. Zastosowania technik inżynierii genetycznej

- s. 339 • **Badania DNA** są niezastąpione w sądownictwie (np. przy ustalaniu ojcostwa) oraz medycynie sądowej i kryminalistyce (np. do analizy śladów biologicznych).
- s. 340 • Na użytek medycyny sądowej prowadzi się **bazy danych DNA**, które zawierają m.in. profile genetyczne osób oskarżonych i podejrzanych o dokonanie przestępstw.
- s. 340 • W **dziedziczeniu mitochondrialnym** informacja genetyczna jest przekazywana tylko od matki. Dlatego analizy mtDNA umożliwiają ustalanie tożsamości osób zmarłych wiele lat temu (przez porównanie ich DNA z DNA osób żyjących współcześnie).
- s. 340 • Badania mitochondrialnego i jądrowego DNA wykorzystuje się w **analizowaniu pokrewieństwa** (w tym pokrewieństwa gatunków) oraz w sporządzaniu rodowodów.
- s. 340 • **Genographic Project** wykorzystuje badania DNA w celu ustalenia pochodzenia człowieka, jego przodków oraz szlaków wędrówek ludzi.
- s. 341 • **Starożytny DNA** (aDNA) to DNA pochodzący z zachowanych do dziś szczątków organizmów żyjących wiele lat temu.
- s. 341 • Techniki inżynierii genetycznej są wykorzystywane w nowych obszarach, takich jak: **nanobiotechnologia**, farmakogenomika.

5. Inżynieria genetyczna w profilaktyce i diagnostyce chorób uwarunkowanych genetycznie

- s. 344 • **Profilaktyka zdrowotna** to wszystkie działania zapobiegające występowaniu chorób, w tym chorób genetycznych. Dzieli się ją na pierwotną i wtórną.
- s. 344 • **Poradnictwo genetyczne** jest przykładem profilaktyki pierwotnej. To specjalistyczna pomoc dla rodzin, w których istnieje ryzyko wystąpienia chorób genetycznych.
- s. 344 • **Poradnictwo genetyczne** obejmuje prawidłowe rozpoznanie choroby, analizę rodowodu rodziny, określenie ryzyka genetycznego oraz przekazanie porady.
- s. 345 • Do działań profilaktyki wtórnej zalicza się **badania przedimplantacyjne**, prenatalne oraz przesiewowe.
- s. 345 • **Przedimplantacyjna diagnostyka** genetyczna wykonywana w czasie zapłodnienia *in vitro* służy wykryciu wad genetycznych u zarodków przed wprowadzeniem ich do organizmu przyszłej matki.
- s. 345 • **Testy genetyczne** to badanie DNA, RNA, białek lub chromosomów, wykonywane dla celów poradnictwa genetycznego i w celach klinicznych (poznanie genetycznej przyczyny choroby).
- s. 346 • **Markery nowotworowe** biochemiczne wykorzystywane w diagnostyce chorób nowotworowych to najczęściej białka, za pomocą których odróżnia się komórkę nowotworową od normalnej. Markery genetyczne (molekularne) to zmiany w strukturze lub sekwencji materiału genetycznego.



6. Mikroorganizmy genetycznie zmodyfikowane

- **Organizm genetycznie zmodyfikowany** to organizm, którego materiał genetyczny został zmieniony przy użyciu technik inżynierii genetycznej. s. 347
- **Organizm transgeniczny** to organizm, do którego genomu został wprowadzony gen pochodzący od innego organizmu. s. 348
- **Modyfikacjom genetycznym** poddaje się mikroorganizmy, rośliny oraz zwierzęta. s. 348
- Mikroorganizmy (bakterie, grzyby, pierwotniaki) **genetycznie zmodyfikowane (GMM)** wykorzystuje się w wielu gałęziach przemysłu. s. 348
- **Wykorzystanie GMM w medycynie** bazuje na uzyskiwaniu szczepionek nowej generacji o wyższej skuteczności i bezpieczeństwie dla pacjenta, antybiotyków oraz ludzkich białek. s. 348
- Dostępna obecnie **insulina** jest produkowana przez zmodyfikowane genetycznie bakterie *Escherichia coli*, do których genomu wprowadzono gen ludzkiej insuliny. s. 349
- **Mikroorganizmy GM stosuje się w rolnictwie** jako zielony nawóz do wzbogacania gleby w związki azotu i fosforu. s. 350
- W **ochronie środowiska GMM** stosuje się do usuwania ksenobiotyków, toksyn i metali ciężkich, a także do produkcji tworzyw biodegradowalnych. s. 350
- Z mikroorganizmów GM uzyskuje się enzymy, dodatki do żywności, barwniki i inne związki wykorzystywane w różnych **gałęziach przemysłu**. s. 351
- **Hodowle GMM są ściśle kontrolowane**, a ryzyko ich rozprzestrzeniania się spada w związku z zastosowaniem zabójczych elementów genetycznych, które unieszkodliwiają GMM po przedostaniu się ich do środowiska. s. 351

7. Modyfikacje genetyczne roślin

- **Areal upraw roślin genetycznie modyfikowanych** w 2018 r. wynosił 191 mln ha. s. 353
- Do najczęściej **modyfikowanych roślin** należą: soja, rzepak, kukurydza, bawełna i lucerna. s. 353
- **Modyfikacje roślin przeprowadza się** w celu poprawy ich jakości oraz zwiększania plonów. s. 354
- Główne cele **modyfikacji roślin** to: zwiększenie tolerancji roślin na złe warunki środowiska, zwiększenie wartości odżywczej, uzyskanie roślin odpornych na choroby wirusowe, bakteryjne i grzybowe, na herbicydy oraz na szkodniki owadzie. s. 354
- Rośliny modyfikuje się na użytek medycyny w celu wytwarzania w ich tkankach **biofarmaceutyków** (białek, hormonów). s. 356
- Z tkanek roślin genetycznie zmodyfikowanych próbuje się uzyskiwać **tworzywa biodegradowalne** oraz wykorzystuje się je do produkcji biopaliw. s. 356

8. Zwierzęta transgeniczne

- **Zwierzęta transgeniczne** mają obcy gen wbudowany do materiału genetycznego komórek rozrodczych. s. 358
- Zwierzęta transgeniczne uzyskuje się poprzez **mikroiniekcję** lub za pomocą wektorów wirusowych. Obcy gen jest wprowadzany do zapłodnionej komórki jajowej, którą następnie wprowadza się do macicy matki zastępczej. s. 358
- Zwierzęta modyfikuje się **w celu zwiększenia odporności na choroby** oraz w celu poprawy jakości produktów zwierzęcych (zwiększenie masy mięśni, wzrost wydajności mlecznej, poprawa jakości wełny). s. 359
- Modyfikacje genetyczne zwierząt mają na celu także uzyskanie narządów do **ksenotransplantacji**. s. 360
- Metodami inżynierii genetycznej próbuje się **zapobiegać wyginięciu niektórych gatunków**. s. 360
- Zwierzęta modyfikowane genetycznie są **modelami chorób człowieka** (np. cukrzycy czy otyłości) i służą m.in. do badań nad nowymi terapiami. s. 360

9. Zagrożenia związane z GMO

- **Obawy związane z GMO** pogłębia brak rzetelnej informacji. s. 361
- **Brak jest udokumentowanych doniesień o negatywnych** efektach działań inżynierii genetycznej. s. 361
- **Obawy związane z uprawami roślin GM** odnoszą się w głównej mierze do bezpieczeństwa uzyskiwanej z nich żywności oraz bezpieczeństwa środowiska naturalnego. s. 361
- Najczęstszymi **argumentami przeciwko** uprawom roślin transgenicznych są: negatywny wpływ na rośliny niemodyfikowane, pojawienie się chwastów odpornych na herbicydy („superchwastów”), możliwość przenoszenia genów na inne rośliny, nabycie odporności na antybiotyki oraz wywoływanie alergii. s. 361



- s. 361 • Każdy przypadek uzyskiwania i wprowadzania do obrotu roślin modyfikowanych genetycznie jest oddzielnie badany i **podlega ścisłej kontroli**.
- s. 363 • **Obawy związane z uzyskiwaniem zwierząt transgenicznych** dotyczą głównie możliwości przedostania się ich do środowiska i niekontrolowanego rozwoju.



10. Klonowanie organizmów

- s. 365 • **Klon** to organizm lub zbiór komórek identycznych pod względem genetycznym z innym organizmem lub zbiorem komórek.
- s. 365 • **Klon** może powstać w sposób naturalny (np. w wyniku rozmnażania wegetatywnego) lub sztuczny (przez podział zarodków lub transfer jąder).
- s. 366 • Najczęściej wykorzystywaną **techniką klonowania** jest metoda transferu jądra komórkowego z komórki somatycznej do komórki jajowej uprzednio pozbawionej jądra.
- s. 367 • Pierwszym sklonowanym zwierzęciem była żaba, a pierwszym sklonowanym ssakiem – **owca Dolly**.
- s. 368 • **Klonuje się także zwierzęta transgeniczne** produkujące biofarmaceutyki lub powiela odmiany zwierząt o cechach wartościowych dla rolników, a także by chronić gatunki zagrożone wymarciem lub przywrócić zwierzęta już wymarłe (np. mamuta).
- s. 368 • **Komórki macierzyste** zachowują zdolność podziałów przez całe życie organizmu i mogą różnicować się w każdy typ komórek.
- s. 368 • Wyróżnia się **komórki macierzyste**: embrionalne, płodowe i somatyczne (występują w tkankach dorosłego organizmu, m.in. w szpiku kostnym, jelitach, naskórku, krwi i siatkówce oka).
- s. 368 • **Embrionalne komórki macierzyste** mogą być totipotencjalne (komórki zygoty) lub pluripotencjalne (komórki węzła zarodkowego), co oznacza, że mogą różnicować się w dowolne komórki organizmu.
- s. 370 • **Klonowanie terapeutyczne** polega na pobraniu od pacjenta jąder komórkowych, wprowadzeniu ich do komórki jajowej pozbawionej jądra, uzyskaniu w ten sposób komórek macierzystych, „naprawieniu” ich, przekształceniu w wyjściowe komórki i wprowadzeniu z powrotem do organizmu pacjenta.
- s. 370 • W celu wykorzystania **klonowania terapeutycznego w leczeniu** musi zostać opracowana metoda pełnego różnicowania, tak aby nie dochodziło do powstawania nowotworów – potworniaków.

11. Terapia genowa

- s. 373 • **Terapia genowa** polega na modyfikowaniu informacji genetycznej nieprawidłowo działającej komórki m.in. przez wstawienie lub usunięcie genu bądź wykorzystanie zjawiska interferencji RNA.
- s. 373 • **Terapia genowa** jest stosowana w leczeniu chorób uwarunkowanych genetycznie.
- s. 373 • **W czasie terapii genowej** DNA wprowadza się do komórek za pomocą wektorów (wirusy) oraz bezwektorowo.
- s. 374 • **Na świecie jest prowadzonych wiele prób klinicznych** z zastosowaniem terapii genowej (najczęściej w leczeniu nowotworów).
- s. 375 • Terapia genowa może być stosowana w sposób niedozwolony, np. w **dopingu genetycznym**.

12. Szanse i zagrożenia związane z biotechnologią i inżynierią genetyczną

- s. 377 • Wykorzystanie do przeszczepów **narządów pobranych od zwierząt** budzi wiele obaw, dlatego konieczna jest kontrola tego procesu obejmująca m.in. warunki hodowli zwierząt czy procedury pobierania narządów.
- s. 377 • Sprzeciw społeczeństwa wzbudza **przechowywanie gamet oraz zarodków w bankach**. Dotyczy to zwłaszcza liczby zarodków oraz ich potencjalnego wykorzystania.
- s. 378 • Niezwykle kontrowersyjny jest fakt odrzucania lub wykorzystania do innych celów medycznych zarodków niewykorzystanych podczas **zapłodnienia *in vitro***.
- s. 378 • Szybki rozwój biotechnologii budzi obawy o możliwość wykorzystania jej osiągnięć przez **terrorystów**.
- s. 378 • Sprawy związane z biotechnologią reguluje **prawo międzynarodowe** (konwencja z Rio de Janeiro oraz protokół kartageński), europejskie (dyrektywy i rozporządzenia unijne) oraz krajowe (ustawa z 15 stycznia 2015 r o organizmach genetycznie zmodyfikowanych).
- s. 379 • Konieczna jest **kampania informacyjna** w celu poszerzenia wiedzy społeczeństwa dotyczącej biotechnologii oraz inżynierii genetycznej.



