

**SPIS TREŚCI**

✓ określa znaczenie białek (albuminy, globuliny, histony, kolagen, keratyna, fibrynogen) .....	3
✓ porównuje skład chemiczny i strukturę cząsteczek DNA i RNA, z uwzględnieniem rodzajów wiązań występujących w tych cząsteczkach. (tu skupiam się szczególnie na wiązaniach).....	5
✓ przedstawia argumenty przemawiające za endosymbiotycznym pochodzeniem mitochondriów i chloroplastów; wykazuje, że mitochondria i chloroplasty są organellami o naturze półautonomicznej;.....	6
✓ wykazuje związek budowy ściany komórkowej z pełnioną funkcją oraz wskazuje grupy organizmów, u których ona występuje; .....	7
✓ przedstawia rolę barwników i fotosystemów w procesie fotosyntezy; .....	8
✓ porównuje drogi przemiany pirogronianu w fermentacji alkoholowej, mleczanowej i w oddychaniu tlenowym;.....	11
✓ przedstawia drogi rozprzestrzeniania się chorób wirusowych zwierząt (nosówka, wścieklizna, pryszczycza) i roślin (mozaika tytoniowa, smugowatość ziemniaka) oraz ich skutki. ....	12
✓ przedstawia drogi rozprzestrzeniania się i zasady profilaktyki chorób człowieka wywoływanych przez wirusy (wścieklizna, AIDS, Heinego-Medina, schorzenia wywołane zakażeniem HPV, grypa, odra, ospa, różyczka, świnka, WZW typu A, B i C, niektóre typy nowotworów).....	13
✓ wyjaśnia różnice między bakteriami i archeowcami; .....	15
✓ przedstawia formy morfologiczne protistów; .....	15
✓ rozróżnia zielenice, krasnorosty i glaukocystofity. ....	17
✓ na podstawie obecności charakterystycznych cech identyfikuje nieznanego organizm jako przedstawiciela paprociowych, widłakowych lub skrzypowych, .....	18
✓ rozróżnia formy morfologiczne roślin okrytonasiennych (rośliny zielne, krzewinki, krzewy, drzewa); .....	19
✓ opisuje modyfikacje korzeni, łodyg i liści jako adaptacje roślin okrytonasiennych do życia w określonych środowiskach. ....	20
✓ przedstawia adaptacje anatomiczne i fizjologiczne roślin typu C4 i CAM do przeprowadzania fotosyntezy w określonych warunkach środowiska.....	22
✓ opisuje sposób powstawania gametofitów roślin nasiennych;.....	24
✓ przedstawia budowę nasiona i rozróżnia nasiona bielkowe, bezbielkowe i obielkowe. ....	30
✓ przedstawia znaczenie połączeń międzykomórkowych w tkankach zwierzęcych;.....	36
✓ wyjaśnia mechanizm wentylacji płuc u płazów, gadów, ptaków i ssaków, przedstawia mechanizm wentylacji płuc (wdech i wydech);.....	37
✓ przedstawia układy wydalnicze zwierząt i określa tendencje ewolucyjne w budowie kanalików wydalniczych; - skupiam się na przedstawieniu narządów wydalniczych.....	39
✓ przedstawia proces tworzenia moczu u człowieka oraz wyjaśnia znaczenie regulacji hormonalnej w tym procesie; .....	41
✓ wyjaśnia mechanizm sprzężenia zwrotnego ujemnego na osi podwzgórze – przysadka – gruczoł (hormony tarczycy, kory nadnerczy i gonad); .....	44
✓ przedstawia rolę hormonów tkankowych na przykładzie gastryny, erytropoetyny i histaminy; .....	47
✓ określa skutki niedoczynności i nadczynności gruczołów dokrewnych;.....	49
✓ przedstawia budowę i funkcję mózgu, rdzenia kręgowego i nerwów człowieka; .....	51
✓ przedstawia budowę oraz działanie oka - rozpoznaje elementy budowy oka (na modelu, rysunku, według opisu itd.) oraz przedstawia ich funkcje w powstawaniu obrazu, dokonuje obserwacji	

- wykazującej obecność tarczy nerwu wzrokowego i ucha człowieka - rozpoznaje elementy budowy ucha (na modelu, rysunku, według opisu itd.) oraz przedstawia ich funkcje; ..... 56
- ✓ wyjaśnia, na podstawie schematu, molekularny mechanizm skurczu mięśnia; ..... 67
  - ✓ wyjaśnia, rozpoznaje (na modelu, schemacie, rysunku) rodzaje połączeń kości i określa ich funkcje; .....70
  - ✓ wyjaśnia, rozpoznaje (na modelu, schemacie, rysunku) rodzaje połączeń kości i określa ich funkcje;  
**Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**

✓ określa znaczenie białek (albuminy, globuliny, histony, kolagen, keratyna, fibrynogen).

**Albuminy** osocza są **rozpuszczalne w wodzie**, dzięki czemu odgrywają kluczową rolę w **regulacji ciśnienia osmotycznego** oraz **pełnią rolę buforującą pH** krwi. Ich główną funkcją jest regulowanie ciśnienia onkotycznego<sup>1</sup>. Albuminy **wiążą i transportują także wiele drobnocząsteczkowych substancji**, tj. jony metali (np.  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Na^+$ ), toksyczne metale ciężkie, hormony, witaminy i leki. Uczestniczą w transporcie tlenu, który bierze udział w sygnalizacji neuronalnej, procesach immunologicznych, apoptozie, a u roślin reguluje otwieranie się aparatów szparkowych.

**Globuliny** osocza **transportują hormony, tłuszcze** (m.in. cholesterol) oraz **jony**. Do tej grupy białek należą także **protrombina** (która podobnie jak fibrynogen bierze udział w krzepnięciu krwi) oraz **przeciwciała** (immunoglobuliny) chroniące organizm przed patogenami. Globuliny **łączą się z hormonami tkankowymi i je transportują** (np. kortyzol). Niektóre globuliny transportują jony  $Fe^{3+}$  (w transferynie) czy  $Na^+$  i  $K^+$  (w angiotensynie).

**Histony** - (gr. *histós* – tkanka) białko zasadowe występujące w jądrach komórkowych roślin i zwierząt, w kompleksie z DNA zwanym chromatyną; duża zawartość dodatnio naładowanych grup aminowych histonów neutralizuje oddziaływania ujemnie naładowanych grup fosforanowych DNA; daje to możliwość owinięcia się cząsteczek DNA wokół białek histonowych i upakowania długich nici DNA. Wyróżniamy histony  $H_1$  (łącznikowy, niewchodzący w skład oktameru histonowego),  $H_2A$ ,  $H_2B$ ,  $H_3$  i  $H_4$ .

**Kolagen** – to białko fibrylarne (skleroproteina) o włókienkowej strukturze o trudnorozpuszczalnym w wodzie charakterze. Jej cząsteczki są długie i nitkowate, mają skłonność do układania się obok siebie i tworzenia włókien (**w przypadku kolagenu jest to potrójna helisa**); kolagen występuje w substancji międzykomórkowej i nadaje tkankom odporność na rozciąganie – występuje praktycznie w każdej tkance zwierzęcej. Jest głównym białkiem występującym w **skórze, ścięgnach i kościach** oraz w **chrząstce** i błonie podstawnej tkanek nabłonkowych. Buduje kutykulę pierścienic.

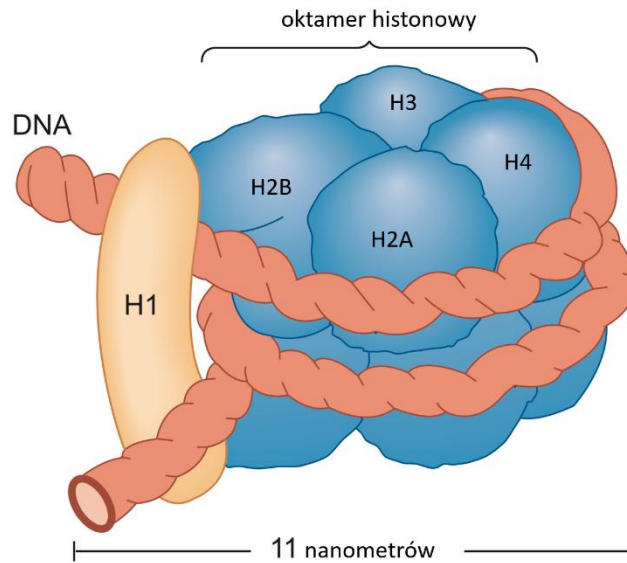
**Keratyna** - białko o strukturze włókienkowej z grupy skleroprotein (**białek fibrylarnych**), nierozpuszczalne w wodzie i odporne na działanie czynników chemicznych oraz mechanicznych. Zapewnia skórze wytrzymałość mechaniczną i elastyczność oraz tworzy wraz z glikolipidami barierę dla wody. W dużej mierze występuje także w **piórach, wełnie, rogach, paznokciach**. Keratyna charakteryzuje się dużą zawartością aminokwasów siarkowych (takich jak cysteina i metionina), dlatego też mówi się, że ważnym budulcem dla np. paznokci jest siarka. Z keratyny zbudowany jest zrogowaciały naskórek ssaków.

**Fibrynogen** – fibrynogen to białko osocza krwi (**wytwarzane jest w wątrobie**) – bierze udział w końcowej fazie procesu krzepnięcia (jest czynnikiem I krzepnięcia). Przekształca się w fibrynę (włóknik) pod wpływem trombiny. Osocze krwi pozbawione fibrynoгену nazywamy surowicą.

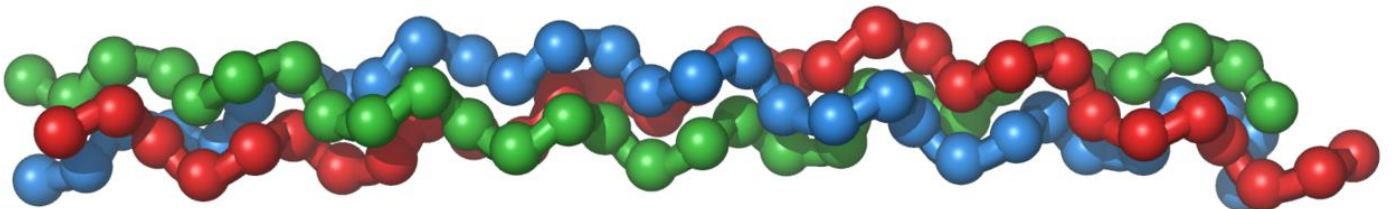
*wszystkie powyżej opisane białka należą do **białek prostych** (zbudowane są wyłącznie z aminokwasów)*

---

<sup>1</sup> **Ciśnienie onkotyczne ( $\pi$ )** – rodzaj ciśnienia osmotycznego wywieranego przez roztwór koloidalny białek obecnych w osoczu krwi. Zawartość białek w osoczu krwi jest wyższa od tej w płynie międzykomórkowym, toteż ciśnienie onkotyczne krwi w naczyniach krwionośnych jest wyższe od ciśnienia osmotycznego w obrębie płynów tkankowych. Zapobiega to przesiękom wody z elektrolitami z osocza krwi do tkanek. **Jest to rodzaj ciśnienia osmotycznego wywieranego przez białka osocza, które chroni przed utratą wody z naczyń krwionośnych.**



Rysunek 1. **budowa chromatosomu** (nukleosom, czyli DNA nawinięte na białka histonowe + białko łącznikowe H1 tworzą razem chromatosom).



Rysunek 2. **Struktura jednostki tropokolagenu** – tzw. potrójna helisa, złożona z 3 łańcuchów polipeptydowych. Cząsteczki tropokolagenu (o średnicy 1,5 nm) agregują we włókienka (fibryle) o średnicy 10–300 nm), a w wyniku dojrzewania ulegają usieciowaniu poprzez wiązania poprzeczne, tworząc włókna kolagenu (o średnicy 1–20  $\mu\text{m}$ ).

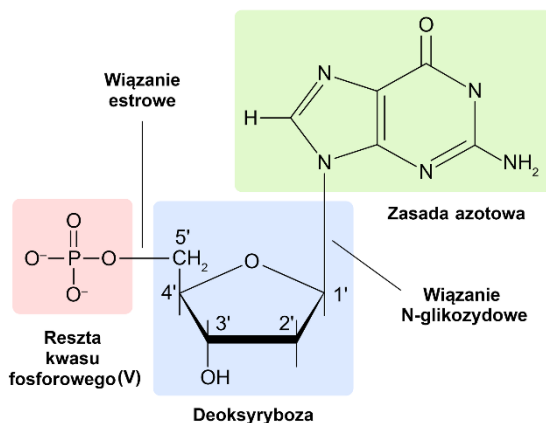


Rysunek 3. **struktura fibrynogenu** z podłączonymi dwoma różnymi ligandami. Jest to dimer, obie podjednostki składają się z łańcuchów polipeptydowych. Monomery są połączone mostkami siarczkowymi.

✓ porównuje skład chemiczny i strukturę cząsteczek DNA i RNA, z uwzględnieniem rodzajów wiązań występujących w tych cząsteczkach. (tu skupiam się szczególnie na wiązaniach)

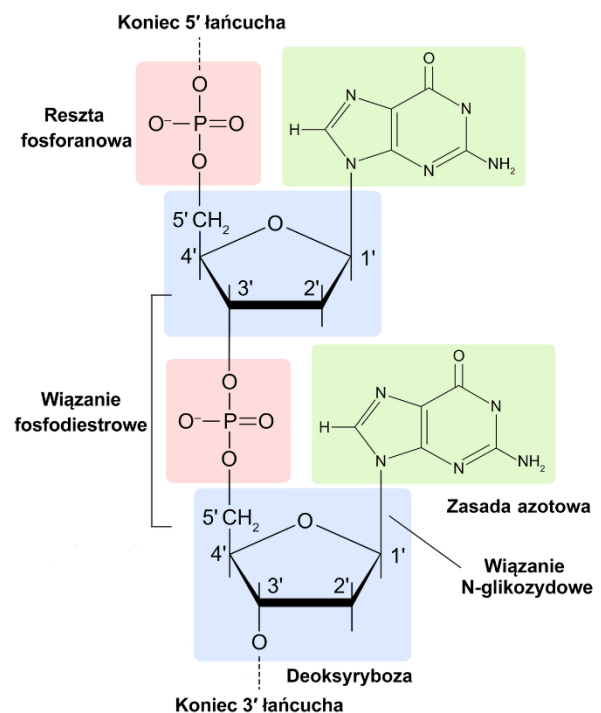
**Kwas deoksyrybonukleinowy (DNA)** – jeden z kwasów nukleinowych występujących w komórkach prokariotycznych oraz eukariotycznych. W skład nukleotydów tworzących DNA wchodzi następujące elementy: **nukleozyd** (zbudowany z jednej z zasad azotowych A, C, T lub G połączonej z pierwszym atomem węgla (1') pięciowęglowego cukru dezoksyrybozy) oraz **reszta kwasu fosforowego(V)**, połączona z grupą hydroksylową nukleozydu, związaną z piątym atomem węgla (5') reszty cukrowej.

**puryny** to zasady azotowe złożone z dwóch sprzężonych pierścieni węglowo-azotowych – są to adenina i guanina; **pirymidyny** to zasady azotowe złożone z jednego pierścienia węglowo-azotowego – należą do nich cytozyna, tymina i uracyl.



zatem **nukleotyd** można zdefiniować następująco: podstawowa jednostka budowy (monomer) kwasów nukleinowych; pochodna nukleozydu, w której grupa hydroksylowa (–OH) części cukrowej jest połączona z cząsteczką kwasu fosforowego wiązaniem estrowym

W wyniku połączenia się wielu powyższych nukleotydów powstaje **łańcuch polinukleotydowy**. Poszczególne nukleotydy są połączone **wiązaniem fosfodiesterowym**. Reszta fosforanowa przyłączona się do węgla 5'-deoksyrybozy jednego nukleotydu wiąże się z węglem 3'-deoksyrybozy drugiego nukleotydu. Dzięki temu na końcu łańcuchów powstają dwa wolne końce – jeden 5' (z wolną grupą fosforanową(V)) oraz 3' – z wolną grupą 3-hydroksylową dezoksyrybozy. Przyjęto, że sekwencję zasad zapisuje się w kierunku od końca 5' łańcucha DNA do końca 3', czyli w kierunku 5' → 3'. **Antyrównoległość** to sposób ułożenia łańcuchów (nici) w DNA polegający na tym, że koniec 3' jednego łańcucha DNA znajduje się na tej samej wysokości, co koniec 5' drugiego łańcucha.



W niciach komplementarnych dsRNA oraz dsDNA (*double strand* - dwuniciowe) zasady azotowe łączą się **wiązaniem wodorowym** (A z T dwoma wiązaniami wodorowymi; C z G trzema wiązaniami wodorowymi).

- ✓ przedstawia argumenty przemawiające za endosymbiotycznym pochodzeniem mitochondriów i chloroplastów; wykazuje, że mitochondria i chloroplasty są organellami o naturze półautonomicznej;

Ze względu na mechanizm powstania chloroplastów komórek eukariotycznych wyróżnia się endosymbiozę pierwotną i wtórną. **Endosymbioza pierwotna** była rzadkim zjawiskiem w ewolucji eukariontów. W jej wyniku powstały chloroplasty otoczone dwiema błonami białkowo-lipidowymi. Natomiast **endosymbioza wtórna** była w ewolucji eukariontów częstszym zjawiskiem. W jej wyniku powstały chloroplasty otoczone trzema lub czterema błonami białkowo-lipidowymi.

#### endosymbioza pierwotna

to proces, w którym heterotroficzna komórka eukariotyczna pobiera autotroficzną komórkę sinicy. W komórce gospodarza wchłonięta komórka sinicy ulega przekształceniu w chloroplast, który otaczają dwie błony białkowo-lipidowe. Wewnętrzna błona chloroplastu jest pozostałością po błonie komórkowej endosymbionta. Zewnętrzna błona chloroplastu wykazuje mieszaną strukturę. Powstała najprawdopodobniej w wyniku połączenia błony komórkowej komórki sinicy i błony komórkowej heterotroficznej komórki eukariotycznej. Chloroplast otoczony dwiema błonami to tzw. chloroplast pierwotny. **W procesie endosymbiozy pierwotnej powstały chloroplasty: glaukocystofitów, krasnorostów i roślin zielonych.**

#### endosymbioza wtórna

to proces, w którym heterotroficzna komórka eukariotyczna pobiera autotroficzną komórkę eukariotyczną. Wchłonięta komórka eukariotyczna ulega przekształceniu w chloroplast, który otaczają trzy lub cztery błony białkowo-lipidowe. Najbardziej wewnętrzne błony pochodzą od chloroplastu pierwotnego, kolejna błona to pozostałość po błonie komórkowej wchłoniętego endosymbionta. Najbardziej zewnętrzna błona pochodzi z błony komórkowej komórki gospodarza. Chloroplast otoczony trzema lub czterema błonami to tzw. chloroplast wtórny. **W procesie endosymbiozy wtórnej powstały chloroplasty brunatnic.**

**Argumenty przemawiające za endosymbiotycznym pochodzeniem chloroplastów, a także mitochondriów to:** **niewielkie rozmiary** (wielkość mitochondriów i chloroplastów wynosi zazwyczaj od 2 do 9  $\mu\text{m}$  i jest zbliżona do rozmiarów większości komórek prokariotycznych, których wielkość waha się od 1 do 10  $\mu\text{m}$ ); **dwie błony białkowo-lipidowe** (mitochondria i chloroplasty to organelle otoczone podwójną błoną białkowo-lipidową. Błona zewnętrzna przypomina błonę komórkową komórki eukariotycznej. Natomiast błona wewnętrzna znacznie różni się od innych błon biologicznych komórki eukariotycznej i swoją budową i właściwościami przypomina błonę komórkową komórki prokariotycznej); **materiał genetyczny** (mitochondria i chloroplasty mają własną informację genetyczną w postaci kilku kolistych cząsteczek DNA, zawierających geny o budowie ciągłej. Podobnie występujący w komórkach prokariotycznych genofor ma postać jednej kolistej cząsteczki DNA. Geny komórek prokariotycznych także mają budowę ciągłą, czyli zawierają wyłącznie odcinki kodujące (egzony), a brak w nich odcinków niekodujących (intronów)); **budowa i wielkość rybosomów** (W matrix mitochondriów i stromie chloroplastów znajdują się rybosomy 70S, które swoją wielkością i budową przypominają rybosomy cytoplazmatyczne komórek prokariotycznych); **powstawanie i podział** (nowe mitochondria i chloroplasty powstają na skutek podziału już istniejących organelli. Proces ich powstawania przypomina podział prosty komórek prokariotycznych); **sygnał poliadenylacji mRNA** nie pełni funkcji chroniącej mRNA, a kierującej do degradacji tak jak u bakterii.

**Argument przemawiający za półautonomiczną naturą mitochondriów i chloroplastów to:** pomimo własnego DNA i obecności rybosomów, część białek budujących białka niezbędne do ich funkcjonowania (np. syntazę ATP w mitochondrium) jest kodowana poza genomem tego organellum (przez genom jądrowy i syntetyzowana jest w cytoplazmie).



- ✓ wykazuje związek budowy ściany komórkowej z pełnioną funkcją oraz wskazuje grupy organizmów, u których ona występuje;

Ściana komórkowa to z definicji struktura otaczająca **protoplast** (aktywną metabolicznie część komórki bez ściany) komórek roślin (wyższych i niższych), grzybów, archeowców, bakterii oraz części protistów – tych „roślinopodobnych” – np. eugleny, okrzemki, brunatnice i „grzybobopodobnych”, np. łęgniowce. Na budowę ściany komórkowej składają się elementy szkieletowe oraz podłoże (matriks, macierz).

**U roślin** ścianę komórkową tworzą **mikrofibryle** (elementarne włókna celulozowe, tworzone przez kompleksy syntetaz celulozowych na zewnętrznej powierzchni błony komórkowej u roślin jako szkieletowy składnik ściany komórkowej). Cząsteczki te połączone są ze sobą za pomocą **wiązań wodorowych, które stabilizują strukturę ściany komórkowej**. W skład podłoża wchodzi różne cukry złożone, głównie **pektyny** (mieszanina węglowodanów (polisacharydów i oligosacharydów) występujących w ścianie komórkowej roślin; węglowodany połączone są ze sobą wiązaniami  $\alpha$ -1,4-glikozydowymi i mają zdolność tworzenia żeli) oraz **hemicelulozy** (niejednorodna grupa polisacharydów występujących w ścianie komórkowej roślin; poszczególne węglowodany połączone są ze sobą wiązaniem  $\beta$ -glikozydowymi, dzięki któremu tworzą się liczne rozgałęzienia) - te zapewniają wytrzymałość mechaniczną oraz ochronę przed wysuszeniem. W skład ściany komórkowej wchodzi także woda (w ścianie pierwotnej około 60% świeżej masy), ściana wtórna zawiera nieco mniej wody.

**U grzybów** elementy szkieletowe ściany zbudowane są z chityny, natomiast u **protistów** z celulozy, pektyn lub innych specyficznych dla danej grupy związków chemicznych. U **bakterii** ściana komórkowa zbudowana jest z mureiny, inaczej zwanej peptydoglikanem. Mureina stanowi do 70% suchej masy u bakterii Gram-dodatnich i do 10% u bakterii Gram-ujemnych. Ściana komórkowa bakterii dodatkowo otoczona jest błoną. U bakterii Gram-dodatnich w ścianie komórkowej występują **kwasy tejchojowe**, a u Gram-ujemnych – m.in. lipoproteiny i lipopolisacharydy.

**Pierwotna ściana komórkowa** występuje w młodych, rosnących komórkach. Jest stosunkowo cienka, a mikrofibryle są ułożone w niej chaotycznie w różnych kierunkach, co umożliwia naciąganie się ściany w czasie wzrostu komórki. Pomiędzy ścianami pierwotnymi sąsiadujących komórek znajduje się blaszka środkowa (cienka warstwa substancji międzykomórkowej składającej się z pektyn). Spaja ona sąsiadujące komórki roślinne. Pierwotna ściana komórkowa ma stosunkowo mało celulozy, a więcej pektyn)

**Wtórna ściana komórkowa** jest obecna w komórkach zróżnicowanych, już nierosnących. Jest zdecydowanie grubsza, sztywna i nierozciągliwa (a to dlatego, że jest **inkrustowana**<sup>2</sup> (wysycana) oraz **adkrustowana**<sup>3</sup> (powlekana) różnymi substancjami). Zawiera kilka pokładów celulozowych (% więcej niż w ścianie pierwotnej), które są mikrofibrylarnie ułożone tylko w jednym kierunku.

**Wykazując związek między budową ściany komórkowej, a jej funkcją należy odwołać się do:** celulozowego szkieletu (nadaje kształt komórce); włókien celulozowych (zabezpieczają przed nadmiernym rozciąganiem ściany); kutyny (ogranicza utratę wody z komórki); wypełnienie szkieletu pektynami (zabezpiecza przed wnikaniem patogenów do komórki).

---

<sup>2</sup> **inkrustacja** ma na celu wzmocnienie struktury ściany komórkowej, która wysycana może być m.in.: **ligniną** (powoduje to drewnienie ścian komórkowych [lignina to inaczej drzewnik] – występuje m.in. w ksylemie i sklerenchymie) lub **krzemionką** (co prowadzi do mineralizacji, np. skórka skrzypowych jest wysycana  $\text{SiO}_2$ ; u ramienic  $\text{CaCO}_3$ ).