SPRAWDŹ, CZY UMIESZ

1. Świnia domowa pochodzi od dzika, którego udomowienie miało miejsce ok. 7 000 lat temu. W poniższej tabeli zamieszczono porównanie świni i dzika. **Przeanalizuj tabelę i wykonaj polecenia.**

Cecha	Świnia	Dzik
Proporcje ciała	długi tułów, szeroki grzbiet, krótkie nogi	silnie rozwinięta przednia część ciała; niższy zad
Ubarwienie	jasne, łaciate, rudawe	czarne, ciemniejsze latem
Tryb życia	dzienny	nocny
Okres godowy	przez cały rok	od listopada do stycznia
Liczba młodych urodzonych	14–16	4–8
Długość życia	maks. do 12 lat	ok. 27 lat, czasem 40
Długość trwania ciąży	112–114 dni	108–120 dni
Dojrzałość płciowa	w wieku 6 miesięcy	w wieku 8–20 miesięcy
Liczba chromosomów	38	38

a) Udomawiając dzika, człowiek w sposób sztuczny wybierał i potęgował te jego cechy, które były korzystne z punktu widzenia hodowli.

Wybierz kierunki zabiegów hodowlanych w udomawianiu dzika, które doprowadziły do powstania świni.

- 1) zwiększenie obszaru ciała, z którego można pozyskać mięso
- 2) zmniejszenie liczby urodzonych młodych
- 3) wydłużenie okresu godowego
- 4) skrócenie długości życia
- 5) przyspieszenie osiągnięcia dojrzałości płciowej
- 6) skrócenie okresu ciąży
- 7) zwiększenie liczby chromosomów

b) **Wyjaśnij, jakie znacznie dla hodowcy mają wybrane przez ciebie w poprzednim zadaniu cechy świni, którymi różni się od dzika.**

2. **Przeczytaj poniższy test i wykonaj polecenia.**

Obecnie jednym z kierunków prac biotechnologicznych jest opracowanie i wykorzystanie w praktyce technologii mikrobiologicznych do przetwarzania surowców roślinnych oraz odpadowych z przemysłu rolno-spożywczego do wytwarzania energii oraz półproduktów do dalszego przerobu. Za najważniejsze zadania w tym obszarze uznano: udoskonalenia enzymatycznej hydrolizy surowców celulozowych, pozyskanie nowych drobnoustrojów do fermentacji produktów celulozowych, stworzenie nowych odmian roślin energetycznych do wykorzystania jako surowiec w biorafineriach, opracowanie wysokosprawnych bioreaktorów do produkcji biopaliw gazowych i ciekłych.

Źródło: <http://link.operon.pl/n7436a>

a) **W jakim obszarze mieszczą się wymienione w tekście działania?**

- 1) zielonej biotechnologii
- 2) czerwonej biotechnologii
- 3) białej biotechnologii
- 4) wszystkich wymienionych

b) **Znajdź w tekście pojęcia odpowiadające podanym poniżej definicjom.**

- 1) urządzenie, w którym można prowadzić procesy mikrobiologiczne, enzymatyczne, jak również hodowle komórek organizmów wielokomórkowych, sterowane i kontrolowane automatycznie
- 2) enzymatyczny proces przekształcania związków organicznych prowadzony przez mikroorganizmy, przebiegający w warunkach beztlenowych, którego efektem jest uzyskanie energii



3. W 1998 r. wprowadzono do uprawy na Hawajach genetycznie zmodyfikowaną papaję, której nadano odporność na wirusa pierścieniowatej plamistości papai przenoszonego przez mszyce.

Oceń opisaną modyfikację i porównaj ją z tradycyjnym opryskiem w kontekście biocenozy pola uprawnego.

4. **Przeczytaj poniższy tekst i wykonaj polecenia.**

Dużym problemem lekarzy oraz ich pacjentów kwalifikujących się do transplantacji jest brak organów do przeszczepu. Obecnie trwają prace nad genetycznie zmodyfikowanymi organami nadającymi się do przeszczepów, a zwierzęciem znajdującym się w obszarze zainteresowania naukowców jest świnia – jako organizm najbardziej podobny anatomicznie i fizjologicznie do człowieka. Narządami pochodzącymi ze świni, a mogącymi uratować ludzkie życie są: serce, nerka, wątroba. Głównym zadaniem naukowców będzie zniesienie immunologicznej bariery międzygatunkowej. Taka ostra reakcja immunologiczna pojawia się u człowieka po wykryciu obecności świńskiego antygeny Gal, który tworzy enzym alfa-1,3-galaktozylotransferaza, niewystępujący u człowieka.

Na podstawie: <http://link.operon.pl/n7436b>

a) Wyjaśnij, dlaczego świnia jest dogodnym obiektem badań nad źródłem zwierzęcych organów do przeszczepów u ludzi.

b) Na podstawie informacji w tekście wytłumacz, na czym może polegać manipulacja genetyczna u świni, prowadząca do zniesienia bariery immunologicznej świnia – człowiek.

5. Poniższa tabela zawiera zestawienie wybranych parametrów dotyczących projektów sekwencjonowania trzech organizmów eukariotycznych.

Przeanalizuj ją, a następnie odpowiedz na pytania.

Projekt	Rok ogłoszenia	Czas trwania (lata)	Liczba osób zaangażowanych w projekt	Liczba instytucji zaangażowanych w projekt	Budżet (mln dolarów)
Genom człowieka	2001	15	134	120	3500
Genom ziemniaka	2011	4,5	97	24	brak danych
Genom ogórka	2010	2,5	20	4	0,8

Źródło: „Hodowla Roślin i Nasiennictwo” 2011, nr 3, 4, s. 22.

a) Podaj wniosek płynący z danych zawartych w tabeli.

b) Podaj co najmniej trzy czynniki, które mają wpływ na kierunek zmian w sekwencjonowaniu genomów organizmów.

6. **Przeczytaj tekst i wykonaj polecenia.**

Pierwszym praktycznym testem wykorzystującym genetyczny odcisk palca była sprawa imigrantów z Ghany w 1985 r. Sprawa dotyczyła Christiny Sarbah i jej nastoletniego syna Andrew, który imigrował do Anglii, po tym jak kilka lat mieszkał z ojcem w Ghanie. Pomimo tego, że wszystkie zeznania świadczyły o tym, że Andrew jest synem Christiny, Urząd Imigracyjny uznał, że te dowody są niewystarczające i chłopiec będzie deportowany do Ghany. Groźba deportacji spowodowała, że Andrew zgodził się na przeprowadzenie innowacyjnego badania DNA, które w tamtym czasie dopiero co opracowano. Do badania pobrano krew Andrew, jego matki oraz rodzeństwa: Davida, Joyce i Diany. Porównano ich profile genetyczne (profile DNA) (Rys).

Źródło: D.A. Micklos, *DNA Science: A First Course (2nd Edition)*, DNA Learning Center, Cold Spring Harbor Laboratory, Greg A. Freyer, Columbia University, New York, rozdz. 8.



Genetyczny odcisk palca matki (Ch), Andrew (An), Davida (Dv), Joyce (Jy) i Diany (Dn). Profil oznaczony jako X należy do osoby niespokrewnionej.

a) Wyjaśnij, czy na podstawie wyników badań można stwierdzić, że Andrew jest synem Christiny, a bratem Davida, Joyce i Diany. Oceń, jaki w związku z tym mogła mieć finał sprawa imigrantów z Ghany. Uzasadnij swoją odpowiedź.

b) Podaj przyczynę analizy genetycznego odcisku palca osoby niespokrewnionej z rodziną Sarbahów.

7. Jednym z największych wyzwań terapii genowej jest opracowanie skutecznych metod dostarczania genów do komórek.

Dobierz pojęcia pasujące do opisów.

- eliminacja efektów ubocznych
- integracja genu w materiale genetycznym
- aktywacja genu
- wyбір komórek docelowych

1) Jeśli chcemy dostarczyć gen do komórek wątroby, nie powinien on dotrzeć do innych tkanek (np. do mózgu).
2) Po dostaniu się do komórki gen musi dotrzeć do jądra komórkowego i zostać włączony do DNA jądrowego w taki sposób, aby informacja w nim zapisana uległa transkrypcji i translacji. Powstałe białko musi funkcjonować poprawnie.

3) Włączony gen powinien zostać na trwałe włączony do materiału genetycznego gospodarza i przez długi czas produkować potrzebne białko.

4) Wprowadzenie każdej obcej substancji do organizmu może być dla niego toksyczne. Należy mieć pewność, że wprowadzenie obcego genu nie wywoła przeciwko niemu (lub białku) reakcji immunologicznej.

8. Zaklasyfikuj podane przykłady do zadań profilaktyki pierwotnej lub wtórnej. Przerysuj tabelę do zeszytu i ją uzupełnij.

badania przesiewowe w kierunku fenylketonurii, przyjmowanie kwasu foliowego przez ciężarne kobiety, testy genetyczne w kierunku chorób genetycznych, poradnictwo genetyczne, badania prenatalne

Profilaktyka pierwotna	Profilaktyka wtórna

9. Przeczytaj poniższy tekst.

Opatentowanie GMO zagraża produkcji rolniczej istniejącej od ponad 12 tys. lat. Klasycznym przykładem kontrolowania produkcji nasion jest patent „Terminator Technology”. Jest to złożona manipulacja genetyczna, która wprowadzona dodatkowo do rośliny transgenicznej powoduje, że ziarno drugiego pokolenia staje się jałowe, niezdolne do kiełkowania. Jest to olbrzymie zagrożenie dla światowego rolnictwa, a nie ratowanie świata przed głodem. Rolnicy, którzy kupują ziarno GM roślin, uzależniają się od korporacji. Ziarno jest patentowane i trzeba je kupować co roku od producenta i nie wolno wysiewać zebranych ziaren. Nawet za obecność GM roślin, które przedostały się wbrew woli rolnika na jego teren, zmusza się go do płacenia tantiem licencyjnych. Jednak te GM rośliny przedostały się na pola rolnika wbrew jego woli. Powinien dostać wysokie odszkodowanie za zanieczyszczenia genetyczne roślin na jego polu.

Źródło: <http://link.operon.pl/n7436c>

Wyjaśnij, na czym polega technologia „Terminator” oraz jakie są konsekwencje jej stosowania.

EKSPERYMENTY I OBSERWACJE

I. Budowa i funkcjonowanie organizmu człowieka

1. Hierarchiczna struktura ciała człowieka



Obserwacja 1.

Obserwacja mikroskopowa preparatu trwałego tkanki nabłonkowej

Instrukcja: Przygotuj dostępne w pracowni trwałe preparaty mikroskopowe nabłonka jedno-warstwowego: płaskiego, sześciennego, walcowatego, wielorzędowego i wielowarstwowego płaskiego oraz mikroskop. Przeprowadź obserwacje mikroskopowe preparatów.

Wyniki: Narysuj w zeszycie oglądane preparaty tkanki nabłonkowej. Na podstawie obserwacji uzupełnij tabelę.

Lp.	Rodzaj tkanki nabłonkowej	Charakterystyka
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		



Obserwacja 2.

Obserwacja mikroskopowa preparatu trwałego tkanki tłuszczowej

Instrukcja: Przeprowadź obserwacje mikroskopowe preparatu trwałego tkanki tłuszczowej.

Wyniki: Narysuj w zeszycie oglądany preparat. Opisz kształt komórek. Wskaż cechy budowy tkanki będące przystosowaniem do pełnionych funkcji.



Obserwacja 3.

Obserwacja mikroskopowa komórek krwi

Instrukcja: Przeprowadź obserwacje mikroskopowe preparatu trwałego rozmazu krwi.

Wyniki: Rozpoznaj pod mikroskopem, a następnie policz leukocyty i erytrocyty w polu widzenia. Ustal ich proporcje ilościowe. Narysuj obserwowane komórki krwi.

2. Narządy i ich układy w organizmie człowieka

Obserwacja

Rola temperatury w utrzymaniu homeostazy

Instrukcja: Obserwacje przeprowadź w dzień wolny od zajęć szkolnych. Dokonaj pomiaru temperatury pod językiem, a następnie pod pachą w godzinach: 6.00, 12.00, 15.00 i 18.00.

Wyniki: Zanotuj wyniki i na podstawie uzyskanych danych narysuj wykresy (temperatura pod językiem i temperatura pod pachą). Sformułuj wnioski.

Podsumowanie: Homeostaza organizmu wymaga regulowania i kontrolowania najważniejszych parametrów wewnętrznego środowiska, do których należy temperatura ciała.

3. Rola składników odżywczych w funkcjonowaniu organizmu

Eksperyment

Obliczanie wartości energetycznej oraz dobowego zapotrzebowania na składniki wybranych produktów spożywczych

Instrukcja: Przygotuj etykiety z dowolnego jogurtu, soku owocowego oraz chipsów. Na podstawie informacji zawartych na etykietach odpowiedz na pytania i wykonaj polecenie.

Jaki procent dobowego zapotrzebowania na wapń pokrywa 200 ml jogurtu?

Ile gramów soli znajduje się w opakowaniu chipsów?

Ile gramów cukru znajduje się w 250 ml soku?

Oblicz wartość energii uzyskanej po zjedzeniu i wypiciu powyższych produktów. Do jej wyznaczenia zastosuj następujące średnie współczynniki przeliczeniowe: 1 g białka – 4 kcal (17 kJ), 1 g tłuszczu – 9 kcal (37 kJ), 1 g węglowodanów – 4 kcal (17 kJ).

Wyniki: Opracuj wyniki w tabeli i porównaj je z normami dla poszczególnych grup wiekowych.

Wnioski: Sformułuj wnioski.

4. Rola witamin i minerałów w diecie

Eksperyment

Wykrywanie witaminy C w produktach spożywczych

Wprowadzenie: Witamina C, czyli kwas askorbinowy, to związek krystaliczny dobrze rozpuszczalny w wodzie. Jego roztwory mają smak kwaśny. Jedną z metod służących do wykrywania witaminy C w produktach spożywczych jest metoda Tillmansa. Polega ona na redukcji



przez kwas askorbinowy indofenolu i pojawieniu się różowego zabarwienia (im więcej witaminy C, tym intensywniejsze jest zabarwienie). Metoda ta jest stosowana do badania próbek bezbarwnych, ponieważ związki barwne maskują wynik reakcji.

Instrukcja: W pięciu probówkach umieść po 10 ml: wody, wody smakowej z dodatkiem witaminy C, soku z kapusty, soku z cytryny, świeżo wyciśniętego soku z białych winogron. Do probówek dodaj pięć kropli indofenolu i obserwuj zmianę barwy roztworów.

Wyniki: Sporządź tabelę z opisem wyników w zeszycie.

Wnioski: Sformułuj wnioski.

5. Zasady zdrowego żywienia



Eksperyment

Piramida zdrowego żywienia a dieta ucznia

Instrukcja: Zanotuj skrupulatnie twój tygodniowy jadłospis oraz objętość wypitych płynów. Jadłospis posegreguj na grupy produktów (lub w miarę możliwości według dominującego składnika) i zapisz je na samoprzylepnych kartkach. Przygotuj szablon przedstawiający zarys piramidy zdrowego żywienia z kolejnymi jej poziomami (według wzoru ze strony 43). Przyczep przygotowane przez siebie kartki w odpowiednich miejscach piramidy.

Wyniki: Przeanalizuj uzyskany przez siebie rozkład składników na piramidzie z zasadami zdrowego żywienia. Porównaj ją z wynikami uzyskanymi przez kolegów i koleżanki. Wyniki zanotuj w zeszycie.

Wnioski: Sformułuj wnioski. Określ, czy powinieneś/powinnaś wprowadzić do swojego jadłospisu modyfikacje. Podaj, jakich zmian potrzebujesz, i uzasadnij swoją odpowiedź.

6. Budowa i funkcje układu pokarmowego



Obserwacja

Obserwacja mikroskopowa trwałych preparatów histologicznych układu pokarmowego

Instrukcja: Przygotuj dostępne w pracowni biologicznej trwałe preparaty prezentujące budowę histologiczną wybranych odcinków układu pokarmowego, na przykład: dna żołądka, jelita cienkiego, wyrostka robaczkowego. Przeprowadź obserwację mikroskopową.

Wyniki: Wskaż cechy charakterystyczne budowy struktur obserwowanych na preparatach i opisz ich powiązanie z wykonywaną funkcją.

7. Dodatkowe narządy układu pokarmowego. Trawienie i wchłanianie substancji odżywczych

Eksperyment 1.

Warunki działania laktazy

Wprowadzenie: Laktaza to enzym rozkładający dwucukier laktozę do glukozy i galaktozy. Proces ten zachodzi w jelicie cienkim. Laktaza działa w zakresie pH od 2 do 7, a optymalne pH to 6.

Instrukcja: Trzy zlewki (A, B, C) o pojemności 200 ml napełnij do połowy mlekiem. Do zlewki A dodaj 1 g węglanu sodu, do zlewki B – 5 ml 10-procentowego kwasu octowego, a do zlewki C – 5 ml wody. Roztwory zamieszaj, a następnie do każdego z nich dodaj laktazę (enzym do kupienia w aptece w postaci tabletek lub kropli) i mieszaj przez 1 minutę. Po 30 minutach w każdej ze zlewek przeprowadź test na obecność glukozy za pomocą pasków diagnostycznych dostępnych w aptece.

Wyniki: Omów wynik doświadczenia.

Wnioski: Sformułuj wnioski. Wyjaśnij, jak zmiana pH wpływa na aktywność laktazy.

Eksperyment 2.

Wątroba jako miejsce usuwania toksyn z organizmu

Wprowadzenie: Jedną z funkcji wątroby jest usuwanie toksyn i leków z organizmu. W tym procesie biorą udział enzymy występujące w wątrobie. Jednym z nich jest katalaza, która utlenia takie substancje, jak etanol czy metanol. Obecność i aktywność katalazy wątrobowej można wykazać poprzez reakcję z nadtlenkiem wodoru (H_2O_2), który w obecności katalazy ulega rozkładowi do wody i tlenu.

Instrukcja: W dwóch zlewkach umieść równej wielkości kawałki wątroby drobiowej. Wątrobę w jednej zlewce zalej 3-procentowym roztworem nadtlenku wodoru (wodą utlenioną) tak, aby kawałek był całkowicie zanurzony. Do drugiej zlewki wlej taką samą objętość wody. Obserwuj wydzielanie się pęcherzyków gazu.

Wyniki: Sporządź notatkę w zeszycie.

Wnioski: Sformułuj wnioski.

Eksperyment 3.

Warunki trawienia skrobi

Wprowadzenie: Trawienie skrobi rozpoczyna się w jamie ustnej. Zawarta w ślinie amylaza rozkłada ją do maltozy. Stopień rozłożenia skrobi można śledzić za pomocą reakcji z płynem Lugola (roztworem jodu w jodku potasu).



Problem badawczy: Czy enzymy zawarte w ślinie powodują rozkład skrobi?

Hipoteza badawcza: Enzymy zawarte w ślinie powodują rozkład skrobi na cukry proste.

Instrukcja przeprowadzenia doświadczenia: Zaplanuj i przeprowadź doświadczenie mające na celu wykazanie aktywności amylazy zawartej w ślinie. Do dyspozycji masz: kleik skrobiowy (łyżka mąki ziemniaczanej rozpuszczona w szklance wody i zagotowana), ślinę, płyn Lugola, wodę z kranu, dwie szklanki. W doświadczeniu uwzględnij próbę kontrolną i próbę badaną.

Opracowanie wyników: Opisz wyniki doświadczenia i sporządź notatkę w zeszycie.

Wnioski: Sformułuj wnioski z doświadczenia.

Poszukaj, dowiedz się i wyjaśnij: W dostępnych źródłach wyszukaj informacje na temat optymalnych parametrów dla aktywności amylazy (pH, temperatura, kofaktory).

8. Zaburzenia funkcjonowania układu pokarmowego oraz ich profilaktyka



Obserwacja

Obserwacja mikroskopowa trwałych preparatów histologicznych układu pokarmowego

Instrukcja: Przygotuj dostępne w pracowni biologicznej trwałe preparaty obrazujące chore tkanki układu pokarmowego pochodzące na przykład od chorych na zapalenie okrężnicy, raka przerzutowego wątroby czy białaczkę śledziony. Przeprowadź obserwację mikroskopową.

Wyniki: Porównaj preparaty tkanek chorych z obrazami tkanek niezmiennych chorobowo i wskaż najważniejsze różnice między nimi.

10. Zaburzenia funkcjonowania układu odpornościowego



Eksperyment

Mycie rąk najlepszą praktyką w profilaktyce chorób układu odpornościowego

Wprowadzenie: Regularne mycie rąk jest kluczowym elementem profilaktyki infekcji układu oddechowego. Na dłoniach codziennie znajduje się wiele drobnoustrojów, ponieważ dotykamy wielu przedmiotów, na których się one znajdują, m.in.: klamek, poręczy, przycisków w windach czy uchwytów wózków w sklepach.

Instrukcja: Przygotuj cztery szalki Petriego z pożywką (bulionem) zestaloną żelatyną lub agarem. Na dwóch z nich odciśnij dłoń nieumytą, a na kolejnych dwóch – umytą trzykrotnie mydłem i ciepłą wodą. Odłóż szalki w ciepłe miejsce na 2–3 dni. Po upływie tego czasu porównaj ilość mikroorganizmów na obu szalkach, a następnie je zutylizuj.

Wynik: Przedstaw wynik w postaci notatki w zeszycie i dołącz dokumentację fotograficzną.

Wnioski: Sformułuj wniosek.

11. Wymiana gazowa i krążenie

Obserwacja 1.

Obserwacja mechanizmu pracy płuc

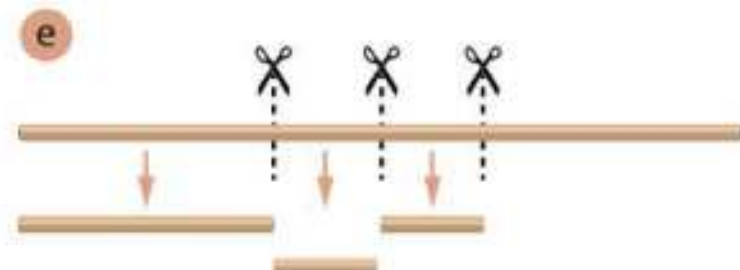
Instrukcja: Wykonaj model klatki piersiowej. W tym celu przygotuj plastikową butelkę typu PET, nożyczki, balon, 2 słomki lub cienkie plastikowe rurki, 2 gumki, plaster oraz ciekłą gumową rękawiczkę. Następnie przetnij butelkę w połowie wysokości, brzozy oklej plastrem, aby zabezpieczyć się przed skałeczeniem przez ostre krawędzie butelki (a).

W nakrętce butelki wytnij okrągły otwór, w którym umieścisz dopasowaną słomkę (b).

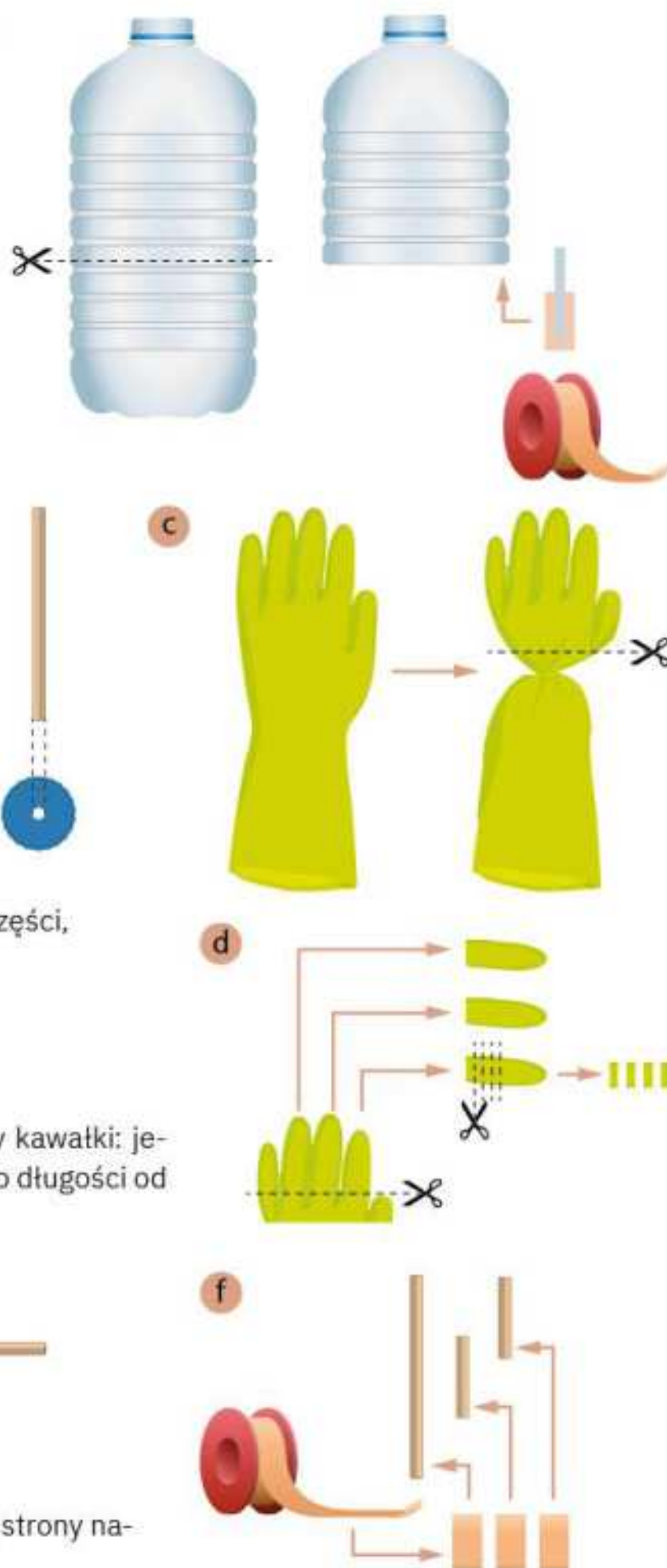
Rozłóż gumową rękawiczkę i najbliżej linii palców zawiąż ciasny supeł (c).