<sup>3</sup> **adkrustacja** ma na celu chronienie przed utratą wody i zabezpieczenie przed wnikaniem drobnoustrojów chorobotwórczych. Do związków powlekających należą głównie tłuszczowce (np. **suberyna** powoduje korkowacenie ściany w fellemie; **kutyna** jest odkładana na powierzchni skórki liści i łodyg, tworzy kutykulę).

✓ przedstawia rolę barwników i fotosystemów w procesie fotosyntezy;

Barwniki fotosyntetyczne to organiczne związki chemiczne uczestniczące w procesie fotosyntezy. Odpowiedzialne są za pochłanianie (inaczej: **absorpcję**) promieniowania elektromagnetycznego w zakresie światła widzialnego i uwalnianie elektronów. Dzieli się je na: **chlorofile i bakteriochlorofile, karotenoidy i fikobiliny**. Różnią się one budową, zakresem absorbowanego światła widzialnego oraz pełnionymi funkcjami.

Chlorofile to **zielone barwniki** (odbijające światło widzialne w zakresie fal zielonych), które pochłaniają światło widzialne w zakresie barw **niebieskich** oraz **czerwonych**. Wyróżniamy wiele rodzajów chlorofili (a, b, c, d) oraz barwniki pokrewne, np. bakteriochlorofile (a, b, c, d, e, g). Najważniejszymi są chlorofil a oraz bakteriochlorofil a. Inne są barwnikami pomocniczymi i pełnią dodatkowe funkcje w fotosyntezie (wchodzą w skład układu antenowego fotosystemu, którego cząsteczki pochłaniają fotony, a energię wzbudzenia przekazują do centrum reakcji). **Chlorofile składają się z pierścienia porfirynowego (odpowiedzialnego za absorpcję fotonów) oraz łańcucha fitolu (alkoholu, który stanowi długi hydrofobowy ogon kotwiczący cząsteczkę w dwuwarstwie lipidowej tylakoidów gran).**

**Chlorofil a** posiada w pierścieniu porfirynowym grupę metylową ( $-CH_3$ ), natomiast **chlorofil b** – aldehydową ( $-CHO$ ).

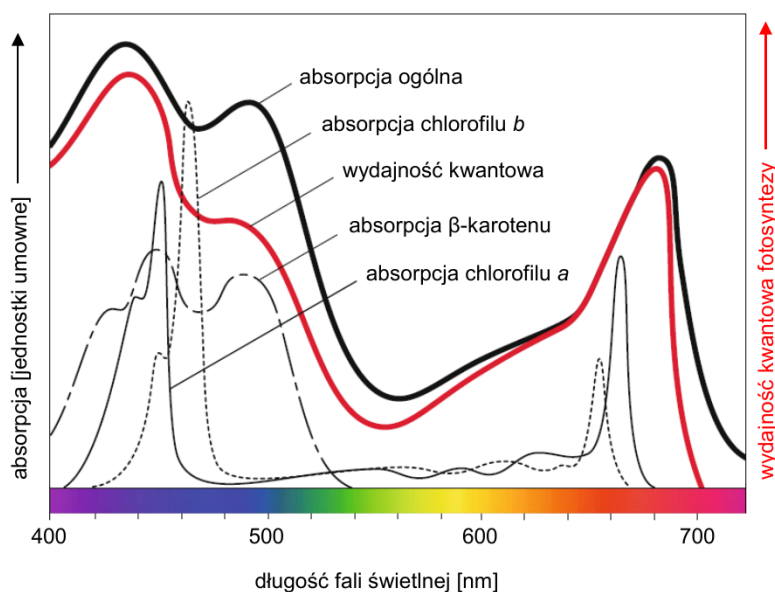
Widmo absorpcyjne chlorofilu a osiąga minimum przy pomiędzy długościami fali 480 nm a 550 nm – co sprawia, że ma on zieloną barwę, a maksima osiąga przy falach o długości **430 nm i 662 nm**, czyli nieco szerzej niż u chlorofilu b, który ma maksima przy falach o długości **453 nm i 642 nm**.

Barwnikami pomocniczymi rozszerzającymi spektrum barw absorbowanego światła są **karotenoidy**. Energia wzbudzenia

karotenoidów zostaje przekazana na cząsteczkę chlorofilu a, napędzając proces fotosyntezy. Występowanie karotenoidów najlepiej staje się

widoczne jesienią. Wtedy w niskich temperaturach chlorofil ulega rozkładowi, odstaniając żółte, pomarańczowe i czerwone barwy karotenoidów znajdujących się w liściach i łodygach.

Karotenoidy są dodatkowymi barwnikami fotosyntetycznymi, które absorbują światło widzialne w zakresie fal fioletowych i niebieskich. Oprócz tego nadają barwę kwiatom, owocom i nasionom. Do karotenoidów zalicza się: **ksantofile** – barwniki żółte i **karoteny** – barwniki pomarańczowe i czerwone. Funkcje karotenoidów obejmuje: **chronią fotosystemy przed nadmiarem światła. Karotenoidy absorbują i rozpraszają nadmiar energii świetlnej, która mogłaby uszkodzić cząsteczki chlorofilu. Karotenoidy chronią cząsteczki innych barwników przed procesami fotooksydacji. Absorbują one światło i przekazują energię na cząsteczki chlorofilu. Wychwytyują część energii świetlnej wykorzystywanej do fotosyntezy.**





**Fotosystem** (fotoukład) to kompleks barwnikowo-lipidowo-białkowy absorbujący światło. Fotoukład tworzą **centrum reakcji** fotoukładu (dwie dimeryczne zmodyfikowane cząsteczki chlorofilu a) oraz towarzyszące mu **układy antenowe** absorbujące światło (fotony) i przekazujące energię do centrum reakcji. **Centrum reakcji wybija z chlorofilu elektron, a ten jest przekazywany na kolejne przENOŚniki elektronów w fotosyntezie.**

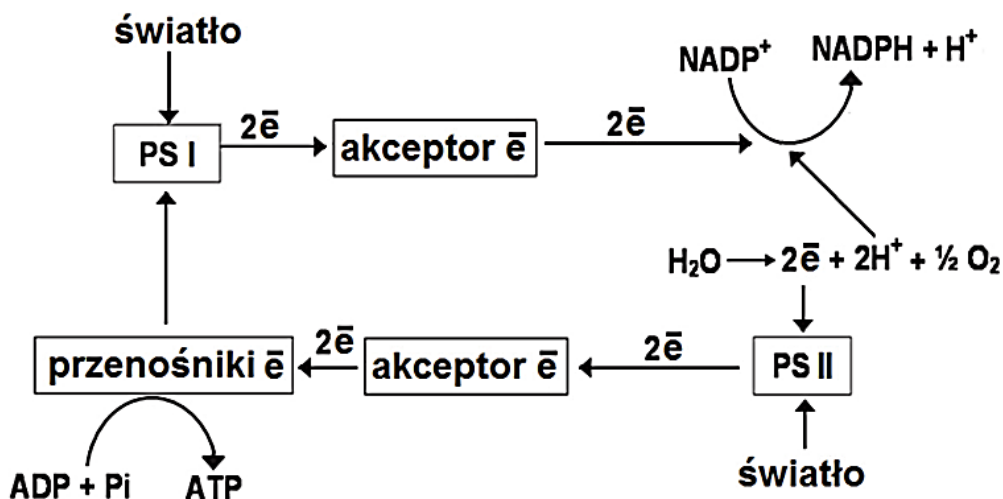
**Fotoukład I (PS I)** – składa się z centrum reakcji PS I oraz z układu antenowego określanego jako LHC I. W centrum reakcji znajduje się para cząsteczek chlorofilu a. PS I swoje maksimum absorbancji światła wykazuje przy  $\lambda = 700$  nm, stąd oznaczenie P 700. Głównym barwnikiem pomocniczym jest karoten.

**Fotoukład II (PS II)** – składa się z centrum reakcji PS II oraz układu antenowego określanego jako LHC II. W centrum reakcji znajduje się para cząsteczek chlorofilu a. PS II swoje maksimum absorbancji światła wykazuje przy  $\lambda = 680$  nm, stąd oznaczenie P 680. Na granicy fotosystemu II, od strony wnętrza tylakoidy znajduje się skomplikowany układ oksydoredukcyjny (ma w swojej budowie jon  $Mn^{2+}$ ), który przeprowadza **fotolizę wody**. Głównym barwnikiem pomocniczym jest ksantofil.

**Podsumowując – funkcje fotosystemów w procesie fotosyntezy można zamknąć w transporcie elektronów i generowaniu gradientu protonowego połączonego z syntezą ATP.**

**Transport elektronów:** Gdy fotosystem zaabsorbuje foton światła, dochodzi do fotolizy wody, uwolnienia elektronów oraz jonów  $H^+$ . Wzbudzone elektrony są przekazywane przez łańcuch przENOŚników elektronów w błonach tylakoidów. W fotosystemie II (PSII) elektrony są przekazywane na plastochinon, kompleks cytochromowy i plastocyjaninę, a następnie do fotosystemu I (PS I). W PS I elektrony są ponownie wzbudzane i przekazywane na ferredoksynę, a następnie na  $NADP^+$ , redukując go do NADPH.

**Generowanie gradientu protonowego i synteza ATP:** Przenoszenie elektronów przez łańcuch transportu elektronów powoduje przepompowywanie protonów ( $H^+$ ) do wnętrza tylakoidów, tworząc gradient protonowy. Ten gradient napędza syntazę ATP do produkcji ATP z ADP i  $P_i$ .



*schemat: Biologia - Matura Maj 2019, Poziom rozszerzony (Formuła 2007)*

Warto również wspomnieć o ogólnych barwnikach występujących u roślin i protistów:

**Chromoplasty** – barwne plastydy, nieaktywne w procesie fotosyntezy. Zawierają one barwniki **karotenoidowe**, **ksantofil i karoteny**. Nadają barwę kwiatom, owocom, a czasem również korzeniom (np. marchwi) lub bulwom. Chromoplasty mogą powstawać z proplastydów, chloroplastów i amyloplastów. Powstawanie chromoplastów z chloroplastów jest zjawiskiem leżącym u podłoża tzw. dojrzewania owoców. W chromoplastach może znajdować się również czerwony likopen (należy do karotenów).

Barwniki mogą być również przechowywane w **wakuolach**. Znajdują się tam m.in. glikozydy o intensywnym zabarwieniu (żółte flawony oraz antocyjany, których barwa zależy od pH gleby rośliny).

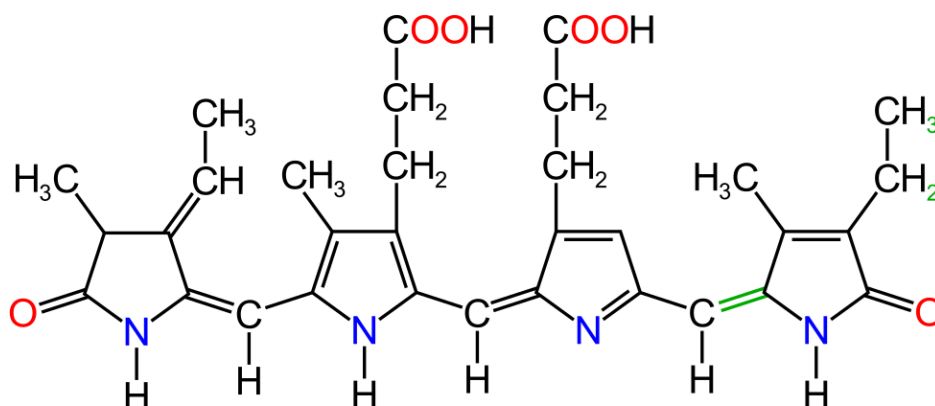


Rysunek 4. Zależność barwy antocyjanów od pH gleby. Począwszy od niskiego pH, antocyjany przybierają barwy czerwone i pochodne. Wraz ze wzrostem zasadowości gleby dochodzi do zmiany barwy przez fioletowy aż do niebieskiego. W odczynie silnie zasadowym antocyjany mogą degradować i przybierać barwę żółtą.

**Barwniki u protistów** samożywnych przybierają różne zabarwienie. Jeśli protist do fotosyntezy używa chlorofilu, to zawsze będzie to **chlorofil a** z dodatkiem innego; np. chlorofilu b (również **zielonego**, ale nieco ciemniejszego), chlorofilu c (o barwie **żółtej**); chlorofilu d (o barwie **czerwonawej**). U bruzdnic oraz okrzemków występuje chlorofil a oraz c.

Wśród barwników **karotenoidowych** (karotenowców) wyróżniamy: karoteny (**pomarańczowy** karoten oraz **czerwony** likopen); oraz ksantofile (**żółte** lub **brunatno-żółte** w przypadku fukoksantyny);

Istnieją także barwniki **fikobilinowe** (występują one głównie u sinic, ale też w chloroplastach glaukocystofitów oraz krasnorostów). Fikobiliny, jako jedyne barwniki fotosyntetyczne są rozpuszczalne w wodzie, w połączeniu z odpowiednimi białkami tworzą struktury antenowe zwane fikobilisomami, które przekazują energię pochłoniętych fotonów na cząsteczki chlorofili fotoukładu II. **Wśród fikobilin wyróżniamy:** fikocyjaninę (**niebieską**) oraz fikoerytrynę (**czerwoną**).



Rysunek 5. **Fikocyjanobilina**. Z chemicznego punktu widzenia fikobiliny zbudowane są na podstawie szkieletu tetrapirolowego – otwartego łańcucha czterech pierścieni pirolowych. Podobny szkielet tetrapirolowy ma bilirubina występująca w żółci oraz fitochrom, natomiast w chlorofilu i hemie zbudowane są z czterech cząsteczek pirolu zamkniętych w pierścieniu porfirynowy.

✓ porównuje drogi przemiany pirogronianu w fermentacji alkoholowej, mleczanowej i w oddychaniu tlenowym;

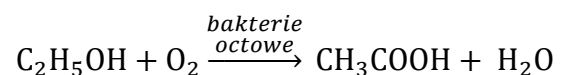
Podczas **glikolizy** w wyniku utlenienia jednej cząsteczki glukozy powstają dwie cząsteczki pirogronianu, który jest zjonizowaną formą kwasu pirogronowego. Los pirogronianu może być różny. Najważniejsze są trzy przemiany, czyli przekształcanie w: **etanol** (fermentacja alkoholowa), **kwas mlekowy** (fermentacja mlekowa/mleczanowa) lub **dwutlenek węgla** (oddychanie tlenowe). Pierwsze dwie reakcje zachodzą w warunkach beztlenowych w procesach fermentacji. Natomiast w warunkach tlenowych pirogronian jest przenoszony do mitochondrium, gdzie – podczas reakcji pomostowej – podlega oksydacyjnej dekarboksylacji (reakcji utlenienia sprzężonej z odłączeniem grupy karboksylowej). Reakcja ta przebiega z wytworzeniem dwutlenku węgla i acetylokoenzymu A (acetylo-CoA), który włączany jest następnie w cykl Krebsa.

<p><b>wariant 1.:</b> przekształcanie pirogronianu w <u>etanol</u> w procesie fermentacji alkoholowej:</p>	<p>Równanie reakcji fermentacji alkoholowej: <math>C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2 C_2H_5OH + 2 CO_2 + \text{energia}</math></p>
<p><b>wariant 2.:</b> przekształcanie pirogronianu w <u>mleczan</u> w procesie fermentacji mlekowej</p>	<p>Równanie reakcji fermentacji mleczanowej: <math>C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2 CH_3CHOHCOOH + \text{energia}</math></p>
<p><b>wariant 3.:</b> przekształcanie pirogronianu w <u>dwutlenek węgla</u> w procesie oddychania tlenowego</p>	<p>acetylo-CoA idzie do cyklu Krebsa.</p>

! zwróć uwagę na powstawanie w tym procesie dwutlenku węgla.

W tym momencie warto wspomnieć również o **fermentacji octowej**. Jest to proces nietypowy, gdyż jego substratem jest **alkohol etylowy**, ten zostaje utleniony do kwasu octowego ( $CH_3COOH$ ). Nie jest jednak procesem właściwej fermentacji, ponieważ zachodzi w warunkach tlenowych.

Bakterie octowe przeprowadzają ten proces jako sposób uzyskiwania energii – jest to reakcja egzoenergetyczna o ujemnej wartości entalpii ( $\Delta H^\circ = -493,3 \text{ kJ/mol}$ ). Energia uwalniana podczas utleniania jest wykorzystywana do produkcji ATP, które bakterie zużywają na wzrost i utrzymanie.



- ✓ przedstawia drogi rozprzestrzeniania się chorób wirusowych zwierząt (nosówka, wścieklizna, pryszczycza) i roślin (mozaika tytoniowa, smugowatość ziemniaka) oraz ich skutki.

**Nosówka** to wysoce zakaźna wirusowa choroba psowatych – należy do najgroźniejszych chorób zakaźnych psów, cechuje się ciężkim przebiegiem i wysoką śmiertelnością. **Źródłem zakażenia są nosiciele i zwierzęta chore, które w wydzielinie z nosa, spojówek, ze śliną i moczem wydają duże ilości wirusa. Zakażenie następuje głównie przez kontakt bezpośredni drogą kropelkową lub pokarmową.** Możliwe jest przeniesienie mechaniczne wirusa przez zwierzęta i człowieka. Po wnikięciu do organizmu, wirus nosówki namnaża się w migdałkach i węzłach chłonnych śródpiersiowych. W wyniku pojawiającej się bardzo szybko wirerii, wirus dociera w ciągu kilku dni do wszystkich narządów limfatycznych, powodując poprzez ich uszkodzenie silną immunosupresję. W trakcie rozwoju zakażenia atakowane są komórki układu oddechowego, pokarmowego, moczowego, skóry oraz układu nerwowego.

**Wścieklizna** to wirusowa choroba atakująca układ nerwowy ssaków, w tym ludzi. **Głównym źródłem zakażenia są chore zwierzęta, które przenoszą wirusa poprzez ślinę, najczęściej w wyniku ugryzienia.** Wirus dostaje się do organizmu przez uszkodzoną skórę lub błony śluzowe, a następnie przemieszcza się wzdłuż nerwów obwodowych do ośrodkowego układu nerwowego, powodując zapalenie mózgu. Objawy obejmują zmiany zachowania, nadpobudliwość, wodowstręt i paraliż, a choroba jest niemal zawsze śmiertelna po wystąpieniu objawów klinicznych. Profilaktyka polega na szczepieniach ochronnych zwierząt domowych oraz unikaniu kontaktu z dzikimi zwierzętami.

**Pryszczycza** to wysoce zakaźna wirusowa choroba zwierząt parzystokopytnych, takich jak bydło, świnie, owce i kozy. **Wirus przenosi się drogą powietrzną, przez kontakt bezpośredni z chorymi zwierzętami, a także pośrednio poprzez skażoną paszę, wodę, sprzęt czy odzież.** Po zakażeniu wirus namnaża się w błonach śluzowych jamy ustnej i gardła, a następnie rozprzestrzenia się po organizmie, prowadząc do powstawania pęcherzy na błonach śluzowych i skórze, zwłaszcza w okolicach racic i pyska. Choroba powoduje spadek produktywności zwierząt, utratę masy ciała i może prowadzić do śmierci, zwłaszcza u młodych osobników. Zwalczanie pryszczycy obejmuje restrykcyjne środki bioasekuracji, kontrolę przemieszczania zwierząt oraz, w niektórych przypadkach, szczepienia.

**Mozaika tytoniowa** to wirusowa choroba roślin, wywołwana przez wirus mozaiki tytoniu (TMV), atakująca głównie rośliny z rodziny psiankowatych, takie jak tytoń, pomidor czy papryka. **Wirus przenosi się mechanicznie poprzez uszkodzenia tkanek roślinnych, np. podczas zabiegów pielęgnacyjnych, a także przez zakażone nasiona i glebę.** Po infekcji wirus powoduje powstawanie charakterystycznych mozaikowatych plam na liściach, deformacje i zahamowanie wzrostu roślin, co prowadzi do obniżenia plonów i pogorszenia jakości produktów roślinnych. Zapobieganie polega na stosowaniu zdrowego materiału siewnego, dezynfekcji narzędzi oraz przestrzeganiu zasad higieny w uprawach.

**Smugowatość ziemniaka** to wirusowa choroba ziemniaka; **wirus przenoszony jest głównie przez mszyce oraz poprzez zakażony materiał sadzeniowy.** Objawy choroby obejmują pojawienie się smug i nekroz na liściach oraz łodygach, co prowadzi do osłabienia rośliny i obniżenia plonów. Wirus może również powodować deformacje bulw, zmniejszając ich wartość handlową. Zwalczanie smugowatości ziemniaka polega na stosowaniu zdrowego materiału nasadzeniowego, kontrolowaniu populacji mszyc oraz przestrzeganiu płodozmianu.

- ✓ przedstawia drogi rozprzestrzeniania się i zasady profilaktyki chorób człowieka wywołanych przez wirusy (wścieklizna, AIDS, Heinego-Medina, schorzenia wywołane zakażeniem HPV, grypa, odra, ospa, różyczka, świnka, WZW typu A, B i C, niektóre typy nowotworów).

**Grypa** to choroba zakaźna górnej części układu oddechowego, wywoływana wirusem grypy. Objawia się wysoką gorączką, dreszczami, bólem mięśni oraz suchym kaszlem, któremu towarzyszy ból w klatce piersiowej. Grypa najczęściej ustępuje samoistnie, bez groźnych następstw, ale może też mieć groźne powikłania, takie jak zapalenie płuc czy trudne do wykrycia zapalenie mięśnia sercowego. **Wirus grypy przenosi się: drogą kropelkową razem z wydzieliną z dróg oddechowych: podczas kaszlenia, wydmuchiwania nosa, mówienia. W jednej kropelce może znaleźć się nawet 1 mln wirionów czyli cząstek wirusa grypy.** Do podstawowych zasad profilaktyki należy: stosowanie masek ochronnych podczas bliskiego kontaktu z osobą chorą zakrywanie ust i nosa chusteczką higieniczną jednorazową podczas kichania i kaszlu; częste mycie rąk wodą z mydłem; unikanie dotykania oczu, nosa, ust – istnieje wówczas ryzyko przeniesienia wirusa.

**Wścieklizna** – wirus wścieklizny przenosi się głównie poprzez ugryzienie przez zakażone zwierzęta, takie jak psy, lisy czy nietoperze. **Wirus obecny jest w ślinie chorego zwierzęcia i dostaje się do organizmu człowieka przez uszkodzoną skórę.** Profilaktyka obejmuje unikanie kontaktu z dzikimi i bezpańskimi zwierzętami, szczepienie zwierząt domowych przeciw wścieklicznie oraz w przypadku ugryzienia przez podejrzanego zwierzę natychmiastowe przemycie rany wodą z mydłem i zgłoszenie się do lekarza w celu podjęcia postępowania poekspozycyjnego, w tym ewentualnego szczepienia.

**AIDS** (zespół nabytego niedoboru odporności) - **wirus HIV przenosi się poprzez kontakt z zakażoną krwią, nasieniem, wydzieliną z pochwy oraz mlekiem matki. Do zakażenia może dojść podczas stosunków płciowych bez zabezpieczenia, używania wspólnych igieł i strzykawek, a także z matki na dziecko w trakcie ciąży, porodu lub karmienia piersią.** Profilaktyka polega na stosowaniu prezerwatyw podczas kontaktów seksualnych, unikaniu dzielenia się igłami i strzykawkami, testowaniu krwi i produktów krwiopochodnych, edukacji na temat HIV/AIDS oraz regularnych testach w grupach ryzyka.

**Choroba Heinego-Medina** (polio) - **wirus RNA polio przenosi się drogą fekalno-oralną, czyli poprzez spożycie skażonej wody lub żywności, a także drogą kropelkową.** Profilaktyka obejmuje szczepienia ochronne przeciw polio, dbanie o higienę osobistą, w tym mycie rąk przed posiłkami, oraz spożywanie bezpiecznej wody i żywności.

**Schorzenia wywołane zakażeniem HPV** (wirus brodawczaka ludzkiego) - **HPV przenosi się głównie poprzez kontakty seksualne, ale także przez kontakt ze skórą i błonami śluzowymi osoby zakażonej.** Profilaktyka obejmuje szczepienia przeciw HPV, zalecane dla dziewcząt i chłopców w wieku 12-13 lat, stosowanie prezerwatyw podczas kontaktów seksualnych (choć nie zapewniają one pełnej ochrony przed HPV) oraz regularne badania cytologiczne u kobiet w celu wczesnego wykrycia zmian przednowotworowych.

**Odra** - **wirus odry przenosi się drogą kropelkową poprzez kaszel, kichanie lub bezpośredni kontakt z wydzielinami osoby zakażonej.** Profilaktyka polega na szczepieniach ochronnych przeciw odrze (szczepionka MMR), unikaniu kontaktu z osobami chorymi oraz izolacji chorych w celu zapobiegania rozprzestrzenianiu się wirusa. Cechą odry jest czerwona wysypka, a do innych objawów należą kaszel, ból gardła, katar i wysoka gorączka.



**Ospa wietrzna** - wirus ospy wietrznej przenosi się drogą kropelkową oraz przez bezpośredni kontakt z płynem z pęcherzyków skórnych osoby chorej. Profilaktyka obejmuje szczepienia ochronne przeciw ospie wietrznej, unikanie kontaktu z osobami chorymi oraz izolację chorych do czasu przyschnięcia wszystkich zmian skórnych. Objawia się gorączką, bólem głowy i swędzącymi krostkami występującymi na całym ciele. Ospa najczęściej przebiega łagodnie, może mieć jednak groźne powikłania, takie jak zapalenie płuc, ucha środkowego i mięśnia sercowego.