Z górnej części rękawiczki wytnij palce. Jeden z nich przetnij na cztery jednakowej wielkości części, które będą stanowiły gumki (d).

Z plastikowej słomki lub rurki wytnij trzy kawałki: jeden o długości obciętej butelki oraz dwa o długości od 3 do 5 cm (e).



Na każdy koniec rurki lub słomki z jednej strony nałej 5-centymetrowy pasek plastra (f).

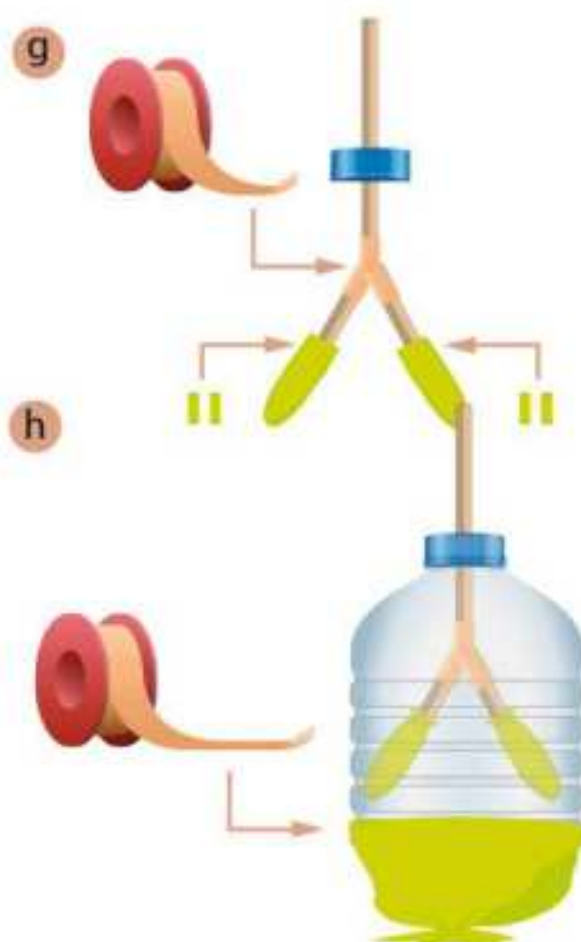


Połącz rurki miejscami owiniętymi plastrem. Owiń miejsce połączenia plastrem, aby zapewnić szczelność. Na krótkie końce nałóż palce, uszczelniając je dwukrotnie gumkami, a na dłuższy koniec rurki – nakrętkę butelki (g).

Tak przygotowane płuca włóż przez szyjkę do butelki. Na drugi koniec butelki nałóż rękawicę z suptem i uszczelnij plastrem (h).

Pociągnij za rękawiczkę, a następnie ją puść. Obserwuj balony znajdujące się w środku butelki.

Podsumowanie: Pociągnięcie rękawiczki obrazuje wdech, podczas którego płuca się wypełniają powietrzem, a opuszczenie rękawiczki obrazuje wydech i wypchnięcie powietrza z płuc.



Obserwacja 2.

Porównanie obwodu klatki piersiowej podczas wdechu i wydechu.

Instrukcja: Za pomocą centymetra krawieckiego zmierz na tej samej wysokości obwód klatki piersiowej po zaczerpnięciu powietrza do płuc i po wydechu dla 10 osób w klasie.

Wyniki: Zapisz różnice i wyciągnij wnioski.

Podsumowanie: Podczas wdechu następuje rozciągnięcie się klatki piersiowej we wszystkich kierunkach, co prowadzi do zwiększenia objętości płuc, a podczas wydechu sprężysta klatka piersiowa i płuca powracają do pierwotnych rozmiarów.

Eksperyment 1.

Badanie pojemności oddechowej

Problem badawczy: Jaka jest pojemność oddechowa uczniów?

Hipoteza: Każdy ma taką samą pojemność płuc.

Instrukcja: Do doświadczenia wykorzystaj duże płaskie naczynie, rurkę akwariową, plastikowy przezroczysty kanister, taśmę papierową oraz długopis. Doświadczenie przeprowadzamy wśród uczniów całej klasy w takim samym stanie fizjologicznym – każdy jest zdrowy i nie uczestniczył w zajęciach wychowania fizycznego lub nie wykonywał innego wysiłku fizycznego.

Na kanister należy nakleić pasek taśmy papierowej, a następnie napełnić wodą i zakręcić nakrętkę. Do płaskiego naczynia wlewamy do połowy wodę. Kanister umieszczamy szyjką w dół w pojemniku z wodą, po czym odkręcamy nakrętkę, tak aby do jego wnętrza nie dostały się pęcherzyki powietrza. W szyjce kanistra umieszczamy jeden z końców rurki, a przez drugi

łagodnie wdychamy powietrze. Zaznaczamy na taśmie poziom wody w kanistrze. Następnie uzupełniamy wodę w kanistrze i wkładamy go do płaskiego naczynia. Bierzymy głęboki wdech i staramy się usunąć powietrze z płuc przez rurkę. Zaznaczamy na taśmie poziom wody.

Wyniki: Dla każdego ucznia uczestniczącego w doświadczeniu określamy w decymetrach pojemność oddechową.

Podsumowanie: Kiedy uczeń wydycha powietrze, poziom wody opada, wskazując jego maksymalną pojemność płuc.

Eksperyment 2.

Wpływ wysiłku fizycznego na oddech człowieka

Problem badawczy: Wpływ wysiłku fizycznego na oddech człowieka.

Hipoteza: Po wysiłku fizycznym oddech człowieka jest szybki.

Próba badawcza: Pięciu uczniów siedzi na krzesłach. Każdemu z nich mierzymy liczbę wdechów w ciągu 20 sekund za pomocą stopera. Pomiar powtarzamy po upływie 5 minut. Następnie uczniowie przez 2 minuty wykonują spokojne przysiady. Każdemu z nich mierzymy liczbę wdechów w ciągu 20 sekund za pomocą stopera. Pomiar powtarzamy po upływie 5 minut. Wynik każdego ucznia mnożymy przez 3, co daje średnią liczbę oddechów na minutę.

Próba kontrolna: Pięciu uczniów siedzi na krzesłach. Każdemu z nich mierzymy liczbę wdechów w ciągu 20 sekund za pomocą stopera. Pomiar powtarzamy po upływie 5 minut. Wynik każdego ucznia mnożymy przez 3, co daje średnią liczbę oddechów na minutę.

Próby kontrolna i badawcza są przeprowadzane w takich samych warunkach pomieszczenia, a uczniowie są tak samo ubrani.

Wyniki prób kontrolnej i badawczej dla każdego ucznia zapisujemy w tabeli i na ich podstawie sporządzamy porównanie w postaci wykresów słupkowych.

Posumowanie: W trakcie wysiłku fizycznego organizm zwiększa swoje zapotrzebowanie na tlen, przez co wzmacnia się proces wentylacji płuc, oddech przyspiesza i staje się głębszy.

12. Budowa układu krwionośnego

Obserwacja 1.

Obserwacja budowy serca człowieka

Instrukcja: Na podstawie modelu anatomicznego serca wskaż następujące elementy budowy: przedsionki, komory, zastawki, żyły i tętnice. Dokonaj obserwacji budowy serc innych kręgowców, np. kury, indyka czy świni, zakupionych w sklepie mięsnym. Przedstaw ich podobieństwa i różnice z sercem ludzkim pod względem budowy.

Podsumowanie: Największe podobieństwo anatomiczne do serca ludzkiego ma serce świni.





Obserwacja 2.

Akustyka serca

Instrukcja: Za pomocą stetoskopu wysłuchaj tonów serca swojego kolegi.

Wyniki: Na podstawie wysłuchanej akustyki serca opisz jego pracę.



Eksperyment

Badanie wpływu wysiłku fizycznego na pracę serca

Problem badawczy: Badanie wpływu wysiłku fizycznego na pracę serca.

Hipoteza badawcza: Wysiłek fizyczny powoduje przyspieszoną pracę serca.

Próba badawcza: Dokonaj pomiaru tętna 10 uczniom po wykonaniu wysiłku fizycznego, np. po zrobieniu 20 przysiadów. Pomiar wykonujemy każdej osobie, uciskając czubkami dwóch palców (bez udziału kciuka) tętnicę ramienną lub promieniową przez 15 sekund, a następnie przeliczamy liczbę uderzeń na minutę. Zmierz tętno przed rozpoczęciem ćwiczenia, bezpośrednio po jego wykonaniu oraz po 1, 2, 3 minutach od jego zakończenia. Przedstaw wyniki w postaci tabeli.

Próba kontrolna: Dokonaj pomiaru tętna 10 uczniom w spoczynku (np. uczniowie siedzą na krzesłach). Pomiar wykonujemy każdej osobie, uciskając czubkami dwóch palców (bez udziału kciuka) tętnicę ramienną lub promieniową przez 15 sekund, a następnie przeliczamy liczbę uderzeń na minutę. Zmierz tętno i przedstaw wyniki w tabeli.

Podsumowanie: Po wysiłku (wykonaniu przysiadów) liczba uderzeń na minutę mięśnia sercowego wzrosła w porównaniu z wynikiem pomiaru wykonanego podczas spoczynku.

13. Osmoregulacja i wydalanie



Obserwacja

Poznanie budowy anatomicznej nerki

Instrukcja: Do obserwacji wykorzystaj nerkę świni kupioną w sklepie mięsnym. Umieść nerkę na tacy styropianowej, a następnie za pomocą noża (skalpela) przetnij na pół wzdłuż jej dłuższej osi.

Wyniki: Na podstawie atlasu anatomicznego lub podręcznika rozpoznaj następujące struktury: korę nerki, rdzeń nerki, piramidy nerkowe, kielichy nerkowe, miedniczkę nerkową. Narysuj schemat nerki i zaznacz rozpoznane struktury.



Podsumowanie: Nerka kształtem przypomina ziarno fasoli. Na przekroju widoczny jest silnie ukrwiony miąższ zróżnicowany na jaśniejszą korę nerki oraz ciemniejszy rdzeń.

14. Budowa i funkcje układu hormonalnego

Obserwacja



Obserwacja mikroskopowa trwałych preparatów histologicznych gruczołów dokrewnych

Instrukcja: Przygotuj dostępne w pracowni biologicznej trwałe preparaty obrazujące gruczoły hormonalne zdrowe i zmienione chorobowo (np. nadnercza, trzustka, tarczyca zdrowa i wykazująca nadczynność, przysadka). Przeprowadź obserwację mikroskopową.

Wyniki: Wskaż najważniejsze cechy budowy gruczołów. Porównaj zdrowe tkanki ze zmienionymi chorobowo i wskaż najważniejsze różnice między nimi.

16. Regulacja nerwowa i budowa układu nerwowego

Eksperyment



Reakcja bezkręgowców na bodźce chemiczne i mechaniczne

Problem badawczy: Reakcja bezkręgowców na bodźce chemiczne i mechaniczne.

Hipoteza badawcza: Ślimak winniczek i dżdżownica reagują zarówno na bodźce chemiczne, jak i mechaniczne.

Próba badawcza: Żywe okazy dżdżownicy i ślimaka winniczka z hodowli szkolnej położyć na tacy styropianowej i dotykać kolejno pałeczką nasączoną roztworem sacharozy, a następnie delikatnie igłą preparacyjną. Zanotuj obserwacje i sformułuj wniosek.