**Różyczka** - wirus różyczki **przenosi się drogą kropelkową poprzez kaszel, kichanie lub bezpośredni kontakt z wydzielinami osoby zakażonej**. Profilaktyka polega na szczepieniach ochronnych przeciw różyczce (szczepionka MMR), unikaniu kontaktu z osobami chorymi, zwłaszcza przez kobiety w ciąży, oraz izolacji chorych w celu zapobiegania rozprzestrzenianiu się wirusa. Jej najczęstszym objawem jest różowa wysypka, przypominająca plamki lub grudki. Różyczka u kobiet w ciąży jest niebezpieczna dla płodu – może powodować jego uszkodzenie lub nawet obumarcie.

**Świnka** (nagminne zapalenie przyusznic) - **wirus świnki przenosi się drogą kropelkową poprzez kaszel, kichanie lub bezpośredni kontakt z wydzielinami osoby zakażonej**. Profilaktyka polega na szczepieniach ochronnych przeciw śwince (szczepionka MMR), unikaniu kontaktu z osobami chorymi oraz izolacji chorych. Objawia się gorączką i bolesnym powiększeniem ślinianek przyusznych.

**WZW A** (wirusowe zapalenie wątroby typu A) - **wirus HAV przenosi się drogą fekalno-oralną, czyli poprzez spożycie skażonej wody lub żywności, a także przez kontakt z zakażonymi przedmiotami lub osobami**. Profilaktyka obejmuje szczepienia ochronne przeciw WZW A, dbanie o higienę osobistą, w tym dokładne mycie rąk, oraz spożywanie bezpiecznej wody i żywności.

**WZW B** (wirusowe zapalenie wątroby typu B) - **wirus HBV przenosi się poprzez kontakt z zakażoną krwią, nasieniem lub innymi płynami ustrojowymi. Do zakażenia może dojść podczas stosunków płciowych bez zabezpieczenia, używania wspólnych igieł i strzykawek, procedur medycznych przy użyciu niesterylnych narzędzi, a także z matki na dziecko podczas porodu**. Profilaktyka polega na szczepieniach ochronnych przeciw WZW B, stosowaniu prezerwatyw podczas kontaktów seksualnych, unikaniu wspólnego używania igieł i strzykawek oraz przestrzeganiu zasad higieny podczas procedur medycznych i kosmetycznych. Przed operacjami często sprawdza pacjenta pod kątem właśnie tego rodzaju WZW.

**WZW C** (wirusowe zapalenie wątroby typu C) - **wirus HCV przenosi się głównie poprzez kontakt z zakażoną krwią. Do zakażenia może dojść podczas używania wspólnych igieł i strzykawek, niesterylnych narzędzi medycznych lub kosmetycznych, a rzadziej podczas kontaktów seksualnych czy z matki na dziecko w trakcie porodu**. Profilaktyka obejmuje unikanie dzielenia się igłami i strzykawkami, stosowanie jednorazowych lub sterylnych narzędzi podczas zabiegów, oraz wykonywanie testów na obecność HCV w grupach ryzyka. **Obecnie nie istnieje szczepionka przeciw WZW C, dlatego ten rodzaj określa się najniebezpieczniejszym spośród innych WZW.**

✓ wyjaśnia różnice między bakteriami i archeowcami;

Bakterie to najliczniejsza grupa prokariotów. Archeowce są grupą, która zawiera w sobie cechy zarówno bakterii i eukariotów.

**Bakterie i archeowce** to grupy prokariotów (organizmów bez jądra komórkowego). Wspólnymi ich cechami są: obecność nukleoidu; brak otoczki jądrowej; brak jądra komórkowego; brak organelli komórkowych otoczonych błoną.

**W przeciwieństwie do bakterii, archeowce:** mają w niektórych genach introny (fragmenty niekodujące białek ani RNA); ich DNA jest związany z histonami (a nie z białkami niehistonowymi, jak u bakterii); w ich ścianie komórkowej występuje pseudomureina (zamiast peptydoglikanu mureiny jak u bakterii); archeowce nie mają fosfolipidów w błonach (bakterie mają); archeowce mają w błonie komórkowej wiązania eterowe (a nie estrowe jak u bakterii) – dzięki temu ich błona jest stabilniejsza, co wyraża się przez ich występowanie w ekstremalnych środowiskach (patrz: niżej).

Archeowce mogą żyć w środowiskach tak ekstremalnych, że tylko nieliczne inne organizmy są w stanie tam przetrwać. Tego typu organizmy nazywa się **ekstremofilami**. Wśród nich wyróżnia się ekstremalne halofile i termofile. Ekstremalne halofile żyją w mocno zasolonych środowiskach. Takie warunki panują w Wielkim Jeziorze Słonym w Utah (USA) lub w np. jeziorze Torrevieja w Hiszpanii. Różowa barwa wody pochodzi od tlenowców z rodzaju *Halobacterium*. Ten archeowiec zawiera czerwony barwnik błonowy (**bakteriorodopsynę**), który wykorzystuje energię słoneczną do prowadzenia syntezy ATP.

---

✓ przedstawia formy morfologiczne protistów;

**Protisty** to w większości organizmy jednokomórkowe o zróżnicowanej budowie zewnętrznej. Występują także formy wielokomórkowe, które jednak nie mają typowych tkanek.

**Do protistów jednokomórkowych** należą: okrzemki, orzęski (np. pantofelek); eugleniny (np. klejnotka); śluzowce; świdrowce (są to groźne pasożyty dla człowieka); zarodźce (np. malaryczne). Do nich należy również *Toxoplasma gondii* – pierwotniak wywołujący toksoplazmozę. Protisty jednokomórkowe mogą przybierać różne formy morfologiczne (głównie pełzakowate i kokoidalne (nieruchome, np. okrzemki)).

**pełzaki (ameby)**

pełzaki mogą przybierać dowolne kształty, potrafią poruszać się wysuwając specjalne wypustki cytoplazmatyczne – nibynóżki, przelewają do nich stopniowo cytoplazmę. Jest to ruch pełzakowaty, inaczej ameboidalny lub pseudopodialny.

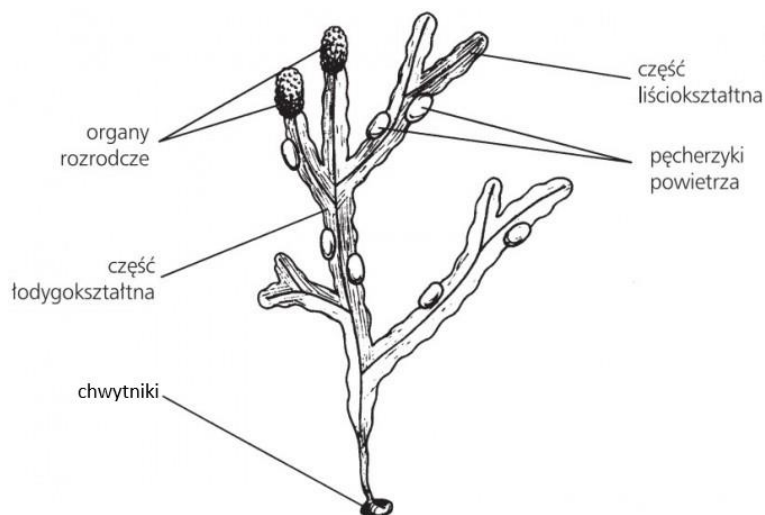
**wiciowce**

wiciowce posiadają jedną lub kilka wici służących do poruszania się, jeśli komórka posiada wiele krótkich wici, określa się je mianem rzęsek. **Plechę taką (jednej, nagiej komórki wraz z wicią lub kilkoma wiciami nazywamy monadą)**. Wiciowce mają zazwyczaj określony i mało zmienny kształt, głównie ze względu na obecność pellikuli, a czasem obecność pancerzyka lub ściany komórkowej. Dzięki wiciom i rzęskom możliwy jest ruch undulipodialny.

**Komórczaki** zbudowane są z jednej komórki, która posiada dużą ilość jąder komórkowych. Kolonie to zgrupowanie jednokomórkowych osobników, które żyją w skupieniach, aczkolwiek zachowują pewną autonomiczność i mogą funkcjonować jako niezależne organizmy.

**Protisty wielokomórkowe** zbudowane są z wielu komórek, organizmy te nie wykształcają tkanek, ciało ma postać plechy. Wyróżniamy kilka rodzajów plechy wielokomórkowej:

rodzaj plechy wielokomórkowej	opis
komórczakowa	zbudowana z licznych wielojądrowych komórek (albo jednej wielojądrowej w skrajnych przypadkach) – powstają w wyniku wielokrotnych podziałów mitotycznych jądra (kariokinezy) bez cytokinezy (podziału cytoplazmy) – <i>występuje często w postaci służni u protistów grzybopodobnych.</i>
nitkowata	utworzona z nici zbudowanych z długich ciągów komórek
nibytankowa (plektenchymatyczna)	utworzona z wielokomórkowych nici, które ciasno się splatają i tworzą nibytankę (plektenchymę);
tkankowa	utworzona z najczęściej tkanki twórczej i miękiszowej – najwyżej uorganizowane plechy tkankowe mają wyspecjalizowane komórki przewodzące asymilaty; <i>tę plechę wykazuje m.in. Wielkomorszcz gruszkonośny – przypomina on roślinę, a należy do brunatnic. Posiada chwytniki, część łodygokształtną i część liściokształtną</i>



Rysunek 6. **budowa Wielkomorszcza gruszkonośnego (Macrocyctis pyrifera)** – jest to glon morski z gromady brunatnic. Plecha składa się z bardzo długiej części łodygokształtnej (kauloidu), złożonej z wyrastających z niej na całej prawie długości "liści" części liściokształtnej (fylloidu), oraz złożonej z korzeniopodobnych chwytników części chwytnikowej (stopki, ryzoidu), którą wielkomorszcz przytwierdza się do podłoża.

✓ rozdzielenie, krasnorosty i glaukocystofity.

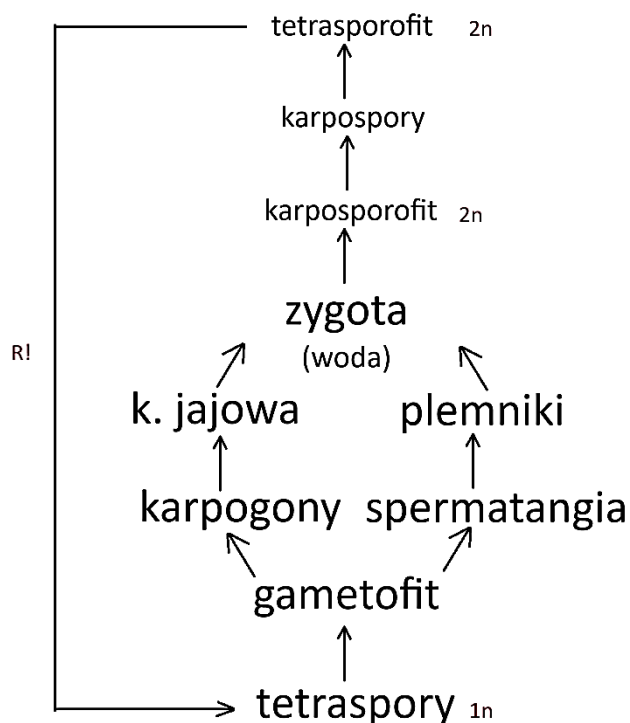
Podane trzy grupy organizmów należą do **roślin pierwotnie wodnych**.<sup>4</sup> Są to przedstawiciele autotroficznych, prowadzący fotosyntezę oksygeniczną. Za przynależnością zielenic, krasnorostów i glaukocystofitów do królestwa roślin przemawia budowa chloroplastów (otoczone są dwiema błonami biologicznymi i powstały w wyniku endosymbiozy pierwotnej).

**Zielenice** liczą sobie około 9000 gatunków i występują w różnorodnych formach przedstawionych w przypisie. Zielenice są w większości organizmami autotroficznymi i zajmują stanowiska wodne i wilgotne. Często wchodzi w związek symbiotyczny z grzybami, z którymi współtworzą porosty w zależności helotyzmu. **Zielenice mają chloroplasty z barwnikami fotosyntetycznymi, takimi jak chlorofil a i b, ksantofil i karoten, a ich produktem asymilacji jest wielocukier – skrobia. Tak jak u roślin typowo lądowych, ściana komórkowa zielenic zbudowana jest z wielocukru celulozy.** Zielenice rozmnażają się na drodze podziału komórki, fragmentacji plechy lub za pomocą zarodników (zoospor i nieruchliwych aplanospor). *Do zielenic należy m.in. ulwa sałatowa (Ulva lactuca) o budowie plechowej i izomorficznej przemianie pokoleń.*

**Glaukocystofity** to jednokomórkowe rośliny o zróżnicowanej budowie – należą tu zarówno organizmy ruchliwe, z dwoma niciami, ale też formy nieruchliwe, kokoidalne. Ich ściana komórkowa zbudowana jest z celulozy, a materiałem zapasowym jest skrobia. **Brak jest jednak u tej grupy właściwych chloroplastów – wykształcają się u nich odrębne organelle zwane cyjanellami.** Tylakoidy glaukofitów ułożone są brzeżnie, w sposób przypominający ten, który obserwuje się u sinic. Między dwiema błonami śródplazmatycznymi zachowała się **ściana peptydoglikanowa – typowa dla bakterii.** Również obecność chlorofilu a i fikobilin (fikoerytryn i fikocyjanin) w chloroplastach sugeruje, że organelle te powstały przez endosymbiotyczne połączenie sinic i pozbawionych plastydów jednokomórkowych przodków roślin.

**Krasnorosty** zasiedlają przybrzeżne strefy ciepłych wód morskich (z wyjątkiem nielicznych gatunków wód słodkowodnych). Zazwyczaj mają wielokomórkowe plechy nibytankowe, które są przytwierdzone do podłoża za pomocą chwytników. W ich chloroplastach oprócz chlorofilu i karotenoidów znajdują się także **fikobiliny** charakterystyczne dla sinic (**a szczególnie sporo jest fikoerytryny**). Z tego powodu plechy krasnorostów przyjmują nierzadko czerwone zabarwienie. **Cechą charakterystyczną krasnorostów jest brak stadium wiciowego, odróżniający je od większości glonów (wici nie posiadają nawet plemniki).**

**W cyklu wytwarzają trzy pokolenia (gametofit, karposporofit oraz tetrasporofit).**



<sup>4</sup> rośliny te pod wieloma względami przypominają protisty roślinopodobne – wyróżnia się wśród nich **formy jednokomórkowe kokoidalne** (np. chlorella należąca do zielenic); **jednokomórkowe wiciowcowe** (np. zawłotnia należąca do zielenic); **kolonijne** (np. u gwiazdoszka lub toczka, należących do zielenic); **plechowe** (nitkowate np. u zabirosli należącej do krasnorostów lub skrętnicy należącej do zielenic); **komórczakowe** np. u petzątek należących do zielenic; **nibytankowe** u krasnorostów z rodzajów *Asparagopsis* oraz *Coralina*).

- ✓ na podstawie obecności charakterystycznych cech identyfikuje nieznanego organizm jako przedstawiciela paprociowych, widłakowych lub skrzypowych,

Podane trzy grupy organizmów należą do paprotników – te pospolicie występują w strefie umiarkowanej, gdzie są składnikiem runa leśnego i podszytu. Nieliczne gatunki żyją również w zbiornikach wodnych (np. *salwinia pływająca*). Paprotniki są organowcami i roślinami zarodnikowymi. Nie wytwarzają kwiatów i owoców.

**Paprocie** wytwarzają krótkie i dość grube kłęczka (przekształcenia pędu), które rosną pod ziemią. Z nich wyrastają w dół liczne korzenie przybyszowe, a do góry liście, które za młodu są pastorałowato zwinięte, co obserwuje się np. u nercznicy samczej. Liście mogą pełnić dwie funkcje: odżywiania i rozmnażania. Liście asymilacyjne (**trofofile**) są żywozielone. Czasem po spodniej ich stronie można znaleźć żółte, potem brązowe narośla – zarodnie produkujące zarodniki. Niekiedy do wytwarzania zarodników służą brunatne, wyglądające na uschnięte liście zarodnionośne (**sporofile**) z zarodnikami. Do paproci należą m.in. **nercznica samcza, orlica pospolita, długosz królewski, pióropusznik strusi, jęczyznik zwyczajny** ([kliknij, aby sprawdzić zdjęcie](#)), **marsylia czterolistna** ([kliknij, aby sprawdzić zdjęcie](#)).

**Skrzypy** osiągają zazwyczaj niewielkie rozmiary, a ich pędy rozrastają się pod ziemią w postaci kłęczki. Liście tych roślin są małe i łuskowate, a więc ich udział w fotosyntezie jest niewielki. Funkcję asymilacyjną pełnią zielone łodygi i ich rozgałęzienia. Niektóre skrzypy wypuszczają dwa rodzaje pędów – zielone pędy letnie oraz zarodnionośne pędy wiosenne. U innych gatunków kłosa z zarodnikami są zlokalizowane na szczytach zielonych pędów. Do skrzypów należą m.in.: **skrzyp polny, skrzyp leśny, skrzyp olbrzymi** ([kliknij, aby sprawdzić zdjęcie](#)).

**Widłaki** to zimozielone rośliny leśne, a swoją nazwę zawdzięczają widlastym rozgałęzieniom łodyg i korzeni. Długie i wiotkie łodygi płożą się po ziemi, do której przytwierdzają się cienkimi korzeniami. Liście asymilacyjne gęsto pokrywają łodygę (są drobne i łuskowate). U niektórych z płożącego się pędu wyrastają ku górze krótkie odgałęzienia zakończone kłosami zarodnionośnymi. Do widłakowych należą m.in.: **widłak goździsty, widłak jałowcowaty, widłak wroniec** ([kliknij, aby sprawdzić zdjęcie](#)).

Tabela 1. cechy charakterystyczne poszczególnych grup wśród paproci, skrzypów i widłaków.

	paprocie	skrzypy	widłaki
liście duże, pierzasto podzielone	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
liście zielone, drobne, łuskowate, gęsto ułożone	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
zielone pędy boczne wyrastające wokół łodygi	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
łodyga płożąca się po ziemi	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
spichrzowa łodyga podziemna	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
długie kłęczki z podziemnymi bulwkami	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



✓ rozdzielić formy morfologiczne roślin okrytonasiennych (rośliny zielne, krzewinki, krzewy, drzewa);

Okrytonasienne wykazują liczne adaptacje do środowiska. Jedną z nich jest wytwarzanie trwałych organów. Ze względu na te organy wyróżnia się drzewa, krzewy, krzewinki i rośliny zielne.

**Drzewa** to długowieczne rośliny o zdrewniałej i pokrytej korkiem (fellemem) łodydze nazywanej pniem. Jego rozgałęzienia porośnięte liśćmi tworzą koronę, której kształt jest charakterystyczny dla danego gatunku. Drzewa okrytonasienne tworzą lasy liściaste i mieszane w strefie umiarkowanej i bogate w gatunki lasy tropikalne. Wśród drzew spotyka się okazy o bardzo dużych rozmiarach. Jednym z najwyższych drzew jest żyjący w Australii eukaliptus, który mierzy ponad 120 m. Najgrubsze drzewa to baobaby, których pień osiąga średnicę nawet 11 m.

**Krzewy** osiągają wysokość do 5 m. Nie mają pnia głównego (lub jest on bardzo krótki), a zamiast niego wytwarzają pęk pędów o podobnej grubości. Krzewy żyjące w naturze, jak leszczyna, trzmielina, bez czarny, kalina, tworzą w lasach liściastych i mieszanych warstwę podszytu. W parkach i ogrodach krzewy sadzi się jako rośliny ozdobne, przykładem są tu bez lilak i forsycja.

Wśród zdrewniałych roślin wieloletnich wyróżnia się **krzewinki** – niskie (do 50-60 cm) rośliny wieloletnie o trwałych, dosyć cienkich pędach. Pokładają się i płożą po ziemi, tworząc krzaczastą darni. Niektóre są zimotrwałe, jak borówka brusznica, której grube, skórzaste liście mogą przetrwać zimę. Inne, jak borówka czarna, w okresie jesienno-zimowym pozostają w stanie bezlistnym. Krzewinki występują powszechnie w lasach liściastych i iglastych oraz na torfowiskach. **Do krzewinek należą np.: barwinek pospolity, borówka brusznica, mącznica lekarska, wrzos zwyczajny.**

**Rośliny zielne** to rośliny o zielonej, niezdrewniałej lub w niewielkim stopniu zdrewniałej łodydze, z nagimi pąkami. Łodyga roślin zielnych okryta jest skórą (*epidermą*), pod którą znajduje się kora pierwotna i tkanki przewodzące (**przypomnienie:** u roślin u jednoliściennych rozrzucone na całym przekroju, u dwuliściennych ułożone w formie pierścienia z wypełnionym miękiszem rdzeniem).

**Ze względu na czas życia rośliny zielne dzieli się na:** jednoroczne (pod koniec sezonu wegetacyjnego po wydaniu nasion – umierają); dwuletnie (podczas pierwszego roku tworzy się jedynie krótki pęd z rozetą liści asymilujących oraz organy spichrzowe, a w drugim roku wykształcają się pędy i nasiona, po czym roślina zamiera<sup>5</sup>); byliny (rośliny zielne żyjące dłużej niż dwa lata, wielokrotnie wydają nasiona lub zarodniki, w okresach niekorzystnych przyjmują różne formy życiowe).

Do roślin **jednorocznych** należą m.in.: nagietek, nasturcja, słonecznik zwyczajny, rzepak, pszenica, jęczmień, kukurydza.

Do roślin **dwuletnich** należą m.in.: bratek, stokrotka, niezapominajka, goździk, kapusta, cebula, burak, marchew, pietruszka.

Do **bylin** należą m.in.: funkia, liliowiec, piwonia, truskawka, poziomka, szczaw, rabarbar, chmiel.

---

<sup>5</sup> Pierwszy sezon wegetacyjny umożliwia wytworzenie i zmagazynowanie substancji zapasowych. Mogą być one gromadzone w liściach, korzeniu spichrzowym lub bulwach. Zmagazynowane w pierwszym roku wegetacji materiały zapasowe zużywane są w roku następnym w celu szybkiego wytworzenia organów generatywnych. Do roślin dwuletnich należy wiele roślin uprawianych w celu pozyskania organów spichrzowych takich jak kapusta, buraki, marchew itp.

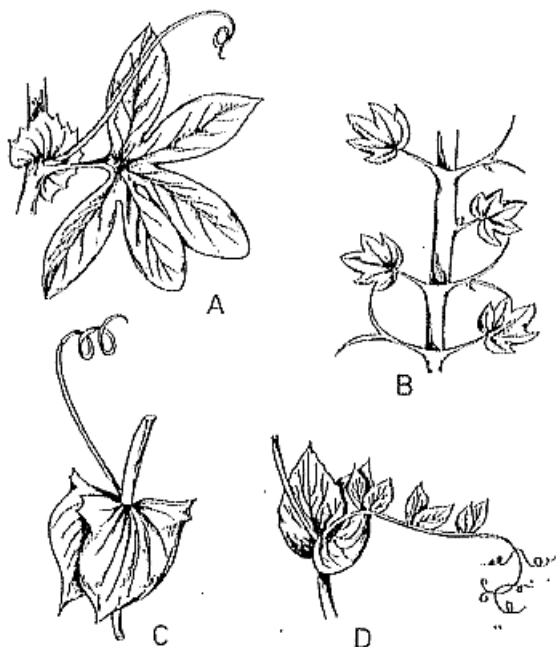
- ✓ opisuje modyfikacje korzeni, łodyg i liści jako adaptacje roślin okrytonasiennych do życia w określonych środowiskach.