Próba kontrolna: Żywy okaz dżdżownicy i ślimaka winniczka z hodowli szkolnej położyć na tacy styropianowej i obserwuj. Zanotuj obserwacje i sformułuj wniosek.

Podsumowanie: Ślimak winniczek i dżdżownica odróżniają bodźce pozytywne (roztwór glukozy) od negatywnych (drażnienie igłą preparacyjną).



Obserwacja

Obserwacja odruchów bezwarunkowych

Instrukcja: Usiądź naprzeciwko kolegi i patrz mu prosto w oczy. Następnie szybko machaj ręką przed jego oczami.

Usiądź naprzeciwko kolegi i kartką papieru dotykaj jego nozdrzy.

Usiądź naprzeciwko kolegi i oświetlaj światłem latarki jego oczy.

Usiądź na krześle i załóż nogę na nogę. Poproś kolegę, aby lekko uderzył kantem dłoni pod twoim kolaniem.

Wyniki: Zapisz swoją reakcję.

Podsumowanie: Odruchy mrugania, kichania, źreniczny i kolanowy są odruchami bezwarunkowymi. Są to odruchy wrodzone przekazywane dziedzicznie, niezmiennie w ciągu życia.

17. Narządy zmysłów



Eksperyment

Badanie zmysłu smaku

Problem badawczy: Jakie narządy zmysłu biorą udział w powstawaniu wrażeń smakowych?

Hipoteza: Zmysły smaku i węchu współpracują ze sobą podczas powstawania wrażeń smakowych.

Próba badawcza 1: Na wykałaczki nadziej drobne kawałki jabłka, gruszki, awokado, kiwi i marchewki. Następnie badanej osobie zasłoń oczy chustą i podaj do zjedzenia przygotowane owoce i warzywa. Poproś o rozpoznanie pokarmów.

Próba badawcza 2: Na wykałaczki nadziej drobne kawałki jabłka, gruszki, awokado, kiwi i marchewki. Następnie badanej osobie zatkać nos (wacikami kosmetycznymi) i podaj w innej kolejności niż w próbie 1 do zjedzenia przygotowane owoce i warzywa. Poproś o rozpoznanie pokarmów.

Próba kontrolna: Na wykałaczki nadziej drobne kawałki jabłka, gruszki, awokado, kiwi i marchewki. Następnie badanej osobie podaj do zjedzenia przygotowane owoce i warzywa.

Podsumowanie: Współdziałanie zmysłu smaku i węchu ułatwia odczuwanie smaków spożywanych pokarmów.

Obserwacja 1.

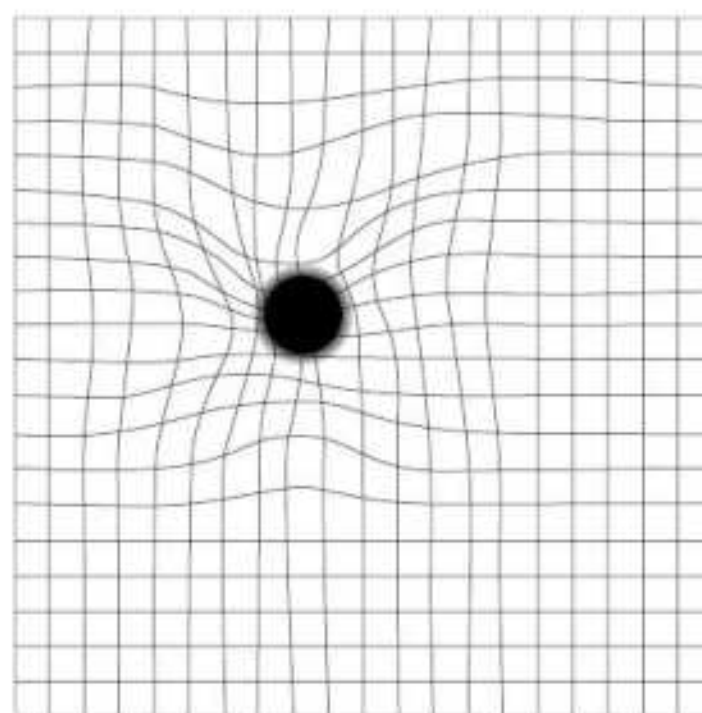
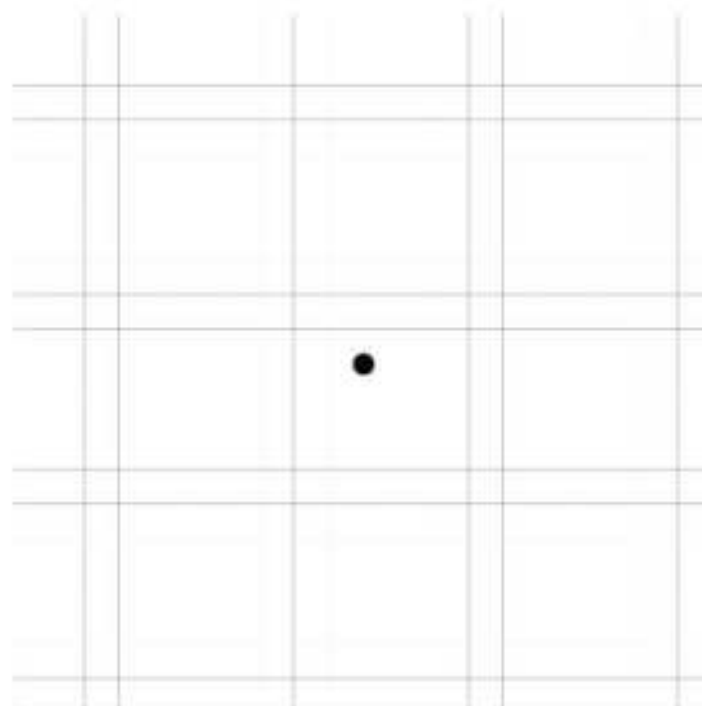
Ocena plamki żółtej

Wprowadzenie: Test Amslera wykonuje się w celu zdiagnozowania zwyrodnienia plamki żółtej (AMD). Do tego celu służy siatka Amslera – kwadrat o wymiarach 10 na 10 cm. Czarne lub białe linie dzielą go na mniejsze kwadraty o bokach 5 mm, które z odległości „do czytania” (30–40 cm) odpowiadają kątowi widzenia 1°. W centrum siatki znajduje się punkt, na który należy skierować wzrok. Test umożliwia ocenę czynności centralnej części siatkówki (plamki).

Instrukcja: 1. Jeśli używasz okularów do czytania, załóż je. 2. Zasłoń dłońią jedno oko. 3. Umieść test w odległości ok. 30 cm od badanego, niezastłoniętego oka. 4. Skoncentruj wzrok na czarnym punkcie w środku białych kwadratów. 5. Przyjrzyj się, czy wszystkie linie w siatce są proste i czy kwadraty mają taki sam rozmiar. 6. Wykonaj test dla drugiego oka.

Wyniki: Wykonaj test według instrukcji.

Podsumowanie: Widok linii zakrzywionych, falujących lub w jakimkolwiek inny sposób zdeformowanych wskazuje na zwyrodnienie plamki żółtej.



Obserwacja 2.

Funkcjonowanie zmysłu równowagi

Instrukcja: Na obrotowym fotelu posadź kolegę tak, aby trzymał nogi w powietrzu. Zakręć fotelem od trzech do pięciu razy wokół osi, a następnie gwałtownie go zatrzymaj.

Wyniki: Obserwuj ruch, jaki wykonał kolega po zatrzymaniu fotela i jak zachowywały się jego gałki oczne. Poproś go o opisanie doznanych odczuć.

Podsumowanie: Bodźce dotykowe płynące do receptorów stóp pozwalają na utrzymanie równowagi. Kiedy ich rola spada, coraz większą funkcję w utrzymaniu równowagi spełniają bodźce wzrokowe.



Obserwacja 3.

Rola ucha zewnętrznego w odbieraniu dźwięków

Instrukcja: Poproś kolegę, aby stanął w odległości około 1,5 m od ciebie. Następnie niech założy dłonie za uszami i słucha wypowiedzanego szeptem przez ciebie zdania. Potem stara się powtórzyć usłyszane zdanie. Ćwiczenie powtórz z tą różnicą, że kolega przyciska małżowiny uszne palcami wskazującymi do głowy.

Wyniki: Porównaj słyszalność zdania w obu przypadkach. Wyciągnij wnioski.

Podsumowanie: Małżowina uszna wychwytywa fale akustyczne i kieruje je do zewnętrznego przewodu słuchowego.

18. Poruszanie się



Obserwacja 1.

Zapoznanie się z budową kości długiej

Instrukcja: Do obserwacji wykorzystaj kość długą ugotowanego (upieczonego) kurczaka, nóż oraz lupę.

Wyniki: Wskaż nasadę i trzon kości, a następnie nożem przekrój te struktury. Oceń ich twardość. Za pomocą lupy oceń różnice w strukturze trzonu i nasady kości.

Podsumowanie: Trzon i nasada kości różnią się twardością. Nasady kości długiej są zbudowane z tkanki kostnej gąbczastej, a trzon – z tkanki kostnej zbitiej.



Obserwacja 2.

Naturalne krzywizny kręgosłupa

Instrukcja: Do obserwacji zaproś kolegę z klasy. Ustaw go na środku sali profilem do pozostałych uczniów.

Wyniki: Wskaż na jego kręgosłupie naturalne krzywizny: lordozy i kifozy. Określ odcinki kręgosłupa, w których występują krzywizny. Narysuj w zeszycie schemat rozmieszczenia naturalnych krzywizn w kręgosłupie.

Podsumowanie: Prawidłowo zbudowany kręgosłup widziany z boku przypomina kształtem literę S. Wśród naturalnych krzywizn wyróżniamy wygięcie w stronę brzuszną – lordozę – oraz wygięcie w stronę grzbietową – kifozę.



Obserwacja 3.

Ustalenie rodzaju stawu na podstawie zakresu jego ruchów

Instrukcja: Do obserwacji wybierz cztery osoby z klasy. Każda z nich będzie wykonywała wszystkie możliwe ruchy, na jakie pozwala staw. Pierwsza osoba wykonuje ruchy w stawie między kośćmi palców, druga – w stawie między ramieniem a tułowiem, trzecia – w stawie między udem a podudziem, a czwarta – w stawie między udem a tułowiem.

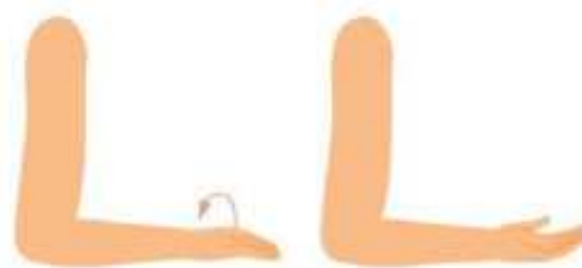
Wyniki: Zapisz wynik obserwacji.

Podsumowanie: Poszczególne stawy różnią się funkcjami biologicznymi, w związku z tym mają inną budowę i ruchomość. Na wykonanie ruchów we wszystkich płaszczyznach pozwalają stawy wieloosiowe.

Obserwacja 4.

Określanie wzajemnego położenia kości przedramienia

Instrukcja: Wyciągnij prawą rękę przed siebie tak, aby dłoń była zwrócona do dołu. Następnie połóż lewą rękę na przedramieniu w połowie jej długości. Dotknij kości przedramienia i określ ich położenie. Zmień ustawienie prawej ręki – zwróć ją dłonią do góry. Ponownie dotknij kości przedramienia i sprawdź ich położenie względem siebie.



Wyniki: Narysuj schemat ręki z kośćmi przedramienia i dłonią w obu obserwowanych pozycjach.

Podsumowanie: Gdy dłoń człowieka jest skierowana do przodu, kości przedramienia są położone względem siebie równolegle. Obrócenie ręki powoduje skrzyżowanie kości przedramienia.

Obserwacja 5.

Pomiar grubości mięśni szkieletowych

Instrukcja: Poproś kolegę w ławce, aby wyprostował kończynę górną. W najgrubszym miejscu zmierz obwód ramienia w centymetrach. Następnie zmierz w tym samym miejscu obwód zgiętego ramienia.

Wyniki: Porównaj wyniki i wyjaśnij różnice.

Podsumowanie: Siła działania mięśnia szkieletowego zależy między innymi od jego grubości.





Eksperyment

Związki mineralne i organiczne w kościach

Problem badawczy: Jakie właściwości nadają kościom związki mineralne i organiczne?

Hipoteza: Związki mineralne nadają kościom twardość, a organiczne – elastyczność.