PRZEKSZTAŁCENIA ŁODYGI			
L.p.	nazwa modyfikacji	funkcje	przykład
1.	bulwy	są krótkie, silnie zgrubiałe, występują pod ziemią, mają ograniczony wzrost. Pełnią funkcję spichrzową, a także są organem rozmnażania wegetatywnego. Posiadają wiele leukoplastów.	kalarepa, ziemniak, byliny
2.	rozłogi	służą do rozmnażania wegetatywnego, płożą się po powierzchni ziemi	truskawka, poziomka, pięciornik
3.	kłacze	są większe od bulw, bo mają nieograniczony wzrost. Są spichrzowe, służą do rozmnażania wegetatywnego, a także są organem przetrwalnikowym	imbir, konwalia, irys
4.	wąsy czepne	są wiotkie, cienkie, umożliwiają owijanie się wokół podpory	winorośl, rośliny pnące
5.	ciernie	są to sztywne, zaostrzone i silnie zdrewniałe odgałęzienia boczna łodygi. Chronią przed roślinożercami.	głóg, śliwa tarnina
6.	gałęziaki	przekształcenia łodyg, które stanowią boczne odgałęzienia pędu. Przypominają liście i pełnią funkcję asymilacyjną.	szparag, myszopłoch, kokietnik
7.	łodygi spichrzowe sukulentów	mają miękisz wodny, magazynują wodę i przeprowadzają fotosyntezę	sukulenty, np. kalanchoe, rozchodnik, grubosz

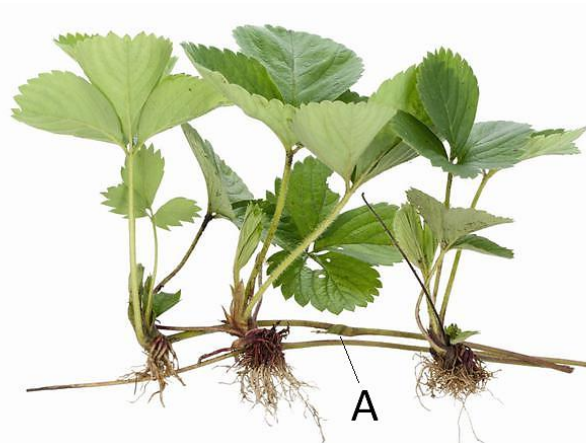
PRZEKSZTAŁCENIA KORZENI			
L.p.	nazwa modyfikacji	funkcje	przykład
1.	korzenie spichrzowe	grube i mięsiste korzenie magazynujące substancje odżywcze w komórkach miękiszu spichrzowego; umożliwiają roślinie przetrwanie zimy oraz wzrost i rozwój jej organów nadziemnych wiosną.	marchew, burak, żeń-szeń, rzodkiewka, dalia
2.	korzenie podporowe	korzenie te wyrastają z dolnej części ziemi i wrastają w podłoże; podpierają rośliny rosnące na grząskim, pulchnym i błotnistym podłożu; występują u roślin o długich nadziemnych pędach;	rośliny o płytkim systemie korzeniowym, np. mangrowce, kukurydza, figowce
3.	korzenie czepne	są to korzenie przybyszowe, które wyrastają z łodygi. Owijają się wokół podpor lub zakotwiczą w ich szczelinach i nierównościach; przytwierdzają rośliny do podpór, którymi w naturalnym środowisku są zwykle pnie i gałęzie drzew; często występują u pnączy i epifitów	epifity, np. wanilia pnącza, np. bluszcz
4.	korzenie powietrzne	korzenie te swobodnie zwisają w powietrzu – są pokryte welamenem, czyli wielowarstwową skórą zbudowaną z martwych komórek otoczonych porowatymi ścianami; korzenie te wchłaniają wodę deszczową lub parę wodną	epifity, np. storczyki
5.	ssawki (haustoria)	są to korzenie, które wrastają do tkanek przewodzących rośliny żywicielskiej; służą do pobierania z tkanek żywiciela wody z solami mineralnymi, a niekiedy także produktów fotosyntezy	rośliny pasożytnicze, np. kanianka, rośliny półpasożytnicze, np. jemiola
6.	korzenie oddechowe (pneumatofory)	korzenie oddechowe stanowią pionowe, wystające z gleby odgałęzienia podziemnego systemu korzeniowego, zaopatrują w tlen podziemny rośliny korzeniowe	rośliny terenów bagnistych, rosnące w ciepłym klimacie, np. cypryśnik błotny

PRZEKSZTAŁCENIA LIŚCI			
L.p.	nazwa modyfikacji	funkcje	przykład
1.	liście pułapkowe	są wyspecjalizowane w chwytaniu i trawieniu drobnych zwierząt bezkręgowych, głównie owadów. Chwytają, trawią zwierzęta, dzięki czemu rośliny otrzymują związki azotu.	muchotówka, rosiczka, dzbanecznik
2.	liście spichrzowe	są to grube, mięsiste liście, bogaty w miękki spichrzowy. Magazynują substancje odżywcze lub wodę z solami mineralnymi.	np. kapusta, cebula, agawa, aloes
3.	liście łuskowate	są to liście suche, bezzieleniowe, ochraniają delikatne – głębiej położone struktury roślin, np. zawiązki liści.	lilak, tulipan
4.	ciernie	są to liście zredukowane, sztywne, zaostrzone, zwykle silnie zdrewniałe. Chronią przed zwierzętami roślinożernymi oraz ograniczają transpirację	wiele roślin stanowisk suchych, np. kaktusy
5.	liściaki	są to liście o silnie zredukowanej blaszce liściowej i dobrze rozwiniętych, sztywnych, spłaszczonych ogonkach liściowych; pełnią funkcję asymilacyjną przejętą od blaszek liściowych, które uległy redukcji.	akacja
6.	liście czepne – wąsy	są to liście lub części liścia przekształcone w długie wąsy – umożliwiają roślinie przyczepianie się do podpory.	np. wyka
7.	pochwy kwiatostanowe	są to zwykle duże, barwne struktury – otaczają niepozorne kwiatostany; przywabiają zwierzęta zapylające	anturium

**Uwaga.** – nie należy mylić cierni (przekształceń łodygi lub liścia) z kolcami (wytworem skórki np. róży); należy również zwracać uwagę nad różnicami w pochodzeniu cierni u głogu i śliwy tarniny (modyfikacja łodygi) i kaktusów (ciernie są u nich modyfikacją liści). Należy sobie również zdawać sprawę z odrębnego pochodzenia wąsów wyka (przekształcenie liści) i wąsów winorośli i pnączy (przekształcenie łodygi).



Rysunek 8. Wąsy. A, B - pochodzenia pędowego u męczyńcy i winorośli; C, D - pochodzenia liściowego u lędźwiana i u grochu.



Rysunek 7. Rozłogi poziomki. A – pęd pachwinowy; z pąka pachwinowego co drugiego liścia rozwija się nowy pęd, z węzła równocześnie wyrastają korzenie przybyszowe – tak powstają nowe rośliny, które oddzielają się od rośliny macierzystej przez obumarcie łączącego je rozłogu.

✓ przedstawia adaptacje anatomiczne i fizjologiczne roślin typu C4 i CAM do przeprowadzania fotosyntezy w określonych warunkach środowiska.

Aparaty szparkowe otwierają się na ogół w świetle, w warunkach dobrego zaopatrzenia w wodę i małego stężenia CO<sub>2</sub> w przestworach międzykomórkowych. Ciemność, niedostatek wody i zwiększone stężenia dwutlenku węgla w tkance (w wyniku oddychania) powodują zamknięcie szparek. Jedynie niektóre rośliny, żyjące w bardzo suchym, kserofitycznym środowisku, otwierają szparki w nocy, gdy maleje transpiracja.

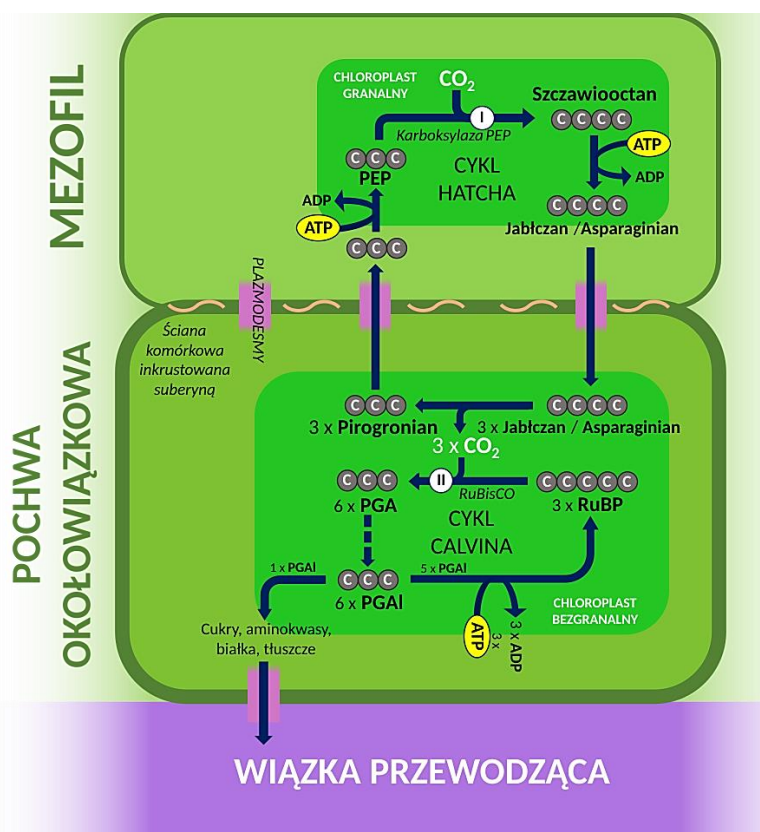
**Rośliny C4** (takie jak kukurydza, trzcina cukrowa, proso zwyczajne) wykształciły zatem dodatkowy mechanizm wiązania dwutlenku węgla, który poprzedza reakcje cyklu Calvina-Bensona. Szlak wstępnego wiązania CO<sub>2</sub> jest nazywany również **szlakiem Hatcha-Slacka** i szlakiem C4. **Ostatnia nazwa bierze się z tego, że rośliny typu C4 najpierw wiążą CO<sub>2</sub> do czterowęglowego szczawiooctanu.** Rośliny typu C4 rosną w klimacie gorącym i muszą chronić się przed nadmierną transpiracją, zamykając aparaty szparkowe. To ogranicza ubytek wody, ale także dopływ CO<sub>2</sub> do wnętrza liścia, niezbędnego w procesie fotosyntezy, zatem szlak C4 (Hatcha-Slacka) to mechanizm prowadzący do zagęszczenia dwutlenku węgla do takiego poziomu, który umożliwi wydajne funkcjonowanie cyklu Calvina.

Głównym enzymem szlaku C4 jest karboksylaza fosfoenolopirogronianowa (karboksylaza PEP), która ma duże powinowactwo do CO<sub>2</sub> i może go wiązać nawet, gdy jego stężenie jest bardzo małe. Jej zadaniem jest zatem katalizowanie reakcji wiązania CO<sub>2</sub> z fosfoenolopirogronianem (PEP) – pierwotnym akceptorem dwutlenku węgla u roślin C4 (oraz CAM) – wskutek tego powstaje czterowęglowy szczawiooctan.

Liście roślin C4 mają charakterystyczną budowę anatomiczną, w której można wyróżnić komórki **miękiszki liścia (komórki mezofilu)** oraz specjalną grupę komórek otaczających wiązki przewodzące, zwaną **pochwą okołowiązkową**. Te dwa typy komórek są połączone rozbudowaną siecią plazmodesm.

**Włączenie CO<sub>2</sub> w związki czterowęglowe u roślin C4 odbywa się w komórkach mezofilu.** Następnie czterowęglowe związki są transportowane do komórek **pochwy okołowiązkowej, w których występuje RuBisCO i przebiega cykl Calvina-Bensona.**

Aby związane w szczawiooctanie CO<sub>2</sub> mógł wejść do cyklu Calvina, szczawiooctan zostaje przekształcony w **jabłczan** w reakcji zależnej od NADPH. Jabłczan transportowany jest do chloroplastów komórek pochwy okołowiązkowej, gdzie podlega **enzymatycznej dekarboksylacji do trójwęglowego pirogronianu**. Produktami tej reakcji są dwutlenek węgla i NADPH. Uwolniony CO<sub>2</sub> włącza się w typowy cykl Calvina, reagując z pięciowęglowym rybulozo-1,5-bisfosforanem (RuDP) – wtórnym akceptorem dwutlenku węgla u roślin C4 i CAM. Z kolei pirogronian powraca do komórek mezofilu i przy udziale ATP odtwarza fosfoenolopirogronian, który może być ponownie użyty do wiązania CO<sub>2</sub> z atmosfery.

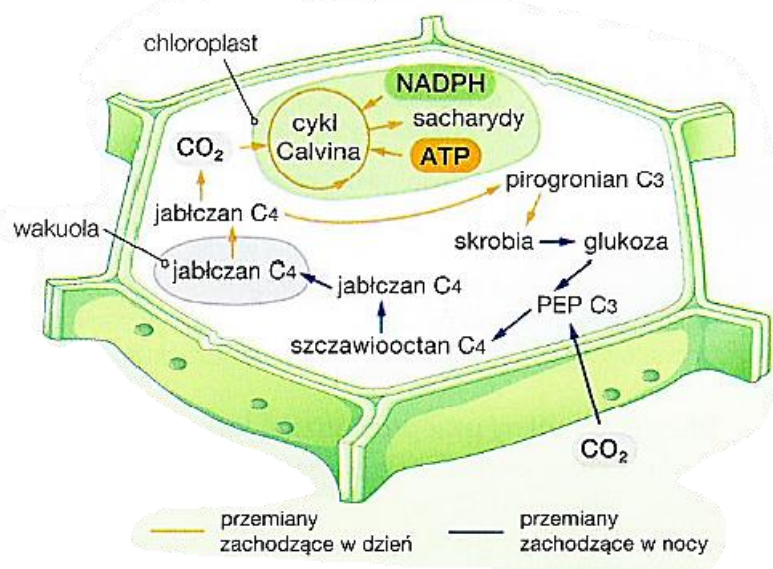




**Rośliny CAM** – nazwa szlaku CAM (ang. *crassulacean acid metabolism*) – wywodzi się od nazwy rodziny gruboszowatych, w których wykryto go po raz pierwszy. Do grupy roślin CAM należą gatunki rosnące w klimacie półpustynnym. Należą do nich m.in. sukulent, kaktusy, ale też ananas, wanilia i agawa. Rośliny te muszą prowadzić oszczędną gospodarkę wodną i otwierają szparki tylko w nocy, gdy temperatura otoczenia obniża się dość znacznie. Fotosynteza CAM charakteryzuje się dwoma etapami wiązania CO<sub>2</sub>:

**Noc** – w nocy do fosfoenolopirogronianu (PEP) przyłączany jest CO<sub>2</sub>. W reakcji tej powstaje szczawiooctan, który następnie redukowany jest do jabłczanu i w tej postaci CO<sub>2</sub> niezbędny do przeprowadzania fotosyntezy transportowany jest do wakuoli i magazynowany.

**Dzień** – w dzień jabłczan z wakuoli transportowany jest do cytozolu, gdzie zachodzi reakcja dekarboksylacji przeprowadzana przez enzym jabłczanowy. Wydzielony CO<sub>2</sub> pokrywa zapotrzebowanie cyklu Calvina-Bensona w okresie, kiedy intensywnie zachodzi faza jasna fotosyntezy, a pobieranie CO<sub>2</sub> jest ograniczone w wyniku zamknięcia aparatów szparkowych.



Szlak CAM wymaga zużycia większej ilości ATP niż szlaki C<sub>3</sub> i C<sub>4</sub>, **ponieważ ATP jest wymagane w wielu etapach tego szlaku** – między innymi jest potrzebne do transportu jabłczanu.

Adaptacje roślin CAM do **długotrwałej suszy** (magazynowanie wody w łodygach i liściach) doprowadziły do powstania rozmaitych form sukulentów.

Rysunek 9. Rośliny typu CAM, dzięki zamykaniu aparatów szparkowych w dzień, prowadzą bardzo oszczędną gospodarkę wodną. Rezultatem jest jednak ich bardzo powolny wzrost.

### Porównanie przebiegu fotosyntezy u roślin typu C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> i CAM

Cechy	Typ roślin		
	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	CAM
Miejsce zachodzenia fotosyntezy	miękkisz asymilacyjny	miękkisz asymilacyjny i komórki pochwy okołowiązkowej	miękkisz asymilacyjny
Pora doby, w której zachodzi wiązanie CO <sub>2</sub>	dzień	dzień	noc
Pierwszy akceptor CO <sub>2</sub>	rybulozo-1,5-bisfosforan (RuBP)	fosfoenolopirogronian (PEP)	fosfoenolopirogronian (PEP)
Enzym przeprowadzający karboksylację	karboksylaza 1,5-bisfosforybulozy	karboksylaza fosfoenolopirogronianowa	karboksylaza fosfoenolopirogronianowa
Pierwotny produkt karboksylacji	3-fosfoglicerynian	szczawiooctan	szczawiooctan

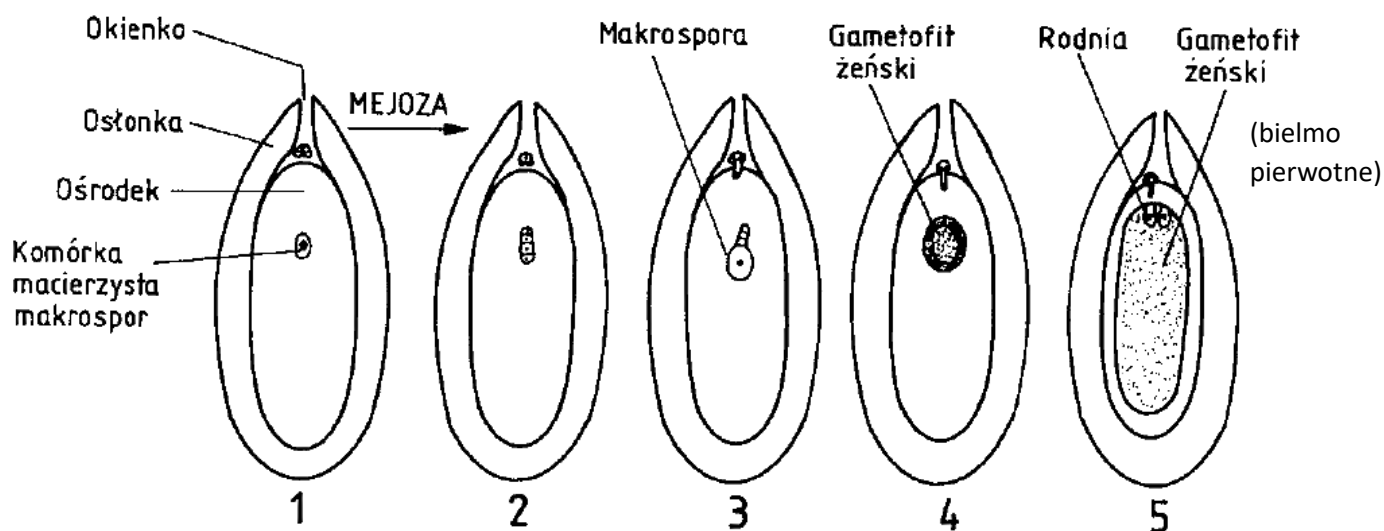
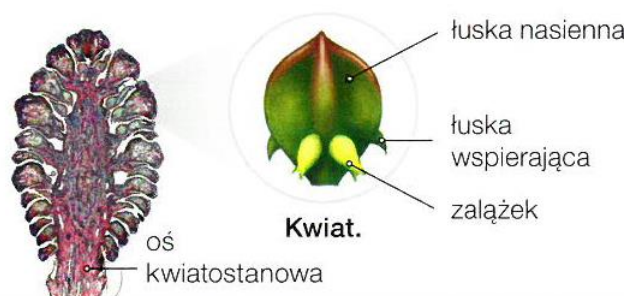
pierwotną



✓ opisuje sposób powstawania gametofitów roślin nasiennych;

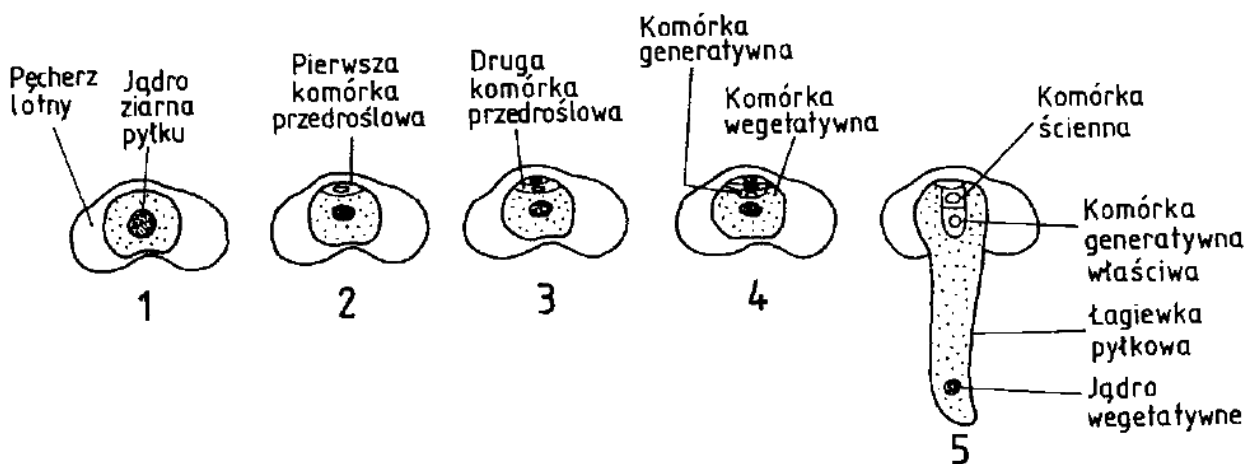
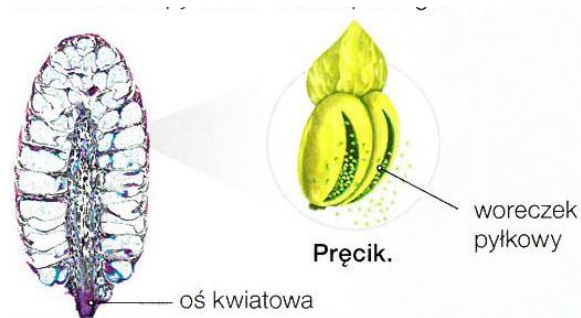
**Sporofit nagonasienny** jest zazwyczaj dużym drzewem, na którym występują osobno strobile męskie (mikrostrobile) i żeńskie (makrostrobile), nazywane często kwiatami męskimi oraz żeńskimi. Charakterystyczną cechą są więc jednopłciowe kwiaty oraz nieosłonięte zalążki i nasiona.

**Nagonasienne żeńskie:** kwiatostan żeński (strobilostan) składa się z kwiatów żeńskich. Każdy kwiat jest zbudowany z łuski nasiennej (owocolistka, odpowiednika makrosporofilu) i łuski wspierającej. U nasady łuski nasiennej znajdują się dwa zalążki – makrosporangia – w niej dochodzi do rozwoju makrospory i gametofitu żeńskiego. Gametofit żeński (bielmo pierwotne z dwoma rodniami) powstaje w zalążku:



1. jeden zalążek składa się z okienka (mikropyle), pojedynczej osłonki, ośrodka zalążka oraz **komórki macierzystej makrospor** zwana **komórką archesporialną (makrosporocyt, 2n)**, która przechodzi podział mejotyczny, wskutek czego powstają **cztery makrospory (megaspory)**.
2. powstaje tetrad ułożonych liniowo makrospor.
3. trzy makrospory bliższe mikropyle **zanikają**, tylko jedna się powiększa i rozwija dalej.
4. jądro komórkowe makrospory dzieli się wielokrotnie (kariokineza) i powstaje wielokomórkowy gametofit żeński.
5. gametofit żeński zbudowany jest z tkanki mięksiszowej zawierającej dużo materiałów odżywczych, a na jego biegunie mikropylarnym powstają z czasem dwie (lub więcej) rodnie – zagłębione są w tkance gametofitu i składają się z części brzusznej, zajętej przez jedną wielką komórkę jajową, oraz z szyjki złożonej z kilku komórek. W tym stadium gametofit żeński jest gotowy do przyjęcia komórki plemnikowej.

**Nagonasienne męskie:** mikrospobile są drobne, szyszkowate, składają się z osi oraz ustawionych na niej gęsto łuskowatych mikrosporofili (pręcików) mających u podstawy po dwa mikrosporangia (woreczki pyłkowe). **Rozwój mikrospory (pyłku) i gametofitu męskiego zachodzi w kwiatach męskich:**



1. w woreczkach pyłkowych (*niepokazane*) wyodrębniają się diploidalne komórki macierzyste mikrospor, które dzielą się mejotycznie na cztery haploidalne makrospory. Na schematach przedstawiono rozwój jednej z nich (ale każde rozwijają się niezależnie);
2. pojedyncza mikrospora przechodzi podziały mitotyczne, w wyniku których powstaje kilukomórkowy gametofit męski – ziarno pyłku. Pęcherz lotny powstaje z zewnętrznej warstwy ściany ziarna pyłku, czyli egzyny – jest ona przesycona sporopoleniną – niezwykle odporną substancją na działanie czynników chemicznych i fizycznych. Wewnętrzna warstwa – intyna – w przeciwieństwie do warstwy zewnętrznej, jest cienka i zbudowana z celulozy i pektyny i umożliwia wyrastanie / wydostanie się łagiewki pyłkowej z ziarna pyłku.
3. na drodze podziałów mitotycznych wyodrębniają się dwie komórki przedroślowe (te stopniowo będą obumierać).
4. pojawiają się dwie komórki: generatywna (z niej powstaną **dwie komórki plemnikowe**), oraz wegetatywna (z niej powstanie **łagiewka pyłkowa, gdy ziarno pyłku zostanie przeniesione na okienko zalążka**).
5. przeniesienie ziaren pyłku z kwiatów męskich na okienko zalążka nosi nazwę zapylenia. Wówczas do woreczka zalążkowego wrasta łagiewka pyłkowa, która transportuje komórkę plemnikową do rodni, umożliwiając zapłodnienie.

Ziarna pyłku podczas pylenia sosny osiadają na wszystkich powierzchniach, czasem w dużej odległości od drzewa. Niektóre z nich trafiają na zalążki. Wtedy gamety męskie, czyli **komórki plemnikowe** mogą połączyć się z gametami żeńskimi i dochodzi do **zapłodnienia**. Z zapłodnionej komórki jajowej rozwija się zarodek nowej rośliny. Odbywa się to w zalążku, który z czasem przekształca się w nasiono. Szyszki żeńskie w tym czasie rosną i drewnieją, a nasiona rozwijają się i dojrzewają. Proces ten trwa trzy lata.