Próba badawcza 1: Kość z kurczaka zanurz w słoiku z octem spirytusowym o stężeniu 10%. Zakręć słoik i pozostaw na co najmniej trzy dni.

Próba badawcza 2: Kość z kurczaka umieść, trzymając szczypcami, nad płomieniem palnika, tak aby zaczęła się palić.

Podsumowanie: Kość zanurzona w occie stała się elastyczna, ponieważ ocet wypłukał związki mineralne, które nadają kości twardość. Kość poddana działaniu wysokiej temperatury stała się krucha, ponieważ ogień wypalił związki organiczne, które nadają jej elastyczność.

19. Skóra



Obserwacja 1.

Obserwacja mikroskopowa trwałych preparatów przedstawiających budowę skóry

Przygotuj dostępne w pracowni biologicznej trwałe preparaty prezentujące budowę ludzkiej skóry (np. przekrój pionowy skóry dłoni i skóry głowy, budowa włosa ludzkiego, gruczołów potowych, sutkowych). Przeprowadź obserwację mikroskopową. Wskaż cechy charakterystyczne budowy struktur obserwowanych na preparatach i opisz ich powiązanie z wykonywaną funkcją.



Obserwacja 2.

Wydzielanie przez skórę wody

Instrukcja: Do przeprowadzenia obserwacji przygotuj foliowy, suchy worek i cienki sznurek. Włóż rękę do worka i poproś kolegę, aby zawiązał sznurkiem worek na wysokości nadgarstka, tak aby nie dochodziło do niego powietrze.

Wyniki: Przez 10 minut obserwuj wewnętrzne ściany worka.

Podsumowanie: Wewnętrzna ściana worka foliowego pokryła się kroplami cieczy. Cieczą jest para wodna – produkt przemiany materii, w wydalaniu którego bierze udział skóra.

Eksperyment



Linie papilarne człowieka

Wykonanie: Na poduszkę do stempli wlej ciemny tusz. Uciśnij poduszkę dość mocno palcem wskazującym i następnie odciśnij go na białej kartce papieru. Poproś kolegów i koleżanki, aby wykonali swój odcisk palca obok twojego. Opisz inicjałami, do kogo należy każdy z odcisków. Porównaj uzyskane obrazy.

Wyniki: Sporządź notatkę wraz z dokumentacją fotograficzną w zeszycie.

Wnioski: Sformułuj wnioski.

20. Układ rozrodczy męski

Obserwacja



Obserwacja mikroskopowa rozmazu spermy oraz przekroju nasieniowodu

Instrukcja: Przygotuj trwałe preparaty z rozmazem spermy oraz przekrój nasieniowodu. Przeprowadź obserwację mikroskopową.

Wyniki: Wskaż cechy charakterystyczne budowy struktur obserwowanych na preparatach i narysuj w zeszycie schematyczny rysunek obrazu widzianego pod mikroskopem. Omów powiązanie cech budowy plemnika z jego funkcją.

21. Budowa i funkcjonowanie żeńskiego układu rozrodczego. Gametogeneza

Obserwacja



Obserwacja mikroskopowa wycinka jajnika oraz łożyska

Instrukcja: Przygotuj trwałe preparaty mikroskopowe: jajnika z widocznym ciałkiem żółtym oraz łożyska. Przeprowadź obserwację mikroskopową.

Wyniki: Wskaż cechy charakterystyczne budowy struktur obserwowanych na preparatach i narysuj w zeszycie schematyczny rysunek obrazu widzianego pod mikroskopem. Omów powiązanie cech budowy obserwowanych struktur z ich funkcją.

24. Wzrost i starzenie się człowieka



Obserwacja

Obserwacja etapów rozwoju postnatalnego członków mojej najbliższej rodziny

Instrukcja: Na podstawie swojej wiedzy oraz wywiadu z członkami rodziny przyporządkuj im określony etap rozwoju postnatalnego.

Wyniki: Sporządź w zeszycie tabelę przedstawiającą uzyskany przez ciebie podział. Dla każdej osoby określ cechy, które zdecydowały o dopasowaniu jej do danego etapu.

II. Ekspresja informacji genetycznej

1. DNA jako materiał genetyczny



Eksperyment

Izolacja DNA z banana

Instrukcja: Do zlewki zawierającej 100 ml wody dodaj 5 g chlorku sodu (NaCl) oraz 15 ml detergentu (płyn do mycia naczyń) i ostrożnie wymieszaj. Mieszaninę wlej do pojemnika blendera kuchennego i dodaj jeden duży banan pokrojony na plasterki. Pojemnik włóż na 10 minut do kąpieli wodnej (pojemnik z ciepłą wodą, ok. 60°C). Następnie pojemnik przetóż do miski z zimną wodą na 5 minut. Zmiksuj zawartość w pojemniku (ok. 5–10 s). Uzyskaną mieszaninę przefiltruj przez papierowy filtr do probówki. Następnie dodaj szczyptę soli do zmiękczenia mięsa (do kupienia w sklepach spożywczych). Do mieszaniny wlewaj ostrożnie po ścianie schłodzony wcześniej alkohol etylowy (ok. 5 ml), tak aby utworzyły się dwie oddzielne warstwy. Po kilku minutach obserwuj wydzielanie się nitkowatego DNA w górnej, alkoholowej warstwie mieszaniny.

Wyniki: Opisz wynik doświadczenia w formie notatki w zeszycie i dołącz zdjęcie wyizolowanego DNA.

Wnioski: Sformułuj wniosek. Wyjaśnij udział poszczególnych odczynników użytych w procedurze do izolacji DNA.

IV. Zmienność organizmów

1. Zmienność organizmów i jej przyczyny

Obserwacja

Rozkład wzrostu ciała uczniów w klasie

Instrukcja: Obserwacje przeprowadź wśród koleżanek i kolegów w swojej klasie. Przygotuj metrówkę, długopis i kartki papieru do zapisywania danych. Zmierz za pomocą metrówki wzrost wszystkich osób w klasie i zapisz. Podziel wyniki na klasy wzrostu co 2 cm, zaczynając od najmniejszego wyniku, a kończąc na największym.

Wyniki: Przedstaw dane w postaci wykresu, zaznaczając na osi odciętych wzrost (w cm), a na osi rzędnych liczbę osób w poszczególnych klasach wzrostu.

Podsumowanie: Pomiar wysokości ciała wskazuje na największą liczbę osób o średnim wzroście.

V. Biotechnologia

1. Biotechnologia tradycyjna

Eksperyment 1.

Biotechnologiczne wykorzystanie enzymów do produkcji soków owocowych

Wprowadzenie: Za zmętnienie świeżo wyciśniętego soku odpowiadają m.in. pektyny, białka, skrobia czy garbniki. Związki te z czasem sedymentują (cząstki stałe rozproszone w cieczy opadają), co prowadzi do rozwarstwiania się napoju. Aby sok pozostawał jednorodnym układem, przeprowadza się proces zwany klarowaniem. Polega on na rozkładzie pektyn do mniejszych związków przez enzymy izolowane z roślin lub grzybów.

Instrukcja: 200 ml świeżo wyciśniętego soku z pomarańczy rozlej równo do dwóch zlewek. Do jednej z nich dodaj 5 g pektynazy, którą można nabyć w aptece w postaci preparatu wieloenzymatycznego lub w sklepach z surowcami piwowarskimi w postaci roztworu. Roztwory w obu zlewkach zamieszaj i odstaw na mniej więcej 12 godzin.

Wyniki: Sporządź notatkę dotyczącą wyników eksperymentu.

Wnioski: Sformułuj wniosek.





Eksperyment 2.

Fermentacja alkoholowa

Wprowadzenie: Fermentacja alkoholowa jest szeroko wykorzystywana w wielu obszarach biotechnologii, m.in. w przetwórstwie żywności. Fermentację alkoholową przeprowadzają na przykład drożdże rozkładające cukry proste zawarte w owocach (np. w winogronach) – najpierw do aldehydu octowego, a następnie do alkoholu etylowego. W trakcie tego procesu wydzielą się dwutlenek węgla.

Instrukcja: Pół litra nektaru z czarnych porzeczek lub soku z winogron umieść w kolbie i dodaj szklankę wody, 3 łyżki cukru oraz świeże drożdże. Wylot kolby zatkaj korkiem z waty i gazy. Zważ tak przygotowaną kolbę, a następnie odstaw ją na tydzień w ciepłe miejsce. Przez ten okres obserwuj wygląd mieszaniny, a po jego upływie ponownie zważ kolbę.

Wyniki: Porównaj masę kolby w dniu rozpoczęcia doświadczenia i po upływie tygodnia. Opisz, jakie zjawiska zachodziły w kolbie w trakcie doświadczenia. Sporządź notatkę w zeszycie.

Wnioski: Sformułuj wnioski. Wyjaśnij, dlaczego masy kolby przed doświadczeniem i po nim się różnią.



Eksperyment 3.

Fermentacja mleczanowa

Wprowadzenie: Fermentację mleczanową przeprowadzają bakterie mlekowe. Proces ten znalazł szerokie zastosowanie w przemyśle spożywczym, np. w produkcji jogurtów, kefirów, serów, a także jest używany w czasie kiszenia (np. ogórków). W czasie fermentacji mlekowej powstaje kwas mlekowy, który działa jak naturalny konserwant, a zmiany pH powodowane przez niego stwarzają odpowiednie warunki do rozwoju właściwych bakterii fermentacji mlekowej.

Instrukcja: W dwóch zlewkach umieść po 0,5 l tłustego mleka (3,2–3,8%) podgrzanego do 40°C. Do jednej z nich dodaj kultury bakterii mlekowych w postaci startera (bakterie kwasu mlekowego dostępne w postaci saszetek). Po wymieszaniu zlewki przechowuj w temperaturze około 30°C przez 12 godzin. Po tym czasie porównaj wygląd mleka (m.in. kolor, konsystencję i zapach) w obu zlewkach. Za pomocą papierka lakmusowego zmierz pH mleka w obu naczyniach.

Wyniki: Przerysuj tabelę do zeszytu i ją uzupełnij.

Cecha	Kolba bez bakterii kwasu mlekowego	Kolba z bakteriami kwasu mlekowego
kolor		
zapach		
konsystencja		
pH		

Wnioski: Sformułuj wniosek.

2. Biotechnologia nowoczesna i inżynieria genetyczna

Eksperyment

Bioinformatyka kluczowym narzędziem nowoczesnej biotechnologii

Wprowadzenie: Bioinformatyka to interdyscyplinarna dziedzina nauki, która stosuje metody i narzędzia informatyczne do analizy problemów nauk przyrodniczych, m.in. jest stosowana w badaniach struktury i funkcji genów, genomów i białek. Dzięki narzędziom bioinformatycznym można modelować procesy czy budowę makrocząsteczek.

Instrukcja: Korzystając ze strony internetowej <https://swissmodel.expasy.org/>, uzyskaj model białka. Kliknij przycisk: *start modelling*, wpisz kod P01308 odpowiadający ludzkiej insulinie i kliknij: *build model*. Przyjrzyj się odszukanej strukturze w okienku po prawej stronie. Kliknij model i przytrzymując lewy przycisk myszy, obracaj modelem, żeby zobaczyć go z każdej strony. W ten sam sposób można wymodelować inne białka o znanej strukturze pierwszorzędowej (np. KRQNALLEQQVRALKRQNALLEQQVRALKRQNALLEQQVRALKRQNALLEQQVRAL) lub przewidzieć kształt nieznanego białka.

Wyniki: Sporządź notatkę w zeszycie.

Wnioski: Sformułuj wnioski i wyjaśnij znaczenie narzędzi bioinformatycznych w rozwoju biologii molekularnej i biotechnologii.

6. Mikroorganizmy genetycznie zmodyfikowane

Eksperyment

Bioremediacja środowiskowa

Wprowadzenie: Woda w zbiornikach wodnych zawiera mikroorganizmy, które rozkładają zawartą w niej materię organiczną i są podstawą tzw. procesu samooczyszczania się wód. Specjalnie wyselekcjonowane szczepy bakterii wykorzystuje się do usuwania tłuszczów czy związków ropopochodnych (m.in. po awariach tankowców).

Instrukcja: W trzech kolbach umieść po 700 ml: 1) wody wodociągowej, 2) wody ze stawu lub jeziora, 3) wody wodociągowej z dodatkiem łyżki preparatu do oczyszczalni szambowych dostępnego w postaci saszetek. Do każdego słoika dodaj 10 ml zużytego oleju spożywczego i zamieszaj. Odstaw kolby na mniej więcej 2 tygodnie. Po tym czasie porównaj zawartość kolb.