## Okrytonasiennie – przyjrzymy się najpierw morfologii organów generatywnych:

**Kwiaty okrytonasiennych:** te rozwijają się z merystemów wierzchołkowych, znajdujących się w specjalnych pąkach na szczycie pędów lub w pachwinach liści. U większości okrytonasiennych kwiaty są obupłciowe, tj. zarówno pręciki, jak i owocolistki (słupki) występują na jednym kwiecie. Kwiaty rozdzielнопłciowe mogą występować na jednym osobniku, wówczas roślina jest **jednopienna**. W innych przypadkach na jednych osobnikach powstają kwiaty męskie, na innych zaś tylko żeńskie. Takie rośliny nazywamy **dwupiennymi**.

**Okwiat** to część kwiatu niebiorąca bezpośredniego udziału w procesie rozmnażania. Pełni on funkcje ochronne dla najważniejszych płodnych części kwiatu (pręcików i słupków); u kwiatów zwierzęcopylnych stanowi powabnię przyciągającą je swą żywą barierą i zapachem. Okwiat może być niezróżnicowany (zazwyczaj u jednoliściennych) – wówczas wyróżniamy działki okwiatu (jak np. u tulipana); lub zróżnicowany (zazwyczaj u dwuliściennych) – wówczas wyróżniamy działki kielicha i płatki korony.

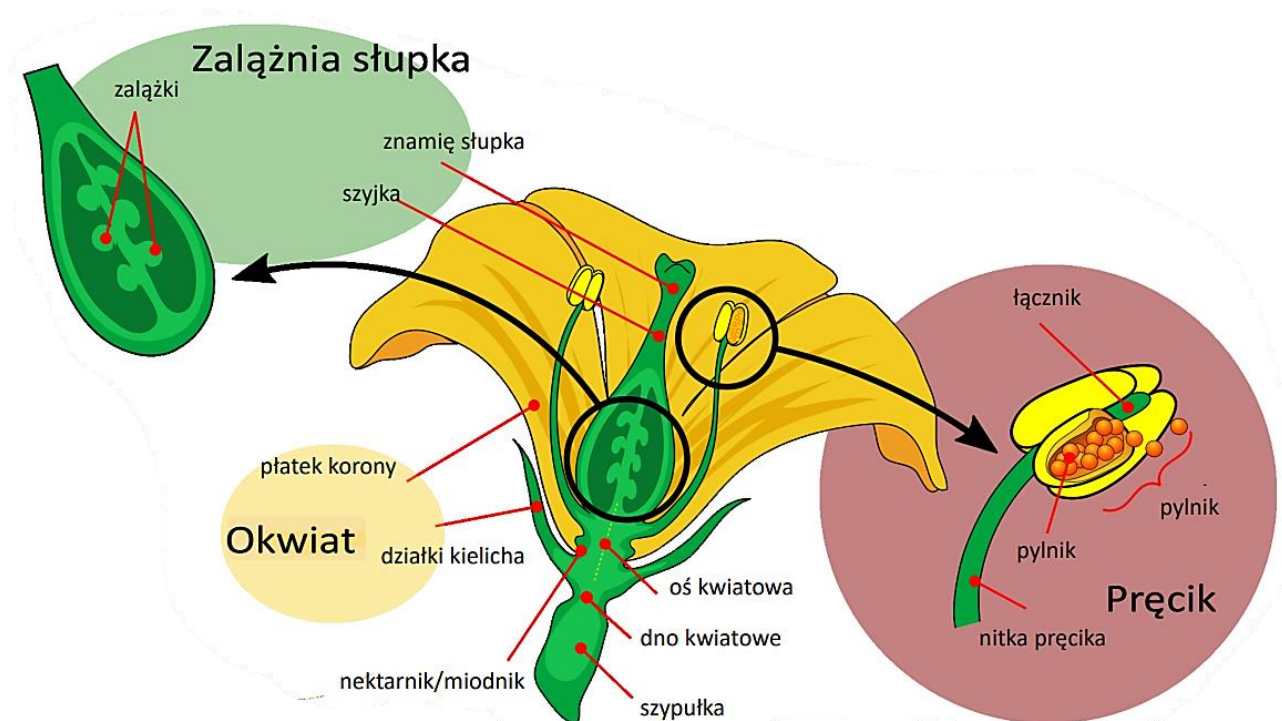
### budowa okwiatu zróżnicowanego

#### kielich

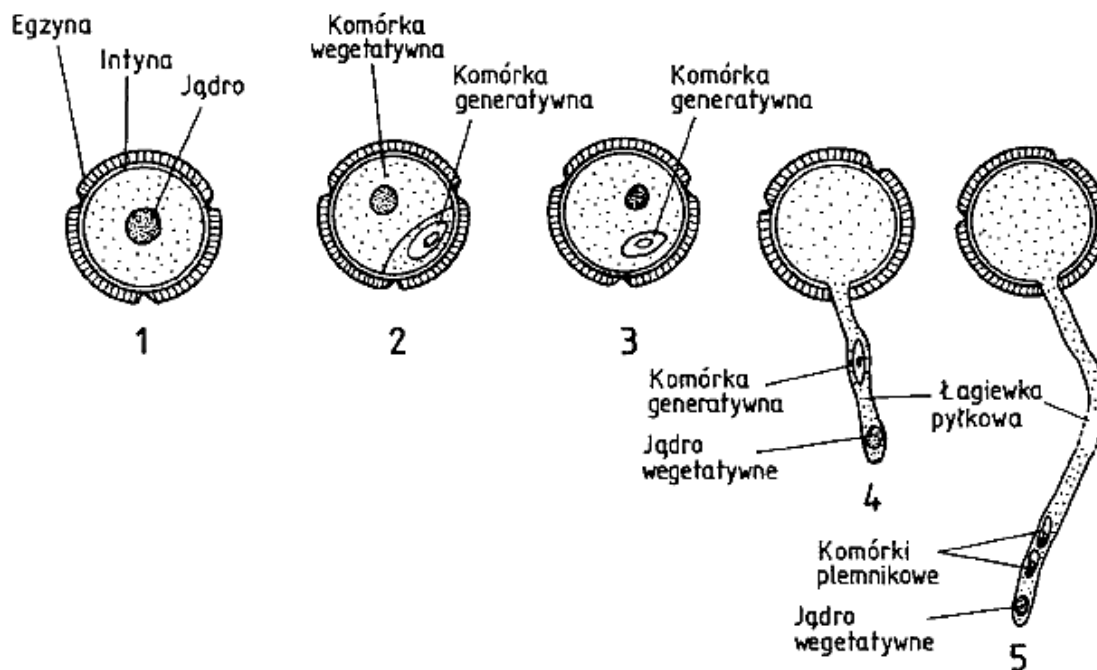
kielich stanowi najbardziej zewnętrzny okótek kwiatu i składa się z działek, zwykle zielonych i niewiele różniących się od liści, poza kształtem i wielkością. Działki kielicha powstały prawdopodobnie z liści przykwiatowych.

#### korona

korona składa się z płatków, zwykle większych od działek kielicha i żywo zabarwionych (w dojrzałych komórkach korony zamiast chloroplastów występują chromoplasty zawierające barwniki karotenoidowe nadające koronie barwy od żółtej do pomarańczowej, albo też w wodniczkach występują obficie barwniki antocyjanowe ([kliknij: przedstawia rolę barwników i fotosystemów w procesie fotosyntezy](#))). Pochodzenie płatków korony może być prawdopodobnie dwojake (albo są to przekształcone liście przykwiatowe albo powstają jako przekształcenie pręcików). Korona pełni rolę powabni na zapylaczy.



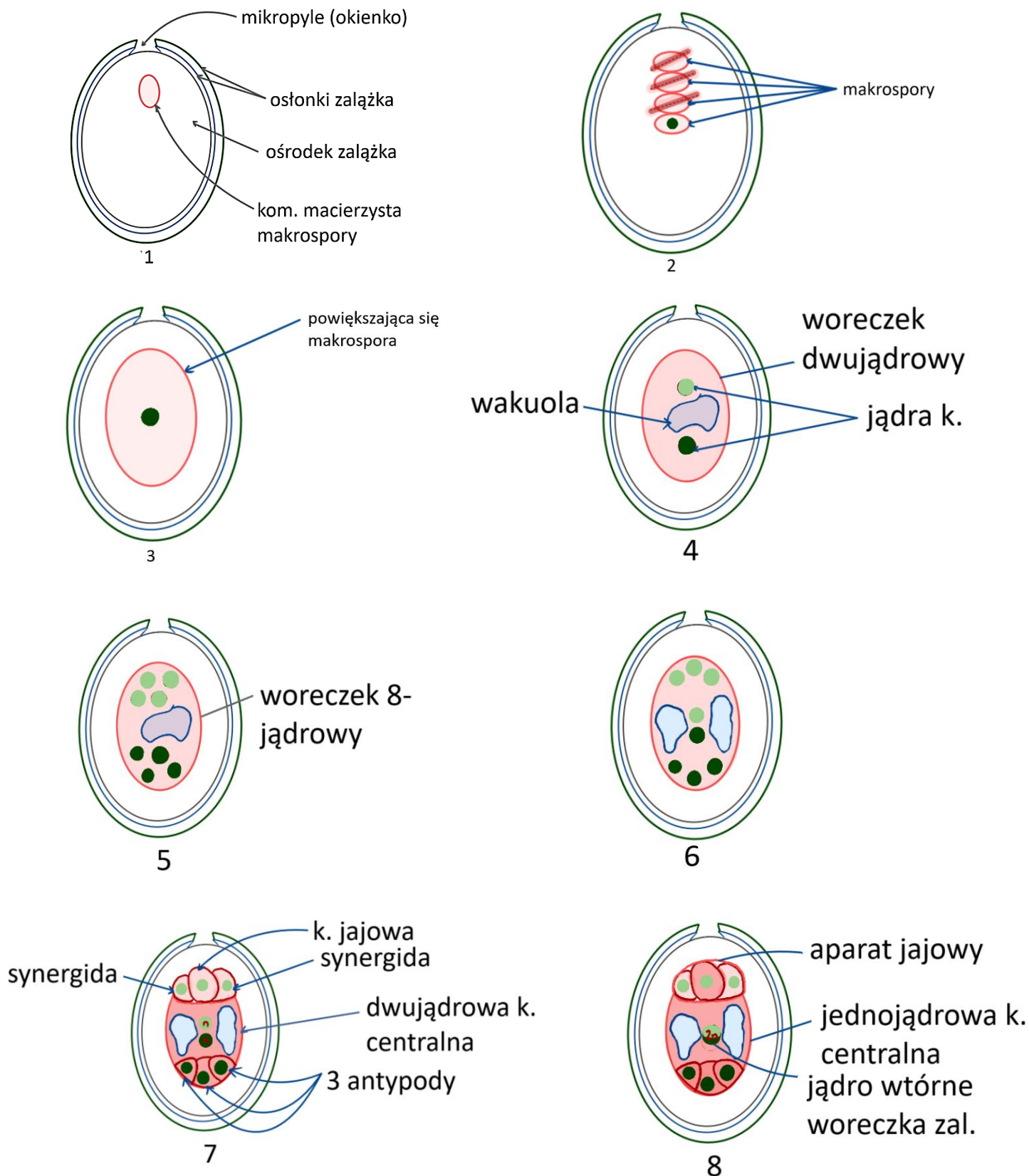
**Budowa pręcików i wytwarzanie gametofitu męskiego roślin okrytonasiennych:** ogół pręcików, nazywany czasem pręcikowiem, najczęściej tworzy w kwiecie dwa okółki. Typowy pręcik składa się z nitki i główki, w główce można wyróżnić dwa pylniki połączone łącznikiem, w których przebiega wiązka przewodząca. Każdy pylnik składa się z dwóch woreczków pyłkowych, pręcik zawiera więc 4 woreczki pyłkowe. Woreczki pyłkowe są odpowiednikami **mikrosporangiów**, tak więc pręciki również u okrytozalążkowych są utworami homologicznymi **mikrosporofili** (liści zarodnionośnych). Czasem niektóre pręciki są dłuższe od innych (je nazywamy **silnymi**). W niektórych kwiatach nie wszystkie pręciki wykształcają pylniki i pyłek. Takie płonne pręciki nazywamy **prątniczkami**. **Rozwój mikrospor i gametofitu męskiego zachodzi w sposób następujący:**



1. wewnątrz woreczka pyłkowego wypełnione jest tkanką archesporialną, liczba komórek archesporu powiększa się przez podziały mitotyczne, aż staną się one **mikrosporocytami** (komórkami macierzystymi mikrospor) → *niepokazane*. Te, przechodzą podziały mejozy, dzięki czemu powstają **mikrosporocytu**, z których jeden jest pokazany na **rys. 1**. Mikrospory powiększają się i otaczają podwójnymi ścianami – cienką, delikatną celulozowo-pektynową **intyną** oraz grubą, odporną zbudowaną ze sporopoleniny **egzyną**.
2. gametofit męski zaczyna rozwijać się w mikrosporze, która przekształca się w ziarno pyłku. Protoplast dzieli się na dużą komórkę wegetatywną i małą komórkę generatywną. Te dwie komórki – stanowią silnie zredukowany gametofit męski.
3. z komórki generatywnej powstaną dwie komórki plemnikowe – z komórki wegetatywnej zaś powstanie łagiewka pyłkowa po wnikięciu na znamię słupka żeńskiego.
4. gdy otoczona intyną komórka wegetatywna rośnie – łagiewka wysuwa się przez otworek (porus) w egzynie na zewnątrz i wnika do szyjki słupka.
5. tak zbudowana struktura wnika do woreczka zalążkowego poprzez mikropyle i gotowa jest wprowadzić dwie komórki plemnikowe i przeprowadzić proces podwójnego zapłodnienia.



**Budowa słupek i wytwarzanie gametofitu żeńskiego roślin okrytonasiennych:** słupek powstają ze zrośnięcia się owocolistków, które tworzą najbardziej wewnętrzny okółek kwiatu. Ogół owocolistków w kwiecie bywa nazywany słupek. Na owocolistkach powstają zalążki, których istotną część stanowią **makrosporangia**. Owocolistki są więc utworami homologicznymi do **makrosporofili** (i łuski nasiennej nagonasiennych). W zależności od sposobu zrośnięcia się owocolistków tworzą one jeden lub większą liczbę słupek. Dolna część słupka jest rozszerzona i tworzy zalążnię, która ku górze zwęża się i przechodzi w szyjkę słupka, zakończoną na szczycie różnego kształtu znamieniem. **Rozwój makrospor i gametofitu żeńskiego zachodzi w sposób następujący:**

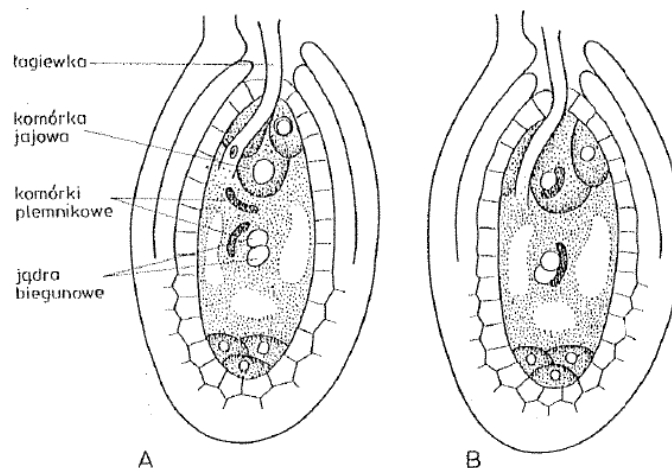




1. w woreczku zalążkowym znajduje się komórka macierzysta makrospory powstała w wyniku podziałów mitotycznych komórek tkanki archesporialnej zalążka. Struktura ta znajduje się w zalążni słupka.
2. makrosporocyt (komórka macierzysta) ulega **podziałe mejotycznemu**, wskutek czego powstają cztery makrospory. Trzy z nich, bliższe mikropyle, zanikają.
3. jedna z makrospor zwiększa swoje rozmiary;
4. haploidalne jądro megasporcy dzieli się **mitotycznie (kariokineza)**, a powstałe dwa jądra zostają rozdzielone przez tworzącą się wakuole i rozmieszczone w dwóch biegunach woreczka zalążkowego;
5. jądra dzielą się mitotycznie tak, aby powstał **ośmiojądrowy woreczek**.
6. po jednej komórce z każdego z biegunów migruje do **obszaru centralnego** – są to jądra biegunowe;
7. następnie, dochodzi do sześciokrotnej cytokinezy. Na biegunie mikropylarnym tworzy się 3-komórkowy aparat jajowy, złożony z **komórki jajowej** i dwóch komórek zwanych **synergidami**. Na biegunie przeciwnym powstają 3 komórki zwane **antypodami**.
8. Dwa jądra komórkowe centralne ulegają fuzji tworząc **wtórne jądro woreczka zalążkowego (2n)**. Dojrzały typowy woreczek zalążkowy zbudowany jest więc z 7 komórek. W tym stadium woreczek zalążkowy jest gotowy do przyjęcia komórek plemnikowych w procesie podwójnego zapłodnienia.

**Dalej, może zajść podwójne zapłodnienie:** u okrytozalążkowych obie gamety męskie biorą udział w zapłodnieniu. Jedna łączy się z komórką jajową, a wynikiem syngamii jest diploidalna zygota. Z zygoty rozwija się następnie zarodek. **Druga komórka plemnikowa wnika do komórki centralnej**, a jej haploidalne jądro zlewa się z dwoma jądrami biegunowymi lub diploidalnym jądrem wtórnym. Rezultatem tego jest powstanie **triploidalnego jądra o liczbie chromosomów 3n**. Nosi ono nazwę jądra bielmowego. Z zapłodnionej komórki centralnej rozwija się u okrytozalążkowych tkanka odżywcza dla zarodka, czyli **bielmo wtórne (endosperma)**. Bielmo to ma pochodzenie odmienne od bielma pierwotnego u nagozalążkowych, które składało się po prostu z haploidalnych komórek gametofitu żeńskiego. U okrytozalążkowych bielmo jest triploidalne i zaczyna swój rozwój po podwójnym zapłodnieniu. Podwójne zapłodnienie z udziałem obu męskich gamet łagiewki pyłkowej jest zjawiskiem charakterystycznym dla okrytozalążkowych. W skrócie proces ten można przedstawić następująco:

- I. Komórka plemnikowa (n) + komórka jajowa (n) → zygota (2n)
- II. Komórka plemnikowa (n) + komórka centralna (2n) → komórka macierzysta bielma (3n)



Rysunek 10. Proces podwójnego zapłodnienia. A - wnikięcie łagiewki pyłkowej i wprowadzenie komórek plemnikowych do woreczka zalążkowego. B – kariogamia w komórce jajowej i komórce centralnej.

✓ przedstawia budowę nasiona i rozróżnia nasiona bielmowe, bezbielmowe i obielmowe.

**Nasiona** to twory przetrwalnikowe roślin nasiennych, służące do rozprzestrzeniania się. Ich budowa ma ścisły związek z przetrwaniem przez roślinę niekorzystnych warunków środowiska. Nasiona powstają w procesie rozmnażania płciowego w wyniku przekształceń zalążka, po uprzednim zapłodnieniu komórki jajowej. Ze względu na budowę i rozmieszczenie na roślinie dojrzewających nasion rośliny nasienne dzielimy na **nagonasienne** (nagozalążkowe – *Gymnospermae*) oraz **okrytonasienne** (okrytozalążkowe – *Angiospermae*). Nasiona roślin nagonasiennych otoczone są jedynie łupiną nasienną – zatem nie mają dodatkowej osłony (ich powierzchnia bezpośrednio styka się z atmosferą), a ich rozwój odbywa się na łuskach nasiennych. Nasiona roślin okrytonasiennych otoczone są łupiną nasienną i owocnią – zatem mają dodatkową osłonę (ich powierzchnia nie styka się bezpośrednio z atmosferą), a ich rozwój odbywa się wewnątrz zalążni słupka.

**Dojrzałe nasiono w swojej budowie posiada:** zarodek, tkankę odżywczą oraz łupinę nasienną.

**Zarodek** jest wczesnym stadium rozwojowym organizmu roślinnego. Powstaje w wyniku licznych podziałów mitotycznych zapłodnionej komórką plemnikową komórki jajowej i zawiera zawiązki organów wegetatywnych rośliny. Zarodek składa się z osi i osadzonych na niej **liści zarodkowych**, tzw. **liścieni**. Na jednym biegunie oś zakończona jest zawiązkiem korzenia, tzw. **radykulą**, a na przeciwległym biegunie – pączkiem szczytowym z zawiązkami liści właściwych, tzw. **plumulą**. Część osi zarodka, znajdująca się pomiędzy radykulą a liścieniami, to podliścieniowa część łodygi, tzw. **hipokotyl**. Natomiast część osi zarodka pomiędzy plumulą a liścieniami to nadliścieniowa część łodygi, tzw. **epikotyl**.

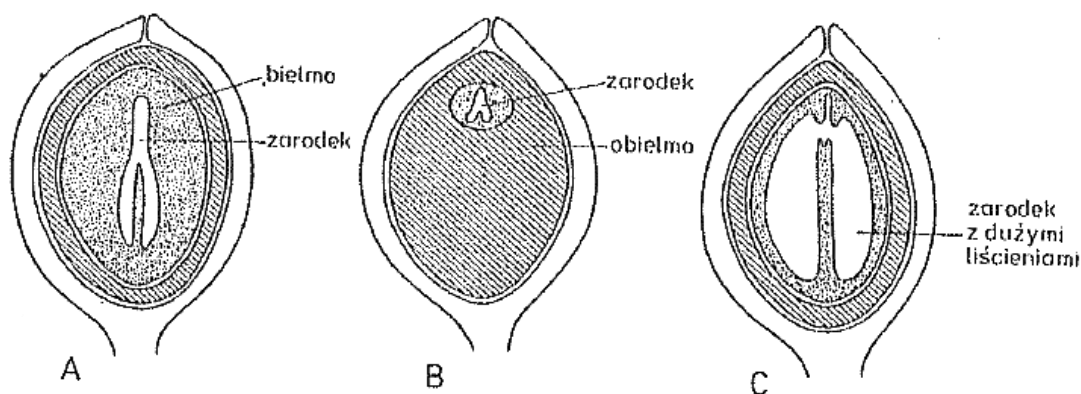
**liczba liścieni u poszczególnych grup roślin**

nagonasienne	okrytonasienne jednoliścienne	okrytonasienne dwuliścienne
zmienna, np. u sosny zwyczajnej występuje zazwyczaj pięć liścieni; generalnie więcej niż dwa.	<b>jeden liścień</b> – np. palma kokosowa.	<b>dwa liścienie</b> – np. klon jawor.

**W skład zarodka wchodzi również tkanka odżywcza**, której charakter zależy od grupy roślin. Ta najczęściej otacza zarodek i stanowi dla niego źródło substancji pokarmowych. **U roślin nagonasiennych** tkankę odżywczą stanowi haploidalna (1n) tkanka gametofitu żeńskiego. Rozwija się ona przed powstaniem zygoty, dlatego nazywana jest **bielmem pierwotnym (prabielmem)**. **U roślin okrytozalążkowych** tkankę odżywczą stanowi triploidalna (3n) tkanka, która rozwija się z zapłodnionej komórki centralnej woreczka zalążkowego. Tkanka ta pojawia się po powstaniu zygoty, dlatego nazywana jest **bielmem wtórnym**. Bielmo może magazynować **skrobię** (nasiona skrobiowe np. zbóż); **białko** (nasiona białkowe np. u fasoli); **tluszcze** (nasiona oleiste, np. słonecznik). **Kolejnym elementem zarodka jest łupina nasienne**. Rozwija się z pojedynczej osłonki zalążka u roślin nagonasiennych i podwójnej osłonki okrytonasiennych. Składa się z jednej lub kilku warstw komórek, których ściany są mocne, skorkowaciałe i na powierzchni pokryte kutykulą. W przypadku nasion roślin okrytonasiennych, które są otoczone mocną i zdrewniałą owocnią (np. orzechy dębu, czyli żołądzie), łupina nasienne jest delikatna i ulega zanikowi. Podstawową funkcją łupiny nasiennej jest ochrona nasiona przed wyschnięciem, uszkodzeniami mechanicznymi i szkodliwym wpływem czynników środowiskowych. Łupina nasienne może pełnić dodatkową funkcję i bezpośrednio przyczyniać się do rozsiewania rośliny – wówczas na powierzchni łupiny nasiennej obecne są twory ułatwiające rozsiewanie przez wiatr (skrzydlate wyrostki lub włoski, np. nasiona bawełny – *Gossypium sp.*) i zwierzęta (haczykowate wyrostki, jadalne osnówki i ciała tłuszczowe, np. nasiona cebulicy – *Scilla sp.*).

**Podział nasion ze względu na miejsce gromadzenia substancji zapasowych:** substancje pokarmowe zmagazynowane w nasionie są wykorzystywane przez zarodek rośliny do wzrostu i rozwoju podczas kiełkowania. Są niezbędne, gdyż początkowo zarodek nie jest zdolny do wytwarzania substancji odżywczych na drodze fotosyntezy. Dopiero wykształcenie pierwszych liści właściwych pozwala siewce na samodzielne wytwarzanie pokarmu. W zależności od miejsca gromadzenia substancji zapasowych wyróżniamy nasiona bielmowe, bezbielmowe i obielmowe.

- **nasiona bielmowe** występują, gdy do czasu osiągnięcia zdolności samodzielnego wytwarzania symilatów, funkcję donora substancji odżywczych pełni tkanka odżywcza (bielmo) utworzone w okresie tworzącego się zarodka (okrytonasienne) lub formowania gametofitu żeńskiego (nagonasienne). Wówczas zarodek jest zazwyczaj niewielki (jest tak np. u maku).
- **nasiona obielmowe** występują, gdy zamiast bielma lub obok bielma funkcję tkanki odżywczej spełnia zachowany ośrodek zalążka (np. u buraka) – jest to tzw. obielmo (perysperma).
- **nasiona bezbielmowe** występują, gdy bielmo zostanie wykorzystane całkowicie w trakcie rozwoju zarodka. Wykształcają się wówczas grube, duże liścienie, które służą jako organy spichrzowe i są zbudowane głównie z miększu spichrzowego (np. u grochu i fasoli).



Rysunek 11. Tkanki spichrzowe nasion. A – nasienie bielmowe, B – nasienie obielmowe, C – nasienie bezbielmowe.

W dojrzałym nasionie przemiana materii zostaje zahamowana, a wzrost i rozwój młodego organizmu roślinnego zatrzymują się w stadium zarodka. **Nasiono przechodzi w stan spoczynku.** Tworzące je tkanki ulegają silnemu odwodnieniu, dlatego też woda stanowi jedynie od 5 do 15% jego masy. Spoczynek zapobiega przedwczesnemu kiełkowaniu w warunkach, w których nie byłoby możliwe przejście całego cyklu rozwojowego rośliny, zakończonego wytworzeniem kolejnych nasion. Nasiona mają zdolność pozostawania w stanie spoczynku od kilku dni do kilkudziesięciu lat.



W północnej Kanadzie, na terytorium Jukonu, w wiecznej zmarzlinie znaleziono nasiona łubinu (*Lupinus sp.*), które nie utraciły zdolności kiełkowania przez 10 tys. lat.

**Owoce** są charakterystycznymi dla okrytozalążkowych organami, w których normalnie zawarte są **nasiona** (owoce niezawierające nasion rozwijają się jedynie wyjątkowo – są to tzw. owoce partenokarpiczne<sup>6</sup>). Typowy owoc powstaje z zalążni słupka i zawiera przekształcone po zapłodnieniu zalążki, czyli nasiona (**taki owoc nazywamy owocem właściwym**). Owoce mogą wykształcać się również z innych części kwiatów, np. z dna kwiatowego (**są to tzw. owoce rzekome, pozorne**). Te, które powstają z przekształconych kwiatostanów (całych) nazywamy **owocostanami**.

W typowym owocu wykształcają się: rozrośnięta ściana zalążni (tzw. **owocnia**, czyli **perykarp**) i **nasiona**. W owocni zwykle różnicują się trzy warstwy: zewnętrzna – **egzokarp**, wewnętrzna – **endokarp** (zwykle jednowarstwowy) oraz leżący między nimi kilkuwarstwowy **mezokarp**.

<b>endokarp</b>	endokarp (wewnętrzna część owocni) jest zazwyczaj jednowarstwowa, czasem jednak tworzy wiele warstw, a w niektórych owocach silnie drewnieje i tworzy pestkę zawierającą nasienie.
<b>mezokarp</b>	mezokarp zależnie od charakteru owocu może być albo niezbyt gruby, albo tworzyć mięsistą tkankę pokaźniejszej grubości.
<b>egzokarp</b>	zewnętrzna część owocni; zbudowany jest z jednej warstwy komórek i najczęściej tworzy skórkę owoca.

Owoce mają bardzo zróżnicowaną budowę, wielkość i kształty, dzieli się je na różne typy (istnieje wiele klasyfikacji owoców). W zależności od **liczby zalążni biorących udział w tworzeniu owocu wyróżnia się owoce pojedyncze, zbiorowe i owocostany**:

- **owoce pojedyncze** powstają z jednej zalążni jednostłupkowego kwiatu. Jeśli w kwiecie występuje kilka słupków, z każdego z nich może rozwinąć się po jednym owocu. Owoce te dzielimy na suche i mięsiste, w zależności od tego, czy owocnia w czasie dojrzewania wysycha, czy pozostaje soczysta i świeża. Wśród owoców suchych wyróżnia się owoce pękające i niepękające.

owoce mięsiste	owoce suche		
	pękające	rozpadające się	niepękające
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. pestkowiec</li> <li>2. jagoda</li> <li>3. owoce typu owoc rzekomy (np. jabłko, truskawka)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. mieszek</li> <li>2. łuszczyna</li> <li>3. łuszczynka</li> <li>4. torebka</li> <li>5. strąk</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. rozłupnia</li> <li>2. łuszczyna przewężista</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. orzech</li> <li>2. ziarniak</li> <li>3. niełupka</li> <li>4. skrzydlak</li> </ol>

**pestkowiec** - typ owocu mięsistego, w którym wewnętrzną częścią ściany owocu jest łupina nasienna otaczająca nasiono, tworząca pestkę; pozostała, zewnętrzna część owocu jest mięsista, zwykle atrakcyjna pokarmowo dla zwierząt; pestkowce są przeważnie jednonasienne (np. śliwka, daktyl, brzoskwinia), ale mogą zawierać kilka pestek (np. bez czarny)

**jagoda** - typ owocu, w którym owocnia jest w całości mięsista i zawiera kilka (wiele) nasion; typową jagodę ma winorośl, pomidor, cytryna, banan, dynia, arbuz, żurawina czy pomarańcza.

**mieszek** - typ owocu suchego lub słabo mięsistego, utworzony z pojedynczego owocolistka; zwykle zawiera wiele nasion (np. u roślin z rodziny jaskrowatych), rzadko tylko jedno nasiono (np. u magnolii).

<sup>6</sup> **owoce partenokarpiczne** – to takie bez żywotnych nasion. Do partenokarpii mogą doprowadzać czynniki endogenne czy czynniki genetyczne. Niektóre gatunki łatwo tworzą owoce beznasienne, co jest wykorzystywane w uprawie. Uzyskanie owoców partenokarpicznych jest też możliwe poprzez opryskiwanie uprawianych roślin roztworem auksyn.

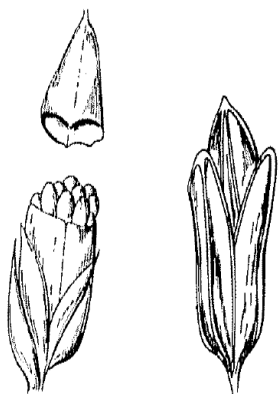
**łuszczyna** - typ owocu suchego pękającego, wyróżniany jako szczególna forma torebki; powstaje z dwóch owocolistków przedzielonych przegrodą, w której znajdują się nasiona; w stanie dojrzałym owocolistki te oddzielają się zazwyczaj dwuklapowo od ramy zawierającej łożysko – np. rzepak.

**łuszczynka** - jest to łuszczyna, której długość jest równa lub krótsza od trzykrotności jej szerokości. Są to owoce dwukomorowe, z wewnętrzną fałszywą przegrodą rozpiętą między dwoma łożyskami, na których umocowane są nasiona – np. tasznik, miesiącznica, tobołek.

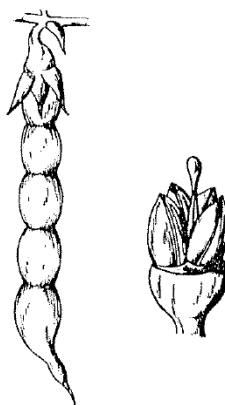
**strąk** - typ owocu jednoowocolistkowego, wielonasiennego, suchego, pękającego; rozwija się z jednego owocolistka, otwiera wzdłuż szwu zrośnięcia oraz linii grzbietowej; łupiny po pęknięciu skręcają się i rozrzucają nasiona; występuje np. u grochu, fasoli, łubinu, bobu, soi;

**rozłupnia** - rodzaj owocu suchego rozpadającego się na części jednonasienne (rozłupki), odpowiadające owocolistkom; występuje np. u roślin z rodzin ślazowatych, jasnotowatych (wargowych); podwójna rozłupnia jest charakterystyczna dla roślin z rodziny selerowatych (baldaszkowatych), np. dla kminku, marchwii.

**torebka** - owoc suchy, pękający, przeważnie wielonasienny, powstający ze zrośnięcia co najmniej dwóch owocolistków; występuje np. u tytoniu, lili, lnu, maku

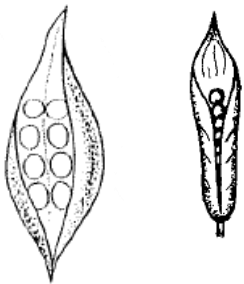
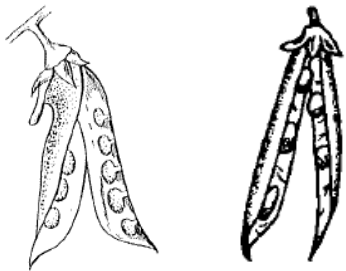
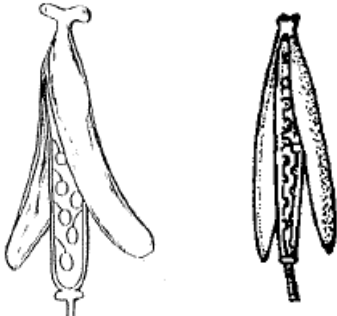


Rysunek 12. torebki



Rysunek 13. rozłupnie

*Wielu osobom rozróżnienie mieszka, łuszczyny i strąku sprawia trudności. Oto jak to zrobić:*

mieszek	strąk	łuszczyna
Powstaje z jednego owocolistka (jednej komory). <b>Otwiera się wzdłuż jednej szwu</b> (szwu brzuszego).	Również rozwija się z jednego owocolistka. <b>Pęka wzdłuż dwóch szwów:</b> brzuszego i grzbietowego, co powoduje <b>rozdzielenie na dwie kłapy.</b>	Powstaje z dwóch zrośniętych owocolistków, tworząc dwukomorowy owoc z przegrodą pośrodku. <b>Otwiera się poprzez odpadnięcie dwóch zewnętrznych kłap, pozostawiając przegrodę z przyczepionymi nasionami.</b>
		



**łuszczyzna przewężista** - owoc mający wyraźne zwężenia pomiędzy nasionami, rozpada się na jednonasienne fragmenty, nazywane rozłupkami; występuje u niektórych przedstawicieli kapustowatych (np. u roślin z rodzaju rzodkiew)

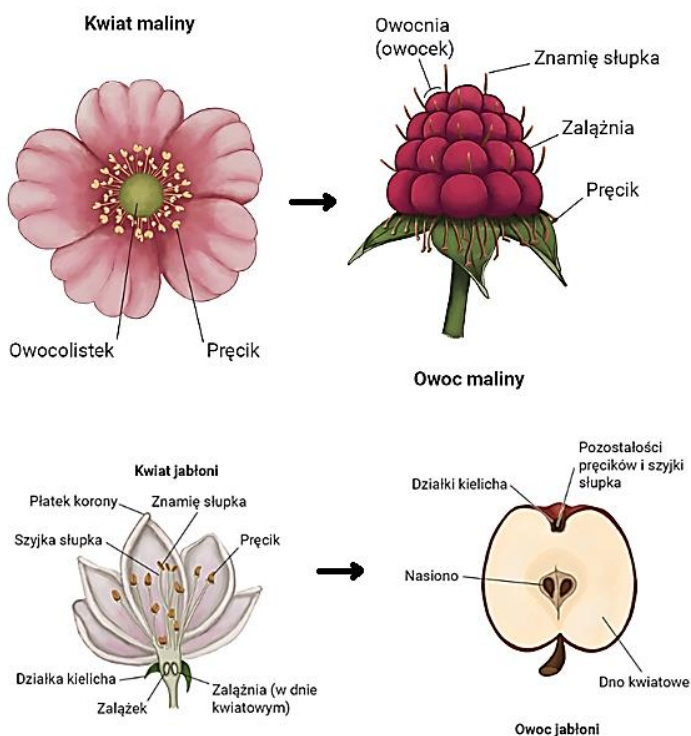
**orzech** – o owocni zdrewniałej, zawierającej jedno nasienie niezrośnięte z owocnią (leszczyna, lipa);

**ziarniak** – o owocni skórzastej zrastającej się z łupiną nasienną pojedynczego nasienia (pszenica, kukurydza);

**niełupka** – o owocni skórzastej, niezrastającej się z pojedynczym nasieniem, na której często występują urządzenia służące rozsiewaniu, np. aparat lotny (odmianą jest skrzydlak) – np. owoce klonu.

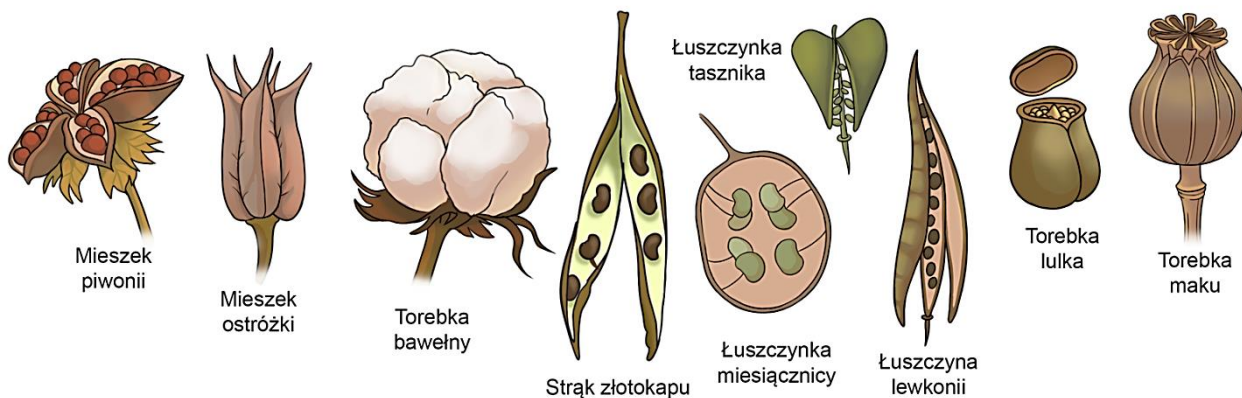
- **owoce zbiorowe** – owoce rozwijające się z pojedynczego kwiatu o wielu oddzielnych owocolistkach (niezrośniętych w słupek) nazywamy owocem zbiorowym (np. malina – owoc wielopestkowy, jeżyna, truskawka – owoc wieloorzeszkowy).
- **owocostany** powstają z przekształcenia całych kwiatostanów. W ich tworzeniu uczestniczą, oprócz załączy wielu kwiatów, także dna kwiatowe, okwiaty, liście przykwiatowe i oś kwiatostanu. Najbardziej znane przykłady to:

jagodostan	owocostan pestkowcowy	owocostan orzeszkowy
np. ananas – złożony z mięsistej osi i jagód poprzątkanych mięsistymi przysadkami	np. figa – złożony z mięsistej osi kwiatostanu i uwięzionych w jej wgłębieniu licznych, drobnych pestkowców.	np. – morwa – złożony z licznych orzeszków, rozwijających się z poszczególnych kwiatów kwiatostanu i połączonych przez mięsiste człony okwiatów.
		

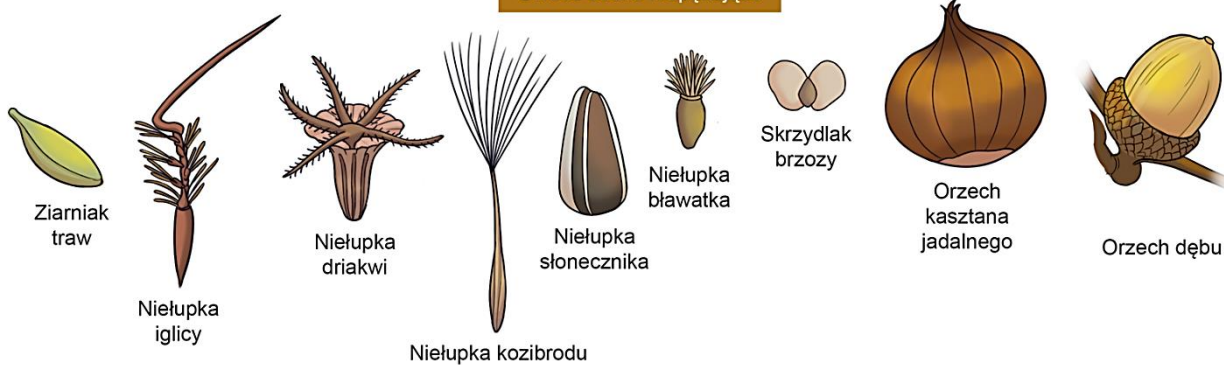


**owoc rzekomy** (mięsista część → dno kwiatowe); skórzasta część wewnątrz jest tworzona przez ścianę zalążni.

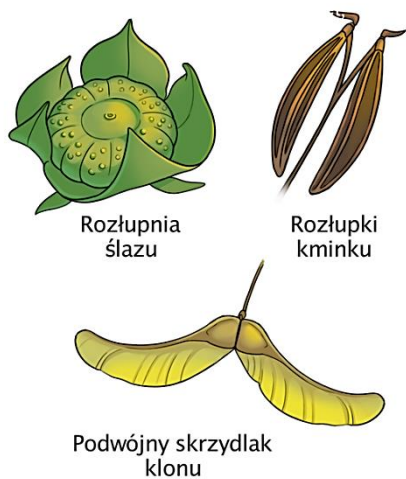
Owoce suche pękające



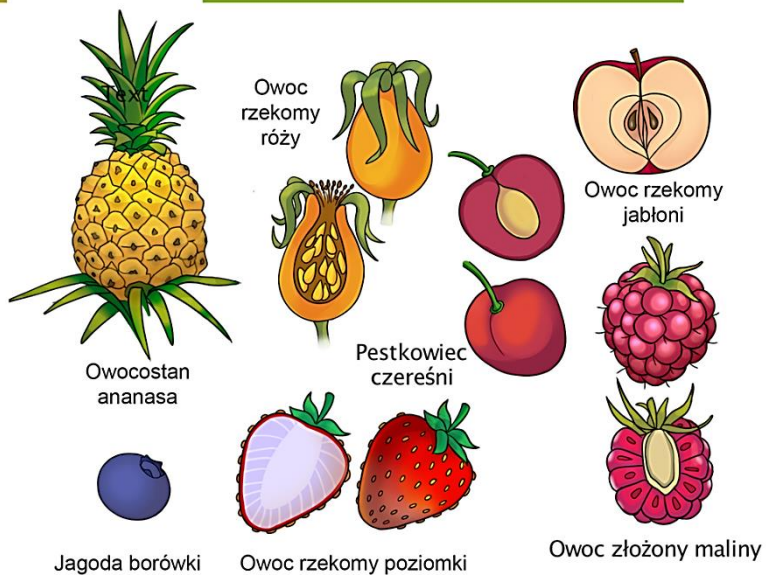
Owoce suche niepękające



Owoce rozpadające się



Owoce mięsiste



✓ przedstawia znaczenie połączeń międzykomórkowych w tkankach zwierzęcych;

**połączenia międzykomórkowe** w tkankach zwierzęcych występują w nabłonkach. Są to funkcjonalne połączenia komórek zwierzęcych, umożliwiające powstawanie funkcjonalnych tkanek, ochronę przed nadmiernym transportem międzykomórkowym oraz kontaktowanie się komórek ze sobą.

**połączenia zamykające** są obecne na bocznych powierzchniach komórek, wyłącznie w pobliżu ich szczytu; występują w miejscach, w których zachodzi intensywny proces wchłaniania związków małowcząsteczkowych. Typowym miejscem występowania tego typu połączeń jest nabłonek jelitowy, w którym połączenia te zapobiegają przenikaniu substancji pokarmowych i płynów ze światła jelita do przestrzeni międzykomórkowej, a ponadto umożliwiają komórkom nabłonkowym selektywne wchłanianie określonych związków chemicznych. **Uszczelniają nabłonek przez izolację go od środowiska zewnętrznego za pomocą błon, które do siebie przylegają – posiadają białka uszczelniające.** [Kliknij, aby zobaczyć zdjęcie połączeń zamykających.](#)

**desmosomy** to struktury przypominające zatraski nitkowe, które łączą (**spinają**) sąsiednie komórki poprzez połączenie **filamentów pośrednich cytoszkieletu**. Zapewniają mechaniczną wytrzymałość tkankom, szczególnie tym narażonym na rozciąganie i stres mechaniczny (**działają jak rzepy, zatraski**), takim jak nabłonek skóry czy mięsień sercowy. **Desmosomy umożliwiają komórkom tworzenie silnych połączeń, co jest kluczowe dla integralności strukturalnej tkanek.** Występują w tkankach **poddawanych dużym obciążeniom mechanicznym**, takich jak naskórek, mięsień sercowy czy nabłonek szyjki macicy. [Kliknij, aby zobaczyć zdjęcie desmosomów.](#)

**połączenia szczelinowe (neksusy)** – składają się z kompleksów białkowych zwanych koneksonami, które tworzą kanały łączące cytoplazmy sąsiednich komórek. Każdy konekson zbudowany jest z sześciu podjednostek białkowych zwanych koneksynami. **Umożliwiają bezpośrednią wymianę jonów, metabolitów i innych małych cząsteczek między komórkami, co jest kluczowe dla synchronizacji aktywności komórek**, np. w mięśniu sercowym czy tkance nerwowej. Obecne w wielu typach tkanek, w tym w **mięśniu sercowym, gdzie umożliwiają synchroniczne skurcze**, oraz w tkance nerwowej, wspierając komunikację między neuronami. [Kliknij, aby zobaczyć zdjęcie połączeń szczelinowych.](#)

**półdesmosomy** – struktury podobne do desmosomów, jednak zamiast łączyć dwie komórki, przytwierdzają komórki do błony podstawnej. Zawierają integryny, które łączą filamenty pośrednie wewnątrz komórki z białkami macierzy zewnątrzkomórkowej. **Zapewniają stabilne przytwierdzenie komórek nabłonkowych do błony podstawnej, co jest kluczowe dla utrzymania struktury tkanek nabłonkowych** i odporności na siły mechaniczne.

[obejrzyj wartościową animację na temat połączeń międzykomórkowych u zwierząt \(naciśnij na tekst\)](#)

**Nanorurki jako nowy typ połączenia międzykomórkowego występującego u zwierząt:**

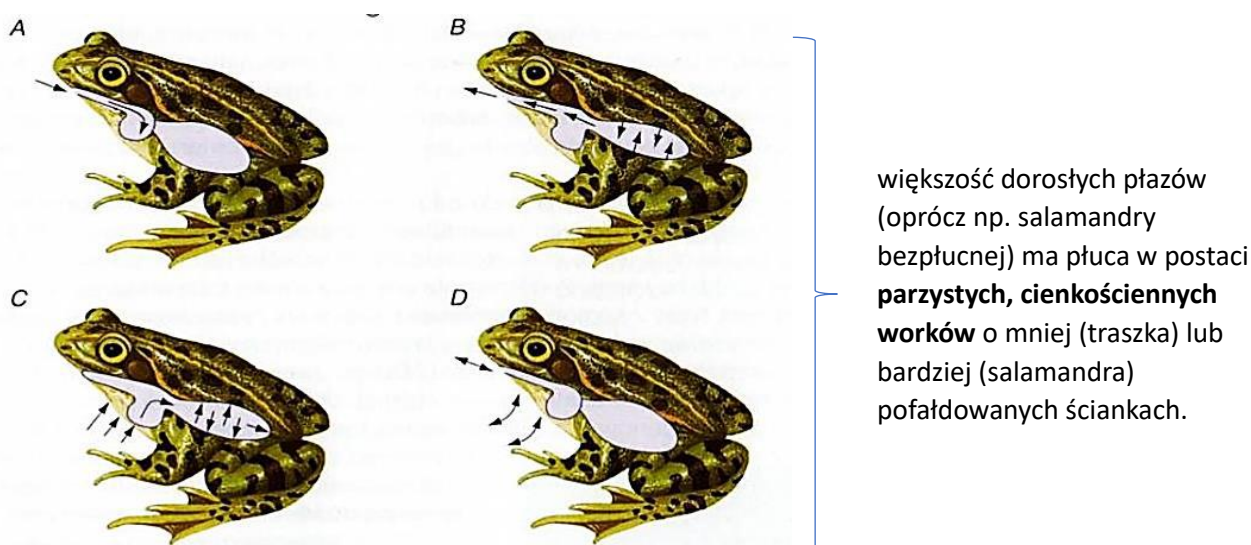
Na początku bieżącego stulecia pojawiły się pierwsze doniesienia sugerujące, że komórki zwierzęce mogą się ze sobą komunikować także za pośrednictwem  **cienkich, błonowych rurek**, zwanych tunelowymi nanorurkami (TNT). Błona nanorurek ma kontakt z błonami obu połączonych komórek i przypomina budowę występujące u roślin plazmodesmy. Obecne pomiędzy komórkami nanorurki, zwane też czasem mostkami błonowymi, stanowią szlak komunikacyjny, w obrębie którego przebiegają zarówno procesy fizjologiczne, jak i procesy o charakterze patologicznym (np. szerzenie się infekcji wirusowych).