Wyniki: Opisz w zeszycie przebieg i wynik doświadczenia.

Wnioski: Sformułuj wnioski.

7. Modyfikacje genetyczne roślin



Eksperyment

Tworzywa biodegradowalne

Wprowadzenie: Styropianowe wypełniacze do pakowania wytwarza się z polistyrenu, a skrobiowe (tzw. orzeszki piankowe) – ze skrobi sorgo lub kukurydzianej. Wypełniacze pochodzenia roślinnego są biodegradowalne, nietoksyczne i rozpadają się w wodzie. Ich pochodzenie można wykazać za pomocą reakcji z płynem Lugola.

Instrukcja: Do doświadczenia użyj dwóch rodzajów wypełniaczy do pakowania: styropianowych i biodegradowalnych. Kawałki tych produktów umieść na szkiełku zegarkowym, zwilż wodą i nanieś na ich powierzchnię po kilka kropel płynu Lugola. Zaobserwuj zmianę zabarwienia wypełniaczy.

Wyniki: Sporządź notatkę w zeszycie.

Wnioski: Sformułuj wnioski.

12. Szanse i zagrożenia związane z biotechnologią i inżynierią genetyczną



Obserwacja

Badanie ankietowe: Szanse i zagrożenia związane z biotechnologią

Przeprowadzenie badania: Na podstawie informacji zawartych w podręczniku oraz swojej wiedzy opracuj pytania ankietowe dotyczące zagadnień związanych z bezpieczeństwem biotechnologii. Uwzględnij takie zagadnienia, jak: dostępność produktów GMO, działania inżynierii genetycznej w różnych obszarach gospodarki, uprawa roślin GM itp. Ankietę przeprowadź wśród członków swojej rodziny oraz znajomych.

Wyniki: Przeanalizuj wyniki i zaprezentuj je w formie tabeli oraz notatki w zeszycie.

Wnioski: Sformułuj podstawowe wnioski.

Słowniczek trudniejszych pojęć

Aberracja chromosomowa – zmiana liczby lub struktury chromosomów powstająca spontanicznie lub pod wpływem czynników mutagennych (np. promieniowania jonizującego).

Akromegalia – choroba dorosłych wywołana nadmiernym wydzielaniem hormonu wzrostu; objawia się rozrostem wielu tkanek, m.in. w obrębie: stóp, żuchwy, języka, serca, oraz chorobami towarzyszącymi (np. nadciśnieniem, cukrzycą).

Antybiotyk – naturalne związki produkowane przez mikroorganizmy (np. grzyby, bakterie), które w niskich stężeniach hamują wzrost i podziały innych mikroorganizmów.

Antagonista – substancja (np. hormon, lek), której działanie jest przeciwne do innej substancji.

Antyoksydanty – związki, które w małych stężeniach zapobiegają utlenianiu substancji, np. witamina C czy E.

Autoimmunizacja – odpowiedź odpornościowa układu immunologicznego organizmu, w której powstają nieprawidłowe, skierowane przeciw własnym tkankom limfocyty T lub przeciwciała. Może to prowadzić do poważnych chorób (chorób autoimmunizacyjnych, autoagresji).

Badania przesiewowe – profilaktyczne badanie wykonywane w celu wytypowania grupy osób o podwyższonym ryzyku zachorowania na określone choroby w celu ich wczesnego wykrycia i leczenia, co zapobiega poważnym następstwom tej choroby w przyszłości.

Białaczka – grupa nowotworów, związana z nieprawidłowościami w układzie krwiotwórczym.

Billirubina – barwnik żółciowy, który pochodzi z rozpadu czerwonych krwinek.

Biodostępność – dostępność biologiczna; ilość substancji lub składnika aktywnego, jaka z danej dawki dostaje się do obiegu komórkowego, oraz szybkość wchłaniania tej substancji.

Biopsja – rodzaj zabiegu diagnostycznego polegającego na pobraniu materiału biologicznego z tkanek podejrzewanych o zmiany chorobowe w celu jego analizy.

Chemioterapia – jeden ze sposobów leczenia nowotworów, w którym podaje się choremu leki o toksycznym działaniu na komórki nowotworowe (cytostatyki). Zadaniem tych leków jest niszczenie komórek nowotworowych.

Demineralizacja – proces obniżania zawartości substancji mineralnych w tkance, najczęściej fosforu i wapnia; demineralizacja może prowadzić do poważnych chorób, m.in. osteoporozy.

Demografia – dziedzina nauki zajmująca się badaniem społeczeństwa w kontekście przyrostu naturalnego, migracji, struktury społecznej (wiek, płeć, przynależność zawodowa, narodowość, wyznanie) oraz rozmieszczenia przestrzennego.

Determinować – wpływać w decydujący sposób na daną cechę lub zjawisko, np. płeć człowieka jest determinowana przez dwa chromosomy: chromosom X warunkuje płeć żeńską, a chromosom Y – płeć męską.

Drugorzędowe cechy płciowe – zespół cech, które różnią kobietę i mężczyznę; rozwijają się pod wpływem hormonów płciowych i dotyczą m.in. różnic w proporcjach sylwetki, barwy głosu, owłosienia.

Dyfuzja – proces samoistnego mieszania się cząsteczek w ośrodku; zachodzi pod wpływem ruchów cieplnych lub dążenia do wyrównania stężeń.

Etniczna grupa – grupa ludzi, którą charakteryzuje zespół wspólnych cech: społecznych, kulturowych, narodowych oraz historycznych.

Eugenika – zbiór poglądów i metod, których celem jest doskonalenie gatunku ludzkiego w sferze biologii (poprawa cech dziedzicznych gatunku i ograniczenie cech ujemnych) oraz cech psychicznych (np. zdolności).

Farmakoterapia – sposób leczenia chorób przy użyciu leków w celu zwalczania choroby lub jej objawów.

Fotoreceptor – białka lub komórki pochłaniające światło i uruchamiające określoną reakcję fizjologiczną w organizmie, np. czopki i pręciki występujące w siatkówce oka.

Gluten – mieszanina białek roślinnych występujących w zbożach: pszenicy, życie, jęczmieniu i owsie; nadwrażliwość na gluten jest przyczyną problemów zdrowotnych.

Herceptyna – lek będący przeciwciałem, stosowany w leczeniu raka sutka z przerzutami, przy którym stwierdzono wysoką aktywność białka błonowego o nazwie HER2 (receptora błonowego biorącego udział w przewodzeniu sygnałów komórkowych).

Hiperwentylacja – stan zwiększonej wentylacji płuc (głęboki i szybki oddech), podczas którego do płuc dostaje się większa ilość powietrza, co prowadzi do obniżenia stężenia dwutlenku węgla we krwi.

Hipoglikemia – niski poziom cukru we krwi.

Histopatologiczne badanie – badanie pod mikroskopem wycinków tkanek w celu rozpoznania chorób nowotworowych, schorzeń zapalnych i zwyrodnieniowych, a także ustalania przyczyn zgonu i zmian chorobowych osób zmarłych.

Immunoterapia – polega na sztucznym pobudzeniu, obniżeniu lub odbudowie naturalnej odporności organizmu w celach profilaktycznych i leczniczych; stosuje się ją w zapobieganiu rozwojowi chorób (poprzez szczepienia ochronne), leczeniu alergii, chorób autoimmunologicznych, przy przeszczepach i w leczeniu nowotworów.

Inaktywacja – utrata aktywności lub określonych właściwości (np. enzymów, mikroorganizmów).

Indukowanie – wzbudzenie zjawiska lub procesu zachodzącego w organizmie.

Interdyscyplinarność – badania naukowe, projekty, dziedziny dotyczące dwu lub więcej dyscyplin naukowych lub korzystające z dorobku kilku nauk (np. biologii, fizyki, matematyki).

Interferon – naturalne białko, którego zadaniem jest pobudzanie układu odpornościowego do walki z patogenami.

Inulina – polisacharyd, materiał zapasowy u roślin, składnik błonnika pokarmowego.

Inżynieria genetyczna – dziedzina nauki zajmująca się badaniem materiału genetycznego organizmów oraz jego modyfikacją w celu uzyskania pożądanego efektu lub produktu.

Komplementarność – zjawisko o zasadniczym znaczeniu dla dziedziczenia, polegające na przestrzennym i chemicznym dopasowaniu par zasad azotowych występujących w kwasach nukleinowych.

Kwasica – stan zwiększonej kwasowości krwi, w którym pH krwi spada poniżej normy; przyczyną jest zwiększona zawartość kwasów lub utrata zasad.

Lewatywa – zabieg medyczny polegający na wlewaniu przez odbyt płynu do jelita grubego w celu jego opróżnienia z mas kałowych.

Lizozym – naturalne białko o właściwościach przeciwbakteryjnych.

Małogłowie – wrodzona wada rozwojowa, która prowadzi do zmniejszenia rozmiaru głowy i mózgu; powoduje upośledzenie umysłowe.

Metale ciężkie – umowne pojęcie określające pierwiastki używane w przemyśle, które są toksyczne dla człowieka lub środowiska; do metali ciężkich są zaliczane metale (np. rtęć, ołów, kadm), półmetale (np. arsen), a nawet niemetale (selen).

Morfologia – podstawowe, diagnostyczne badanie krwi, polegające na ilościowej i jakościowej ocenie występujących w niej elementów morfotycznych.

Niedokrwistość – stan chorobowy, w którym dochodzi do spadku stężenia hemoglobiny, liczby krwinek czerwonych poniżej normy; najczęstszą postacią jest niedokrwistość związana z niedoborem żelaza.

Nosiciel – człowiek lub zwierzę, u którego po chorobie zakaźnej lub w wyniku bezobjawowego zakażenia utrzymuje się obecność czynnika zakaźnego mimo braku objawów chorobowych i który może stać się źródłem tej choroby dla innych; w genetyce nosiciel to osobnik, u którego występuje nieprawidłowa wersja genu choroby genetycznej i która może być dziedziczona.

Obturacja – zwężenie struktury anatomicznej organizmu mającej światło, jak naczyń krwionośnych czy oskrzela, co może prowadzić do ich niedrożności.

Osmoza – dyfuzja rozpuszczalnika przez błonę półprzepuszczalną rozdzielającą dwa roztwory o różnym stężeniu; przenikanie zachodzi z roztworu o niższym stężeniu substancji rozpuszczonej do roztworu o stężeniu wyższym, prowadząc do wyrównania stężeń obu roztworów.

Osteoporoza – stan chorobowy związany z postępującym ubytkiem masy kostnej, osłabieniem struktury kości oraz zwiększoną podatnością na złamania.

Pektyny – polisacharydy występujące w ścianach komórkowych roślin; składnik błonnika pokarmowego.

Penicylina – antybiotyk z grzyba *Penicillium* o właściwościach przeciwbakteryjnych.

Percepcja – odbiór, zrozumienie i rozpoznanie obiektów i zjawisk środowiska zewnętrznego za pomocą narządów zmysłów.

Perystaltyka – rytmiczne skurcze mięśni przewodu pokarmowego prowadzące do przesuwania się treści pokarmowej.

Profilaktyka – działania mające na celu zapobieganie chorobom poprzez ich wczesne wykrycie i leczenie.

Promieniowanie rentgenowskie – rodzaj promieniowania elektromagnetycznego, którego długość fali mieści się w zakresie od 10 pm do 10 nm, czyli pomiędzy promieniowaniem gamma a ultrafioletem.

Psychoterapia – psychologiczna metoda leczenia zaburzeń psychicznych.

Receptor – wyspecjalizowane białka, komórki lub narządy zmysłowe odbierające informacje z otoczenia.

Recesywny – ustępujący, w genetyce oznacza allel maskowany w zestawie heterozygotycznym przez drugi allel (dominujący), ujawniający swoją cechę tylko w zestawie homozygotycznym recesywnym.

Resorpcja – inaczej wchłanianie, proces przenikania substancji przez różne powierzchnie, np. wody, soli mineralnych z moczu pierwotnego do naczyń krwionośnych czy składników pokarmowych przez powierzchnię jelita cienkiego.

Suplementy diety – produkty spożywcze, których celem jest uzupełnienie diety; mogą być źródłem witamin, składników mineralnych lub innych odżywczych substancji.

Szkorbut – choroba wielonarządowa, wywołana niedoborem kwasu askorbinowego w pożywieniu.

Terapia genowa – metoda leczenia, która polega na wprowadzeniu do komórek ciała prawidłowych wersji genów lub wyciszeniu genów zbyt aktywnych, które są odpowiedzialne za wystąpienie choroby.