✓ wyjaśnia mechanizm wentylacji płuc u płazów, gadów, ptaków i ssaków, przedstawia mechanizm wentylacji płuc (wdech i wydech);

Płuca kręgowców lądowych wypełniają się powietrzem dzięki **mechanizmom tłoczącym**, opartym na ruchach dna jamy gębowej u płazów, oraz mechanizmom ssącym, uwarunkowanym przez ruchy klatki piersiowej u gadów, ptaków i ssaków. U ptaków dodatkowo w oddychaniu uczestniczą worki powietrzne, a u ssaków – przepona.

**Płazy** nie mają klatki piersiowej (a tym samym mięśni międzyżebrowych), dlatego nie mogą aktywnie zmieniać objętości płuc. Ich mechanizm wentylacyjny polega na tłoczeniu powietrza poprzez ruchy dna jamy gębowej. Podnoszenie i opuszczanie dna jamy gębowej powoduje usunięcie zużytego powietrza z płuc i wypełnienie ich powietrzem bogatym w tlen. W oddychaniu płazów uczestniczy także ich skóra, przepuszczalna dla wody i gazów. By proces ten był możliwy, skóra płaza musi być wilgotna. W oddychaniu bierze też udział błona śluzowa jamy ustnej.



A. – świeże powietrze wlatuje przez **otwarte nozdrza** i jest zasysane **opuszczonym dnem jamy gębowej**. Krtąń jest zamknięta.

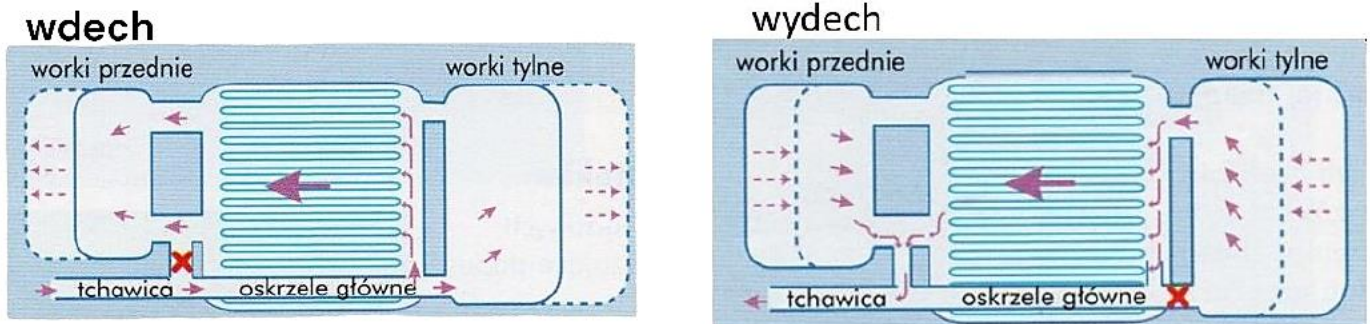
B. – **krtąń** (głośnia) się otwiera przy otwartych **nozdrzach** (zużyte powietrze jest wytłaczane).

C. – dno **jamy gębowej** się podnosi, **nozdrza** się zamykają. Świeże powietrze zostaje wtłoczone do płuc.

D. – **nozdrza** się otwierają, **głośnia** się zamyka (zużyte powietrze jest usuwane).

**Gady** wykształcają płuca o **charakterze gąbczastym**, po raz pierwszy u nich pojawiają się również mięśnie międzyżebrowe (a u krokodyli nawet przepona o łącznotkankowym charakterze). W odróżnieniu od płazów, to właśnie przede wszystkim przez płuca zachodzi wymiana gazowa u gadów. Wdech i wydech u gadów możliwy jest dzięki ruchom klatki piersiowej. Skurcz mięśni międzyżebrowych powoduje zwiększenie objętości klatki piersiowej, wytworzenie podciśnienia i rozprężenie elastycznych płuc, co warunkuje wdech. Rozciąganie mięśni międzyżebrowych powoduje zmniejszenie objętości klatki piersiowej, wytworzenie nadciśnienia i w efekcie kurczenie się płuc, co warunkuje wydech. U krokodyli wykształciło się wtórne **podniebienie twarde**, oddzielające jamę nosową od gębowej, co pozwala na oddychanie nawet, gdy pysk wypełniony jest wodą. Nozdrza wewnętrzne otwierają się daleko z tyłu podniebienia wprost do gardzieli.

**U ptaków** sytuacja wydaje się być bardzo osobliwa – te zwierzęta mają cienkie, kapilarne płuca, które nie mają możliwości zmiany objętości. W zamian za to, wykształciły 9 worków płucnych. Te pełnią funkcje takie jak: uczestnictwo w wentylacji płuc (działają jak miechy); termoregulacja (paruje z nich woda); ochrona mechaniczna; ograniczanie ciężaru właściwego ciała. Mechanizm wymiany gazowej nazywamy **oddychaniem podwójnym**, z tego względu, że podczas zarówno wdechu, jak i wydechu, przez płuca przepływa powietrze bogate w tlen.



**wdech:** ruch skrzydeł w górę powoduje uniesienie kręgosłupa względem mostka; zwiększa się objętość klatki piersiowej i worków powietrznych; powstaje podciśnienie, które powoduje zassanie powietrza; mięśnie międzyżebrowe wspomagają wdech. Poprzez tchawicę i oskrzele główne, **powietrze bogate w tlen dostaje się do worków tylnych i płuc** (wejście do worków przednich od tchawicy jest zamknięte); powietrze, które wcześniej było w płucach (**bogate w dwutlenek węgla**) **trafia do worków przednich**.

**wydech:** ruch skrzydeł w dół sprawia, że kręgosłup zbliża się do mostka; objętość klatki piersiowej maleje; objętość worków powietrznych maleje, a zwiększa się w nich ciśnienie – powstaje nadciśnienie, które powoduje wypchnięcie powietrza z worków. Wejście do tchawicy jest otwarte, z worków przednich powietrze bogate w dwutlenek węgla jest usuwane; **powietrze (bogate w dwutlenek węgla) z płuc jest przenoszone do tchawicy**<sup>7</sup> i jest usuwane; powietrze bogate w tlen przechodzi z worków tylnych do płuc.

**Płuca ssaków** leżą w jamie klatki piersiowej i są oddzielone od jamy brzusznej przeponą – najsilniejszym mięśniem wdechowym, który wspólnie z klatką piersiową uczestniczy w mechanizmie wentylacji płuc. U ssaków główną rolę w oddychaniu pełnią narządy oddechowe, ale ok. 1% ogólnej wymiany gazowej zachodzi przez skórę:

- **wdech jest aktem czynnym.** Skurcz przepony powoduje jej **obniżenie i spłaszczenie**, natomiast skurcz mięśni międzyżebrowych przesuwa żebra w przód oraz do góry. Skurcz mięśni oddechowych prowadzi do zwiększenia objętości klatki piersiowej, co skutkuje spadkiem ciśnienia w pęcherzykach płucnych. Dzięki temu płuca wypełniają się powietrzem. Objętość gazu jest odwrotnie proporcjonalna do ciśnienia. Na poziomie pęcherzyków płucnych ciśnienie się obniża i zwiększa się objętość pęcherzyka.
- **wydech jest aktem biernym.** Rozkurcz przepony powoduje jej **uniesienie i uwypuklenie**, natomiast rozkurcz mięśni międzyżebrowych przesuwa żebra w tył oraz w dół. Rozkurcz mięśni oddechowych prowadzi do zmniejszenia objętości klatki piersiowej, co skutkuje wzrostem ciśnienia w pęcherzykach płucnych. Spada objętość gazu, więc wzrasta ciśnienie w pęcherzyku. Wtedy surfaktant chroni przed sklejaniem się pęcherzyków płucnych. Dzięki temu powietrze zostaje usunięte z płuc.

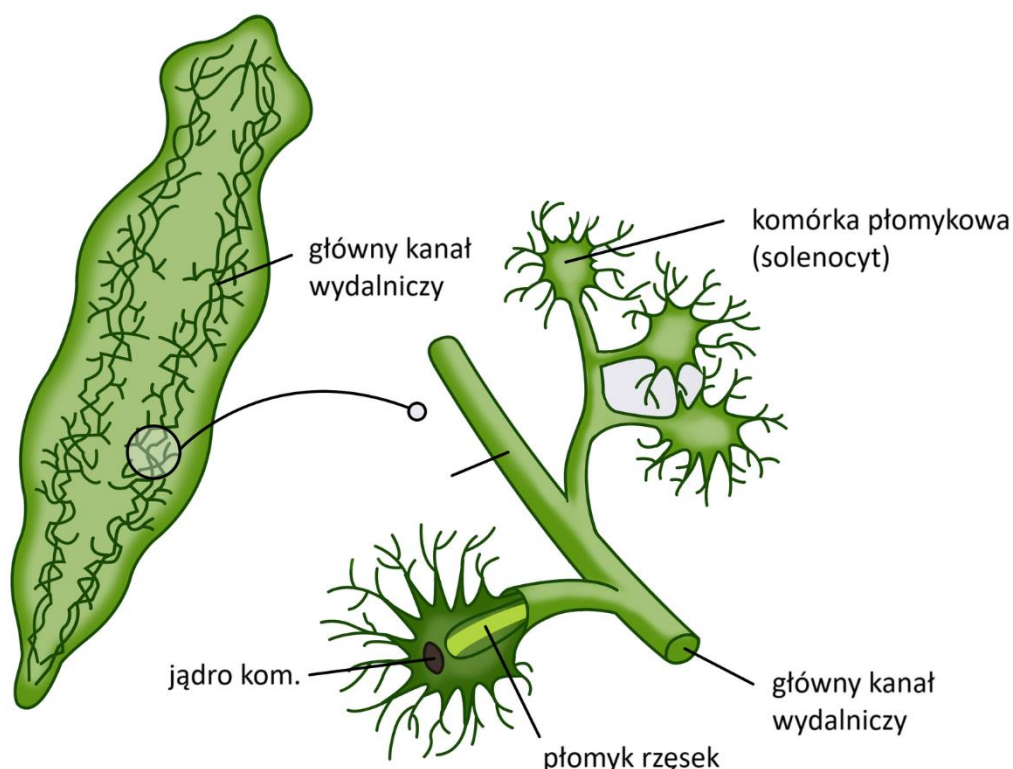
<sup>7</sup> **uwaga:** ale nie do worków przednich (jest to często powtarzany błąd w podręcznikach). **Źródło:** S. Reese, G. Dalamani, B. Kaspers. *The avian lung-associated immune system: a review. Veterinary Research, 2006, 37 (3): 311–324.*



✓ przedstawia układy wydalnicze zwierząt i określa tendencje ewolucyjne w budowie kanalików wydalniczych; - skupiam się na przedstawieniu narządów wydalniczych

**wodniczki tętniące** - występują u słodkowodnych protistów zwierzęcopodobnych i niektórych gąbek. Woda słodka stanowi środowisko hipotoniczne względem wnętrza komórek ciała, co sprawia, że woda osmotycznie napływa do organizmu. Wodniczki tętniące, usuwając nadmiar wody, chronią organizm przed rozerwaniem.

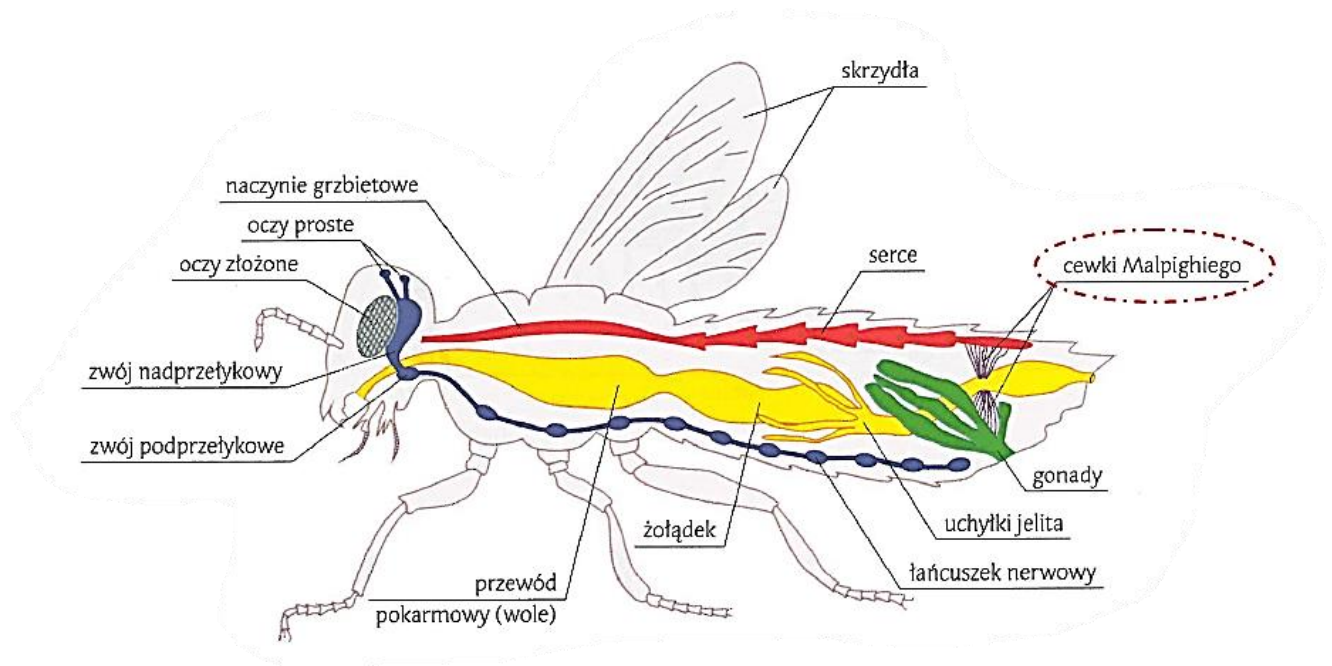
**protonefrydia** – występują u płazińców, wrotków oraz – w wersji zmodyfikowanej – u nicieni. Narządy nefrydialne mają postać kanalików uchodzących otworami wydalniczymi na zewnątrz ciała. Wzrasta system rozgałęzionych kanałów, od strony wnętrza ciała zakończonych wyspecjalizowanymi, gwiazdzistymi komórkami płomykowymi. Każda z nich jest zaopatrzona w pęczek rzęsek zwany płomykiem, zwrócony do światła kanalika wydalniczego zakończonego otworem wydalniczym. Ich ruch umożliwia przepływ wody z jamy ciała do światła kanalika protonefrydialnego.



**metanefrydia** – te narządy wydalnicze występują **u pierścienic**. Mają postać parzystych kanałów wydalniczych, od strony jamy ciała zaopatrzone w orzęsiony lejek, a z drugiej strony – otwierających się otworem wydalniczym na zewnątrz. W większości segmentów ciała (z wyjątkiem pierwszych trzech i ostatniego) znajduje się para metanefrydiów. Orzęsiony lejek zanurzony w płynie jamy ciała zbiera metabolity w obrębie jednego segmentu i przekazuje je dalej do kanalika wydalniczego, który przebijając przegrodę międzysegmentalną uchodzi otworem wydalniczym w następnym segmencie.

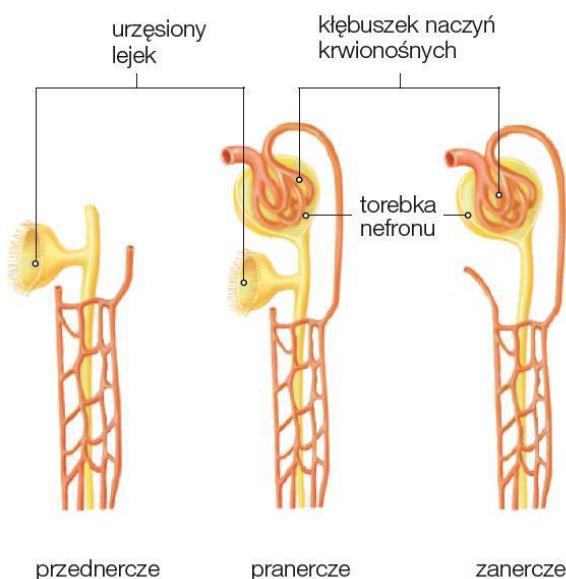
**U skorupiaków** występują zmodyfikowane **metanefrydia (gruczoły zielone)**. W miejscu orzęsionego lejka znajduje się w nich cienkościenny pęcherzyk zanurzony w hemolimfie wypełniającej jamę ciała. Pęcherzyk wyłapuje z hemolimfy metabolity i odprowadza je do kanalików wydalniczych. W zależności od tego, gdzie znajduje się ujście narządów wydalniczych, noszą one nazwę gruczołów czułkowych, szczękowych lub biodrowych. **U mięczaków** zmodyfikowane nefrydia mają postać **parzystych nerek (u ślimaków z muszlą nieparzysta)**. Orzęsione lejki otwierają się do jamy worka osierdziowego, skąd wyłapują metabolity i odprowadzają je moczowodami do jamy płaszczowej.

**cewki Malpighiego** - występują u owadów, wijów, pajęczaków (u nich też metanefrydia). Mają postać ślepo zakończonych palczastych kanalików, od strony jamy ciała uchodzących do przewodu pokarmowego na granicy jelita środkowego i tylnego. Do ślepo zakończonych cewek (wypełnionych płynem izoosmotycznym w stosunku do omywającej kanaliki hemolimfy) drogą transportu aktywnego przedostają się zbędne i szkodliwe produkty przemiany materii, w tym kwas moczowy. Następnie są transportowane do jelita i usuwane z organizmu wraz z kałem przez otwór odbytowy.



U kręgowców występują **trzy typy nerek**: przednercze, pranercze i zanercze.

przednercze	pranercze	zanercze
występują u <b>młodych przedstawicieli bezowodniowców</b> (ryb, płazów). Zbierają zbędne produkty przemiany materii z płynu jamy ciała (mają w swojej budowie jedynie orzęsione lejki).	występują u <b>młodych przedstawicieli owodniowców</b> (gadów, ptaków) i u <b>dorosłych bezowodniowców</b> . Zbierają zbędne produkty przemiany materii z płynu jamy ciała i z krwi (mają zarówno orzęsione lejki jak i kłębuszki naczyń naczyniowe)	występują u <b>dorosłych owodniowców</b> (gady, ptaki, ssaki). Zbierają zbędne produkty przemiany materii jedynie z krwi (posiadają tylko kłębuszki naczyń krwionośnych).



**WARTO WIEDZIEĆ:** gady mają nerki zbudowane jedynie z nefronów korowych. Podobnie jak ryby i płazy – nie mają pętli Henlego, w związku z czym nie są zdolne do wytwarzania **moczu hipertonicznego** (dopiero **ssaki** tę możliwość mają, ptaki tylko nieznacznie – mają krótką pętlę Henlego). **Silnie rozcieńczony mocz spływa do kloaki i pęcherza moczowego, których ściany mają zdolność do resorbowania wody.** Zwrotne wchłanianie wody powoduje, że stężenie kwasu moczowego w pęcherzu wzrasta i wytrąca się on z roztworu w postaci gęstej pasty. Gady morskie mają wodoszczelną powierzchnię ciała, ale nie mając innego źródła wody, muszą pić wodę morską. Nadmiar soli usuwają za pośrednictwem gruczołów łzowych.

✓ przedstawia proces tworzenia moczu u człowieka oraz wyjaśnia znaczenie regulacji hormonalnej w tym procesie;

**Nefron** to podstawowa jednostka strukturalno-czynnościowa nerki. Zasadniczą częścią nefronu jest ciałko nerkowe otoczone tzw. **torebką Bowmana**<sup>8</sup>. Ciałko nerkowe zbudowane jest z sieci naczyń włosowatych (kłębuszka nerkowego) utworzonej przez tętniczki doprowadzające i odprowadzające (tzw. sieć dziwna tętniczo-tętnicza). Od ciałka nerkowego odchodzi z kolei kanalik nerkowy, czyli długi przewód, w którym wyróżnia się trzy odcinki:

- kanalik proksymalny (kanalik kręty I rzędu; kanalik bliższy);
- pętlę nefronu (Henlego) zbudowaną z ramienia zstępującego i wstępującego;
- kanalik dystalny (kanalik kręty II rzędu; kanalik dalszy).

Mechanizm powstawania moczu polega na serii zachodzących kolejno po sobie procesów, określanych jako **filtracja**, **resorpcja** (wchłanianie zwrotne) oraz **sekrecja**. Celem wymienionych procesów jest zatrzymanie w organizmie niezbędnych dla prawidłowego funkcjonowania substancji oraz usunięcie z niego nadmiaru wody i zbędnych produktów przemiany materii.

**Filtracja** to pierwszy etap wytwarzania moczu, zachodzi w kłębuszku nerkowym. Tworzące kłębuszek nerkowy tętniczki doprowadzające mają większą średnicę niż tętniczki odprowadzające, dzięki czemu w kłębuszku utrzymuje się wysokie ciśnienie, które powoduje, że nagromadzona w nim krew napiera na ściany naczyń. To z kolei skutkuje przesączeniem się płynnych składników krwi i substancji drobnocząsteczkowych do światła torebki Bowmana. Powstały w wyniku filtracji ultraprzesącz, zwany moczem pierwotnym, składa się w większości z wody. Pozostałą zaś jego część stanowią węglowodany, sole mineralne, mocznik i aminokwasy<sup>9</sup>. Do moczu pierwotnego nie przenikają elementy morfotyczne krwi i większość białek osocza, które ze względu na swoje rozmiary nie są w stanie przeniknąć do światła torebki Bowmana.

**Resorpcja** (wchłanianie zwrotne, reabsorpcja) - gdyby ostateczny skład moczu był taki sam jak skład moczu pierwotnego, dochodziłoby do utruty dużych ilości wody i substancji, które organizm mógłby jeszcze wykorzystać. Dlatego też w kolejnym etapie powstawania moczu dochodzi do **resorpcji**, czyli wchłaniania zwrotnego. W pierwszym odcinku kanalika nerkowego (kanaliku proksymalnym) zachodzi proces wchłaniania zwrotnego, określany jako **resorpcja zwrotna obowiązkowa**. Podczas tego procesu wchłaniane zwrotnie do krwi na drodze **transportu aktywnego** są: glukoza, aminokwasy, jony  $\text{Na}^+$  i  $\text{K}^+$ , a na drodze **transportu biernego**: woda, jony  $\text{Cl}^-$ , mocznik, kreatynina i inne substancje<sup>10</sup>. Po przejściu przez kolejne odcinki kanalika krętego I rzędu, mocz pierwotny traci około 90 % wody, jednak pomimo tak znacznej utraty wody pozostaje płynem izotonicznym w stosunku do osocza krwi. Przetwarzanie filtratu w kanaliku proksymalnym pozwala na zachowanie względnie stałego pH płynów ustrojowych. Komórki nabłonka transportowego wydzielają do światła kanalików jony  $\text{H}^+$  oraz syntetyzują i wydzielają amoniak, który działa jak bufor dla jonów  $\text{H}^+$ . Im kwaśniejszy jest filtrat, tym więcej amoniaku komórki produkują i wydzielają. Kanaliki proksymalne dodatkowo reabsorbują z filtratu około 90 % buforującego anionu wodorowęglanowego, przyczyniając się dodatkowo do zachowania równowagi pH w płynach ustrojowych. Resorpcja jest kontynuowana w **pętli Henlego**. Filtrat jest wówczas transportowany do ramienia zstępującego pętli. Tam, liczne kanały wodne – akwaporyny – czynią nabłonek łatwo przepuszczalny dla wody.

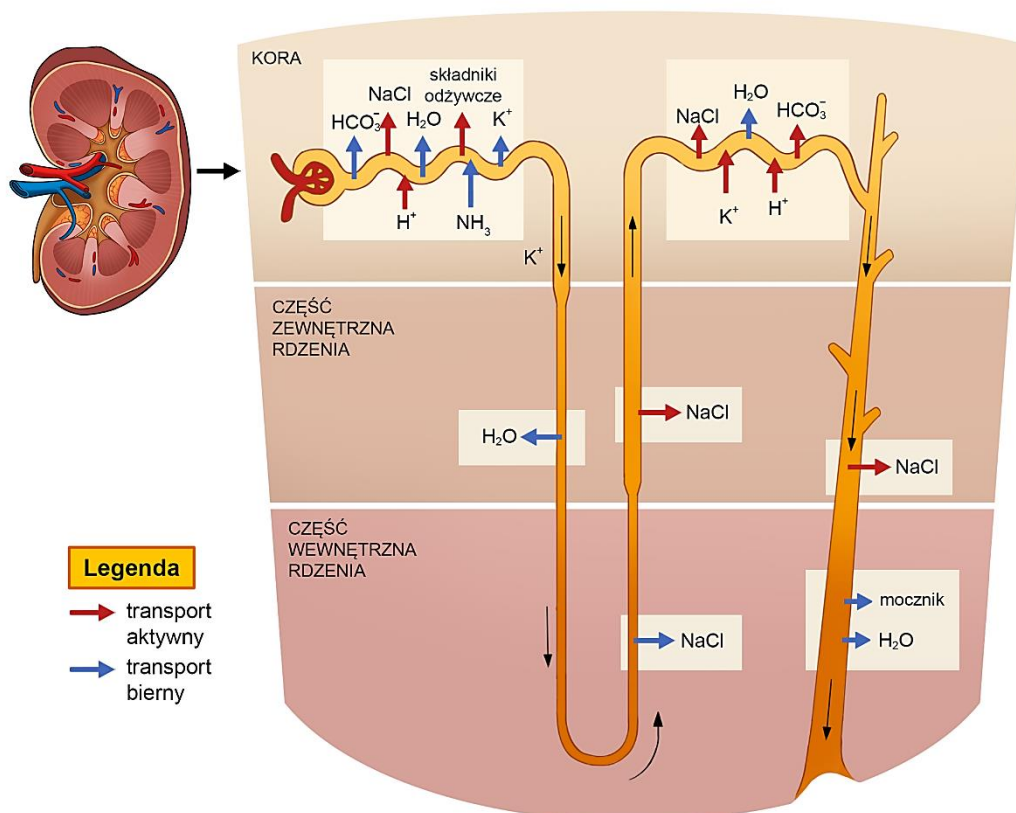
<sup>8</sup> część ciałka nerkowego zbudowana z nabłonka jednowarstwowego płaskiego otaczająca naczynia krwionośne kłębuszka nerkowego

<sup>9</sup> w jego skład wchodzi:  $\text{H}_2\text{O}$ , sole mineralne ( $\text{NaCl}$  i inne),  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{H}^+$ , mocznik, glukoza, aminokwasy i niektóre leki.