Toksyna – trujący organiczne wytwarzane przez drobnoustroje, rośliny lub zwierzęta.

Wnętrostwo – wada rozwojowa u noworodków, która polega na występowaniu jądra w niewłaściwym miejscu, np. w pachwinie lub jamie brzusznej.

Wodogłowie – nabyte lub wrodzone zwiększenie objętości płynu mózgowo-rdzeniowego w komorach mózgu; może prowadzić do uszkodzeniu mózgu, utraty wzroku, a nawet śmierci.

Zator – nagłe zamknięcie światła naczynia tętniczego przez czop, który może być zakrzepem, blaszką miażdżycową, cząsteczkami tłuszczu czy fragmentami tkanki nowotworowej; zator tętnicy prowadzi do zawału.

Żyłaki – wydłużenie i poszerzenie żyły zwykle na nogach, podłożem są genetycznie uwarunkowane nieprawidłowości zastawek żylnych lub zaburzenia budowy ściany żył.

Indeks pojęć i terminów

A

aglutynacja 78
 agranulocyty 18
 AIDS 84
 akomodacja oka 163
 albinizm 305
 albuminy 17
 aldosteron 124
 alergia 83
 allele wielokrotne 279
 amylaza trzustkowa 55
 anaboliki 183
 analiza moczu 124
 angiokardiografia 112
 angioplastyka 115
 anoreksja 63
 antybiotyki 320
 antygen D 78
 antykodon 258
 antykoncepcja 204
 archeogenetyka 341
 astma 94
 astygmatyzm 165
 autoagresja 82
 autoantygeny 76
 awitaminoza 36

B

badania
 diagnostyczne 65
 DNA 339
 beczki kostne 16
 białka 31
 dopełniacza 73
 niepełnowartościowe 31
 ostrej fazy 72
 bilirubina 125
 biofarmaceutyki 356
 bioreaktor 319
 bioremediacja 321
 biotechnologia
 nowoczesna 316
 tradycyjna 316
 bioterroryzm 378
 blastocysta 208

błona
 podstawna 10
 błonnik pokarmowy 34
 błony płodowe 211
 brzusiec 180
 bulimia 64

C

cecha
 dominująca 273
 recesywna 273
 cewka moczowa 121
 chemoreceptory 161
 cholesterol 114
 choroba
 Alzheimera 158
 autoimmunizacyjna 82
 dekompresyjna 101
 genetyczna 303
 hemolityczna 78
 nowotworowa 81, 218
 Parkinsona 158
 weneryczna 217
 chrząstka szklista 171
 chylomikrony 57
 ciała
 ketonowe 126
 cukrzyca 134
 cykl
 jajnikowy 203
 maciczny 202
 miesiączkowy 199, 202
 cytokiny 71
 czaszka 174
 czerniak 192

D

dalekowzroczność 164
 daltonizm 165, 286
 defekacja 120
 delecja 298
 dendryt 22
 depresja 154
 determinacja płci 284
 diagnostyka prenatalna 213

dializa otrzewnowa 127
 DNA 242
 dominacja
 całkowita 278
 doping 183
 drobnoustroje 68
 drogi oddechowe
 dolne 87
 górne 86
 duplikacja 298
 dystrofia mięśniowa 306
 dziedziczenie płci 285
 dźwigacz 176

E

echokardiografia 111
 efektor 150
 egzopeptydaza 55
 eksony 247
 ekspresja genów 246, 263
 eksteroreceptory 161
 elongacja translacji 260
 emulgacja 54
 endokrynologia 129
 endopeptydazy 55
 erytrocyty 17

F

fagocytoza 73
 fałdy głosowe 87
 farmakogenomika 342
 fenylketonuria 304
 fermentacja 319
 alkoholowa 320
 etanolowa 319
 mlekowa 319
 fibryna 114
 fibrynogen 114, 17
 filtracja 122
 fosfolipaza 56

G

gałka oczna 162
 gameta 194
 gametogeneza 200

gardło 48
gastroskopia 65
gastryna 49
genom 246
genomika 246
geny 246
 dopełniające 280
 kumulatywne 281
glukagon 133
GMO 347
granulocyty 18
gruczoły
 dokrewne 129
grupa krwi 114
grypa 93

H

hemodializa 126
hemofilia 286
hemoglobina 98
heterogametyczność
 męska 284
 żeńską 284
heterozygota 274
hiperpolaryzacja 144
HIV 84
homeostaza 28
homozygota 274
hormon wzrostu 137
hormony 130
 tarczycy 137

I

immunoglobuliny 17
immunologia 68
immunosupresja 77
impuls nerwowy 142
inicjacja 252
 translacji 260
insercja 298
insulina 133
interferencja RNA 266
interferon 71, 19
interleukiny 71
interoreceptory 161
introny 247
inwersja 298
istota podstawowa 11

J

jajniki 200
jajowody 199

jama ustna 47
jaskra 165
jądra 196
jelito
 cienkie 49
 grube 51
język 47

K

kalcytonina 133
kalcytriol 133
kamica nerkowa 126
kanał
 centralny 147
keratyna 186
kifoza 175
klatka piersiowa 177
klon 365
klonowanie
 organizmów 366
 somatyczne 366
 terapeutyczne 369
kod genetyczny 254
kodominacja 278
kodon 254
kolonoskopia 66
komórki macierzyste 368
konflikt serologiczny 78
kosmówka 212
kości
 długie 170
krążenie krwi 105
kresomózgowie 145
krew 16
kręgosłup 175
krótkowzroczność 164
krwiobieg
 duży 105
 mały 105
krwiomocz 126
krzepnięcie krwi 113
krzywica 307
krzyżówka testowa 275
ksenobiotyki 350
kubki smakowe 47

L

leukocyty 18
limfa 19
limfocyty 18
limfocyty B 74
limfocyty T 75

lipazy 54, 56
lordoza 175
ludzka gonadotropina kosmów-
kowa 210
łożysko 210
tłuk odruchowy 149

M

macica 199
markery
 biochemiczne 346
 genetyczne 346
mechanoreceptory 161
melanina 186
melatonina 138
miażdżyca 114
miednica 178
miedniczka nerkowa 121
międdymózgowie 147
mikrobiom 51
mikroiniekcja 358
mikrokosmki 50
mikromacierze DNA 342
mioglobina 100
mitochondrialne DNA 340
mocz ostateczny 123
mocz pierwotny 122
monocyty 18
morfologia krwi 117
mózgoczaszka 174
mózgowie 145
móddzek 147
mukowiscydoza 304
mutacja 296
 chromosomowa 298
 generatywna 296
 genowa 297
 indukowana 297
 liczbowa 298
 somatyczna 296
 spontaniczna 296
mutageneza 317

N

nabłonek
 jednowarstwowy
 płaski 10
 sześcienny 11
 walcowaty 11
 wielorzędowy 11
wielowarstwowy
 płaski 11

naczynia
 wieńcowe 107
 włosowate 104
 nagłośnia 87
 nałogi 156
 nanobiotechnologia 341
 napletek 195
 narząd
 smaku 168
 węchu 168
 narządy 25
 nasienie 196
 nasieniowód 196
 naskórek 186
 nefron 121
 nerwy czaszkowe 149
 neurologia 153
 neuron ,22
 neuryt 22
 nić matrycowa 251
 niedobór
 białka 32
 hormonów 139
 odporności 84
 niepłodność 214
 niewydolność nerek 126
 noradrenalina 138

O

obojętnochłonne 18
 obrotnik 176
 obwodowy układ nerwowy 149
 oddychanie
 komórkowe 86
 odporność
 komórkowa 75
 swoista 73
 odpowiedź
 humoralna 75
 immunologiczna 72
 nieswoista 72
 odruch 149
 bezwarunkowy 150
 warunkowy 150
 okres
 dojrzewania 221
 płodowy 210
 zarodkowy 209
 omocznia 212
 ontogeneza 208
 oogeneza 200
 organizm transgeniczny 348
 osierdzie 106

osseina 15
 ośrodek
 oddechowy 90
 ośrodek nerwowy 150
 otyłość 60
 owulacja 203

P

pajęczynówka 148
 pamięć
 długotrwała 152
 krótkotrwała 152
 parathormon 124,133
 paznokcie 188
 pęcherzyki nasienne 196
 pęcherzyki płucne 88
 pęcherzyk żółciowy 54
 plamka
 żółta 163
 plemnik 196
 płyn
 mózgowo-rdzeniowy 148
 pochwa 198
 podwzgórze 131
 pokolenie
 potomne 273
 rodzicielskie 272
 polimeraza DNA 244
 poliploidyzacja 300
 poradnictwo genetyczne 344
 poród 212
 praca serca 108
 prawa Mendla 272
 prącie 195
 procesy
 biotechnologiczne 318
 proenzym 54
 prostata 196
 protrombina 114
 przeciwciała 71
 przelyk 48
 przeszczep 127
 przewężenie Ranviera 22
 przewód pokarmowy 45

R

rak płuc 95
 ramka odczytu 255
 rdzeń
 kręgowy 147
 przedłużony 147
 receptor 150

receptory 161
 czuciowe 191
 redagowanie RNA 266
 renina 124
 replikacja 243
 resorpcja 123
 rodowód 309
 rozstępy 187
 rozwój prenatalny 209
 rybosomy 259
 rytm okołodobowy 29
 rzepka 178

S

sarkomer 180
 schizofrenia 158
 scyntygrafia 115
 sekwencjonowanie 248
 sen 158
 serce 106
 siatkówka 163
 skala Apgar 212
 składniki
 mineralne 39
 skóra 186
 właściwa 187
 soczewka 163
 sok
 trzustkowy 54
 żółdkowy 49
 sole mineralne 39
 spermatogeneza 200
 spirometria 97
 splicing RNA 253
 sprzężenie
 genów 283
 zwrotne 132
 stan zapalny 73
 startery 244
 staw 171
 kolanowy 178
 skokowy 178
 substytucja 298
 suplementy diety 41
 synapsa 22
 szczepienia 348
 szczepionka DNA 348
 szkielet
 człowieka 170
 osiowy 173
 szlaki pamięci 151
 szyszynka 138
 ścięgno 180

ślinianki 48
śródmózgowie 147

T

telomery 244
teoria Morgana 283
terapia
 genowa 373
 przeciwnowotworowa 82
teratogeny 213
terminacja translacji 260
termoreceptory 161
test genetyczny 345
tętnice 104
tkanka 8
 chrzęstna 14
 sprężysta 14
 szklista 14
 włóknista 14
 glejowa 23
 kostna 15
 gąbczasta 16
 zbita 15
 łączna 11
 łączna właściwa 13
 mięśniowa 19
 nabłonkowa 9
 nerwowa 22
 tłuszczowa 13
tłuszcze
 pokarmowe 32
tomografia komputerowa 66
ton serca 109
torebka stawowa 171
transgeniczne zwierzęta 358
transkrypcja 243, 251
transkrypt 253
translacja 243, 258, 259
translokacja 298
transplantacja 77, 360
trawienie 49, 55
trombocyty 19
trzwioczaska 174
trzustka 53

U

ucho 166
 wewnętrzne 166
 zewnątrze 166
uczenie się 151

udar mózgu 117
układ
 autonomiczny 152
 dokrewny 28
 hormonalny 129
 krążenia 102
 krwionośny 26, 102
 limfatyczny 114
 nerwowy 27
 oddechowy 26
 odpornościowy 26
 pokarmowy 26, 45
 powłokowy 26
 przywspółczulny 153
 rozrodczy 28
 ruchu 26, 170
 współczulny 153
 wydalniczy 120, 27
ultrasonografia 65
urografia 126
USG nerek 126

W

wada wzroku 164
wargi sromowe 198
wazopresyna 124
wchłanianie 56
wdech 89
wentylacja płuc 89
węglowodany pokarmowe 33
węzeł chłonny 114
widelki replikacyjne 244
witamina D 190
włosy 188
włókna
 kolagenowe 12
 retikulinowe 12
 sprężyste 12
wstrząs anafilaktyczny 83
wydalanie 120
wydech 89
wymiana gazowa 86, 98
wyspy trzustkowe 53

Z

zaćma 165
zapalenie płuc 93
zapłodnienie 208
zapłodnienie *in vitro* 378
zastawka 106

zastawki 104
zespół
 Downa 307
 Klinefeltera 309
 Turnera 308
zez 165
zgaga 48
zmienność
 ciągła 294
 genetyczna 293
 mutacyjna 294
 rekombinacyjna 293
 środowiskowa 292
zrównoważona
 dieta 43
zwieracz przełyku 48
zygota 194
żołądek 49
żuchwa 175
żyły 103