<sup>10</sup> komórki nabłonkowe aktywnie transportują  $\text{Na}^+$  do płynu śródmiąższowego, a przemieszczanie dodatniego ładunku poza kanaliki napędza pasywny transport jonów  $\text{Cl}^-$ .

W przeciwieństwie do kanalika proksymalnego nie ma tam jednak kanałów i nośników dla soli i innych niskocząsteczkowych substancji, co powoduje brak przepuszczalności dla tych substancji. Aby woda efektywnie wychodziła z kanalików na drodze osmozy, płyn śródmiąższowy musi być hipertoniczny w stosunku do filtratu. Takie warunki panują wzdłuż całego ramienia zstępującego, gdyż osmolarność płynu śródmiąższowego rośnie stopniowo od zewnętrznej kory do wewnętrznego rdzenia nerki. W rezultacie filtrat traci wodę, a rośnie w nim stężenie substancji rozpuszczonych, w miarę jak przesuwają się w dół ramienia zstępującego. Filtrat dociera do czubka pętli i następnie wraca do kory **ramieniem wstępującym**. Przeciwnie do ramienia zstępującego **ramię wstępujące nie posiada akwaporyn i jest nieprzepuszczalne dla wody**. Ramię wstępujące ma dwa wyspecjalizowane regiony: **cienki**, blisko końca pętli i **gruby**, sąsiadujący z kanalikiem dystalnym. Gdy filtrat wznosi się w segmencie cienkim, NaCl, który jest zagęszczany w ramieniu zstępującym dyfunduje z przepuszczalnego kanalika do płynu śródmiąższowego. Ten przepływ NaCl z kanalika pomaga utrzymać osmolarność płynu śródmiąższowego w rdzeniu. W części grubej ramienia wstępującego następuje ciągły ruch NaCl z filtratu. Tutaj jednak nabłonek aktywnie transportuje NaCl do płynu śródmiąższowego. W miarę utraty soli (ale nie wody), filtrat płynący w kierunku kory staje się coraz bardziej rozcieńczony (ubogi w  $\text{Na}^+$  i  $\text{Cl}^-$ ). W kanalikach dystalnych, w zależności od aktualnego zapotrzebowania organizmu (w sytuacji występowania niedoborów), zachodzi proces **resorpcji zwrotnej nadobowiązkowej**, w wyniku którego do krwi wchłaniana jest dodatkowa ilość wody i jonów  $\text{Na}^+$ . Kanalik dystalny odgrywa główną rolę w regulacji stężenia jonów  $\text{K}^+$  i NaCl w płynach ustrojowych. Ta regulacja obejmuje różnice w ilości wydzielanych jonów potasowych do filtratu, a także ilości reabsorbowanego NaCl z filtratu. Podobnie jak kanalik proksymalny, kanalik dystalny wpływa na regulację pH przez kontrolowane wydzielanie protonów i reabsorpcję jonów wodorowęglanowych.

**Sekrecja** obejmuje odrębny etap związany z wydzieleniem różnych substancji przez komórki nabłonkowe kanalików nerkowych do ich światła. Podobnie jak w przypadku wchłaniania zwrotnego sekrecja może mieć charakter bierny lub aktywny. Do związków wydzielanych biernie do światła kanalików nerkowych należą sole amonowe i słabe kwasy (np. kwas salicylowy). Związki te wydzielane są w celu przeciwdziałania nadmiernym zmianom pH moczu pierwotnego. Z kolei aktywnie wydzielane są do światła kanalików takie związki jak kreatynina, hormony steroidowe oraz niektóre związki o charakterze egzogennym, np. leki zaliczane do antybiotyków (penicylina, sulfonamidy).





## Porównanie składu moczu pierwotnego ze składem moczu ostatecznego

składniki	mocz pierwotny	mocz ostateczny
woda	150 – 180 litrów	1,5 – 2,0 litra
aminokwasy	65 gramów	<b>brak</b>
glukoza	200 gramów	<b>brak</b>
mocznik	60 gramów	35 gramów
jony chlorkowe	690 gramów	5 gramów
sód	600 gramów	4 gramy
wapń	9 gramów	0,2 grama
potas	35 gramów	3 gramy

**działanie hormonu antydiuretycznego (ADH, AVP)**, czyli wazopresyny - komórki osmoreceptorów w podwzgórzu monitorują osmolarność krwi i regulują uwalnianie ADH z tylnego płata przysadki mózgowej. Kiedy osmolarność krwi rośnie (np. po słonym posiłku lub utracie wody wskutek pocenia się) i przekroczy pułap 300 mOsm/l, rośnie ilość wazopresyny uwalnianej do krwiobiegu. W nerce, głównym miejscem działania ADH są kanaliki zbiorcze. Tam ADH powoduje zmiany, które prowadzą do zwiększonej przepuszczalności nabłonka dla wody. W rezultacie następuje zagęszczenie moczu, zredukowanie jego objętości i obniżenie osmolarności krwi do punktu wyjściowego. Ponadto wazopresyna obkurcza naczynia krwionośne i zwiększa ciśnienie tętnicze krwi.

**układ rennina-angiotensyna-aldosteron** – układ ten (inaczej RAAS) obejmuje **aparat przykłębuszkowy**, wyspecjalizowaną tkankę zbudowaną z komórek znajdujących się w okolicach tętniczki aferentnej (doprowadzającej), która dostarcza krew do kłębuszka. Kiedy ciśnienie lub objętość krwi w tętniczce aferentnej spada (np. w wyniku odwodnienia), aparat przykłębuszkowy nerek uwalnia enzym **reninę**. Renina inicjuje ciąg zdarzeń, które prowadzą do rozszczepienia białka osocza zwanego *angiotensynogenem*, wytwarzając ostatecznie peptyd zwany **angiotensyną II**. Ta podnosi ciśnienie krwi przez skurcz tętniczek (jej antagonistą jest NO), co zmniejsza przepływ krwi do naczyń włosowatych nerki (i innych narządów). angiotensyna II stymuluje również korę nadnerczy do uwalniania hormonu zwanego **aldosteronem**. Ten powoduje, że kanalik dystalny i kanalik zbiorczy reabsorbują więcej  $\text{Na}^+$  (a tym samym wody), zwiększając objętość i ciśnienie krwi. Aldosteron wzmacnia wchłanianie zwrotne soli sodowych w kanalikach nerkowych, przez co więcej NaCl – oraz związanej z nim wody – zostaje w organizmie. Powstaje mniej moczu, który jest bardziej zagęszczony, a objętość krążącej w ustroju krwi wzrasta. Skutkuje to wzrostem ciśnienia tętniczego.

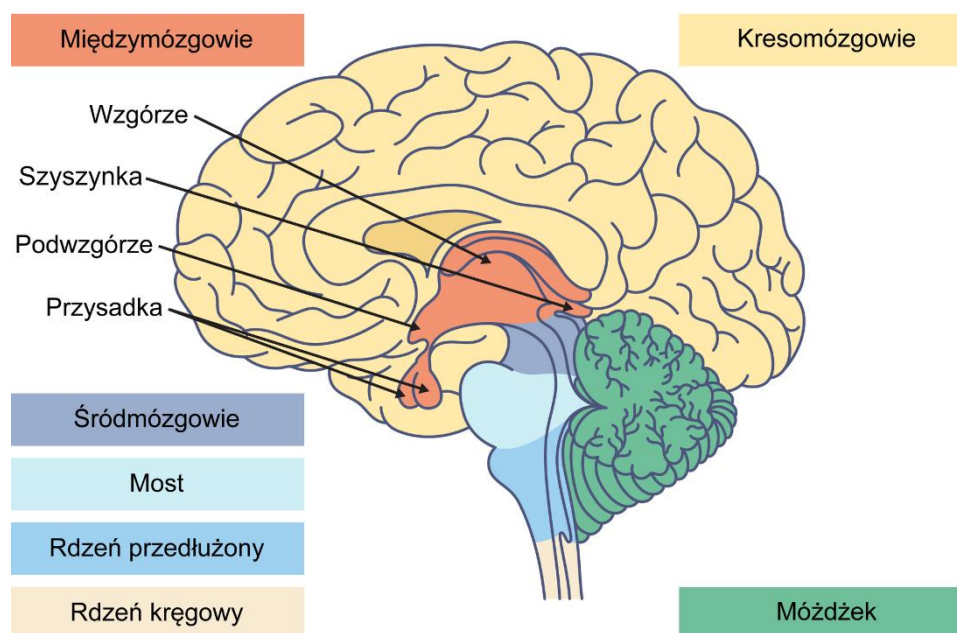
**Uwaga.** Nie należy mylić działania wazopresyny z działaniem aldosteronu. Aldosteron zwiększa reabsorpcję sodu, co wtórnie powoduje zatrzymanie wody, podczas gdy wazopresyna bezpośrednio zwiększa reabsorpcję wody poprzez zwiększenie przepuszczalności cewek zbiorczych dla wody. Aldosteron wpływa na gospodarkę sodową i potasową, zwiększając reabsorpcję sodu i wydalanie potasu, natomiast wazopresyna głównie reguluje gospodarkę wodną, bez bezpośredniego wpływu na stężenie sodu czy potasu. Aldosteron działa na kanaliki dystalne i cewki zbiorcze, podczas gdy wazopresyna działa głównie na cewki zbiorcze.



✓ wyjaśnia mechanizm sprzężenia zwrotnego ujemnego na osi podwzgórze – przysadka – gruczoł (hormony tarczycy, kory nadnerczy i gonad);

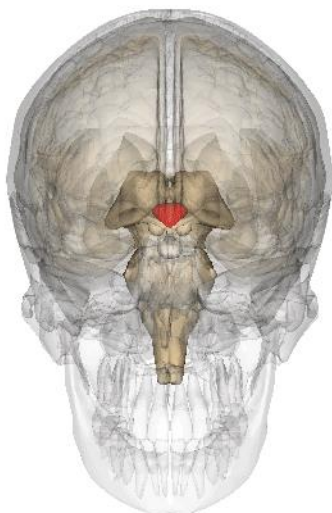
Czynność wydzielnicza gruczołów dokrewnych regulowana jest za pomocą złożonych mechanizmów, jednym z nich jest **kontrola** hormonalna, związana z występowaniem pętli ujemnych sprzężeń zwrotnych, regulujących uwalnianie hormonów gruczołów obwodowych – przysadki mózgowej oraz podwzgórze. Szczególnie istotną rolę w regulacji czynności układu dokrewnego odgrywa **przysadka mózgowa**. Jej przedni płat produkuje i wydziela hormony tropowe (tyreotropinę, kortykotropinę i gonadotropiny), które pobudzają gruczoły obwodowe (tarczycę, korę nadnerczy i gruczoły płciowe) do wydzielania właściwych im hormonów. Dzięki temu aktualne stężenie hormonu tropowego w osoczu krwi reguluje aktywność wydzielniczą obwodowego gruczołu endokrynnego.

Drugim elementem, związanym z kontrolą czynności wewnątrzwydzielniczej organizmu jest aktywność endokrynną **podwzgórze**. W tej strukturze międzymózgowia zlokalizowane są neurony, które syntetyzują hormony sterujące pracą przysadki mózgowej. Należą do nich liberyny (podwzgórzowe czynniki stymulujące uwalnianie hormonów przysadki) oraz statyny (podwzgórzowe czynniki hamujące uwalnianie hormonów przysadki). Dzięki produkcji i wydzielaniu statyn i liberyn, podwzgórze sprawuje nadrzędną funkcję kontrolną nad aktywnością endokrynną organizmu.



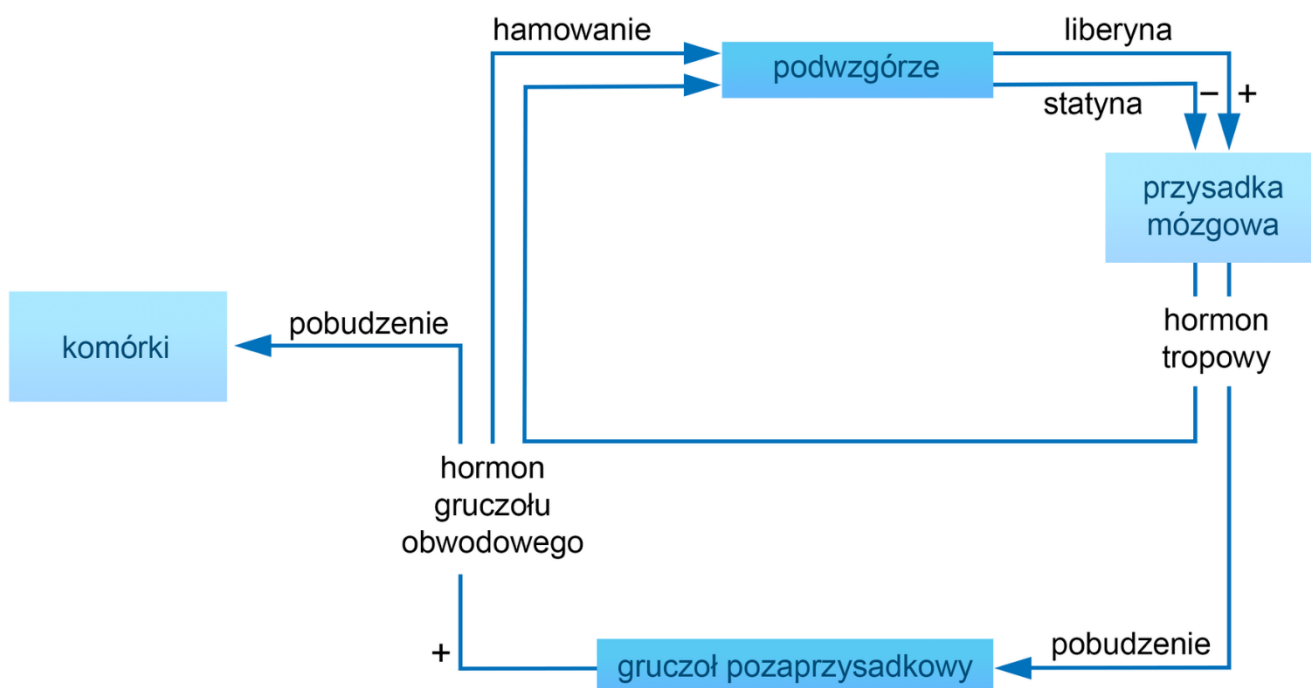
Wśród pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego wyróżniamy pętle pojedyncze i podwójne. Podstawą działania tych pierwszych jest interakcja zachodząca między przysadką mózgową, a gruczołem obwodowym (tarczycą, korą nadnerczy, gonadami). Hormony tropowe przysadki wpływają pobudzająco na czynność wydzielniczą gruczołów obwodowych, prowadząc do sekrecji hormonów. Z kolei podwyższenie stężenia hormonu gruczołu obwodowego w osoczu hamuje czynność wydzielniczą przysadki. Prowadzi to do hamowania wydzielania hormonu tropowego przez przysadkę i – w efekcie – zmniejsza sekrecję hormonu gruczołu obwodowego. Gdy jednak poziom w osoczu hormonu wydzielanego przez gruczoł obwodowy staje się zbyt niski, przysadka (niehamowana już na zasadzie ujemnego sprzężenia zwrotnego), zwiększa wydzielanie hormonu tropowego, pobudzając gruczoł obwodowy.

**Podwójne pętle ujemnego sprzężenia zwrotnego** przejawiają się w związku z czynnością wydzielniczą podwzgórza. Aktywność hormonalna przysadki kontrolowana jest przez podwzgórzowe hormony uwalniające lub hamujące działanie hormonów tropowych przysadki. Wydzielenie hormonu tropowego prowadzi do pobudzenia czynności wydzielniczej gruczołu obwodowego i uruchamia pętlę sprzężenia zwrotnego ujemnego – opisaną powyżej. Oprócz reakcji charakterystycznej dla pętli pojedynczej, podwyższenie w osoczu krwi stężenia hormonu gruczołu obwodowego hamuje jednocześnie uwalnianie przez podwzgórze liberyn kontrolujących czynność wydzielniczą przysadki. W taki sposób tworzy się podwójna pętla ujemnego sprzężenia zwrotnego, w której hormon gruczołu obwodowego hamuje czynność wydzielniczą zarówno przysadki mózgowej, jak i podwzgórza.



Podwzgórze i przedni płat przysadki mózgowej połączone są przez tzw. **przysadkowy układ wrotny**, dzięki któremu neurohormony podwzgórza mogą oddziaływać na czynność przysadki.

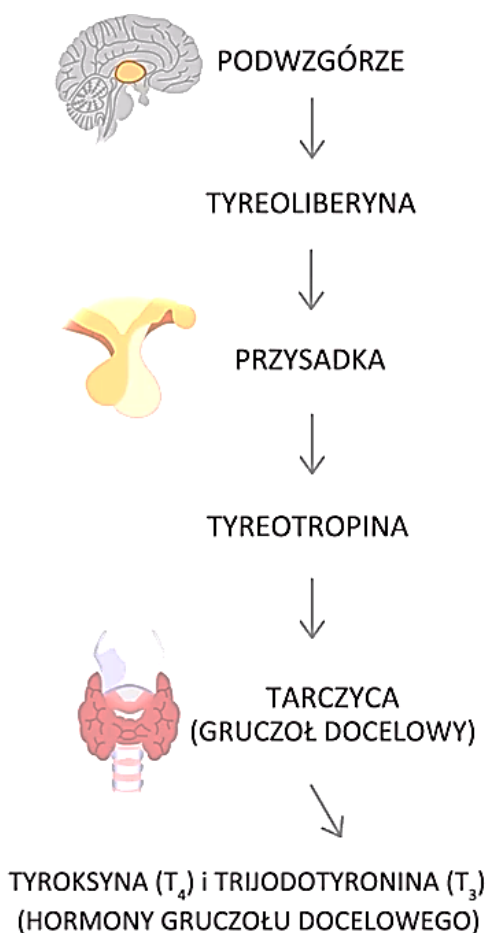
Rysunek 14. Lokalizacja podwzgórza w mózgowiu człowieka – zaznaczono je kolorem czerwonym.



Rysunek 15. Regulacja i kontrola hormonalna niektórych procesów w organizmie odbywa się pod wpływem dwóch antagonistycznie działających hormonów podwzgórza – **statyny i liberyny**. Liberyna działa pobudzająco na przysadkę, stymulując ją do wydzielania hormonu tropowego, który z kolei pobudza wydzielanie hormonów przez gruczoł obwodowy (pozaprzysadkowy). Statyna natomiast działa hamująco na przysadkę, ograniczając wydzielanie przez nią hormonu tropowego, a w konsekwencji również hormonu gruczołu obwodowego.

Do **hormonów tropowych** wytwarzanych przez przedni płat przysadki mózgowej należą: hormon adrenokortykotropowy, hormon tyreotropowy, hormon folikulotropowy oraz hormon luteinizujący.

<b>hormon adrenokortykotropowy (ACTH)</b>	stymuluje produkcję hormonów przez korę nadnerczy (mineralokortykosteroidy – np. aldosteron; kortykosteroidy – np. kortyzol; androgeny – np. testosteron).
<b>hormon tyreotropowy (TSH)</b>	stymuluje tarczycę do wydzielania jej hormonów tyroksyny ( $T_4$ , tetrajodotyroniny) oraz trójiodotyroniny.
<b>hormon folikulotropowy (FSH)</b>	u kobiet pobudza wytwarzanie estrogenów przez jajniki oraz dojrzewanie pęcherzyka jajnikowego, a u mężczyzn stymuluje spermatogenezę.
<b>hormon luteinizujący (LH)</b>	u kobiet LH pobudza owulację oraz produkcję progesteronu, a u mężczyzn pobudza produkcję testosteronu.



Podwzgórze wytwarza tyreoliberynę, która stymuluje przedni płat przysadki do produkcji hormonu tyreotropowego (TSH). TSH stymuluje tarczycę do syntezy jej hormonów. W przypadku tarczycy również mamy do czynienia ze sprzężeniem zwrotnym ujemnym: zwiększone stężenie **tyroksyny i trójiodotyroniny** we krwi hamuje wytwarzanie **tyreoliberyny oraz TSH**, dzięki czemu zachowana zostaje równowaga gospodarki hormonalnej tarczycy.

Podobne zależności dotyczą również **kory nadnerczy oraz gonad**.

**Dodatknie sprzężenie zwrotne:** oksytocyna jest jednym z niewielu hormonów regulowanych przez mechanizm sprzężenia zwrotnego. Zarówno podczas porodu, jak i karmienia piersią, oksytocyna jest uwalniana i powoduje dodatkowe uwalnianie oksytocyny. Podczas porodu uwolnienie oksytocyny powoduje skurcze macicy, a skurcze macicy powodują uwalnianie dodatkowej oksytocyny.

Dodatkowym przykładem dodatniego sprzężenia zwrotnego jest **mikcja** - podczas mikcji początkowy skurcz mięśni pęcherza moczowego wywołuje sygnały nerwowe, które nasilają skurcze mięśni opróżniających pęcherz. To dodatkowe sprzężenie zwrotne trwa, aż pęcherz zostanie całkowicie opróżniony. Innym przykładem jest **powstawanie skrzepu** przy krzepnięciu krwi.

✓ przedstawia rolę hormonów tkankowych na przykładzie gastryny, erytropoetyny i histaminy;

Hormony zwierzęce, określane mianem bioregulatorów, powstają nie tylko w gruczołach dokrewnych (hormony gruczołowe) czy komórkach nerwowych (neurohormony), ale także w innych komórkach lub grupach komórek – hormony o takim pochodzeniu są nazywane hormonami tkankowymi.

Niektóre z tych hormonów są wydzielane przez komórki konkretnych narządów wewnętrznych. Należą do nich m.in. hormony przewodu pokarmowego wspomagające jego działanie, takie jak **gastryna** czy **sekretyna**. Inne hormony tkankowe są wytwarzane przez wyspecjalizowane komórki rozmieszczone w różnych częściach organizmu, np. **histamina**, produkowana w komórkach tucznych (mastocytach), pełniąc różnorodne złożone funkcje (m.in. rozszerza naczynia włosowate, kurczy mięśnie gładkie, reguluje działanie hormonów przedniego płata przysadki, jest neuroprzebieżnikiem pobudzającym w układzie nerwowym), a także **leptyna** – wydzielana przez komórki tkanki tłuszczowej, odpowiedzialna m.in. za kontrolę łaknienia.

Hormony tkankowe są wytwarzane przez komórki lub grupy komórek inne niż gruczoły dokrewne. Zalicza się do nich: **peptydy** powstające w błonach śluzowych układu pokarmowego i pobudzające czynność gruczołów trawiennych (cholecystokina, gastryna, sekretyna); **peptydy** regulujące ciśnienie krwi i skurcze mięśni gładkich (angiotensyna, bradykinina); niektóre **poliaminy** o różnorodnym działaniu (histamina, serotonina, tyramina); acetylocholinę i kwas  $\gamma$ -aminomasłowy, odgrywające rolę w przewodnictwie nerwowym (przebieżniki), czy prostaglandyny (powodujące m.in. rozszerzenie lub skurcz naczyń krwionośnych).

**Gastryna** powstaje w komórkach G błony śluzowej żołądka oraz także w pewnym stopniu dwunastnicy. Stymuluje komórki okładzinowe żołądka do wydzielania kwasu solnego (HCl), co zwiększa kwasowość soku żołądkowego. Działa również na komórki główne, pobudzając wydzielanie pepsynogenu. Wzrost kwasowości żołądka sprzyja trawieniu pokarmu i kontroluje rozwój mikroorganizmów. Odpowiada również za regenerację błony śluzowej żołądka, dwunastnicy i jelita grubego. Stymuluje aktywność motoryczną przewodu pokarmowego.

**Erytropoetyna** (EPO) jest produkowana głównie w nerkach (na poziomie **kory nerek**) i w mniejszym stopniu w wątrobie. Erytropoetyna jest kluczowym regulatorem erytropoezy, czyli procesu tworzenia czerwonych krwinek w szpiku kostnym. W odpowiedzi na hipoksję (niedotlenienie) zwiększa się jej wydzielanie, co stymuluje proliferację i różnicowanie komórek progenitorowych erytrocytów. W efekcie dochodzi do zwiększenia liczby czerwonych krwinek, co poprawia zdolność krwi do transportu tlenu.

**Histamina** jest produkowana przez komórki tuczne (mastocyty) oraz bazofile w różnych tkankach organizmu. Histamina odgrywa kluczową rolę w reakcjach alergicznych i zapalnych, powodując rozszerzenie naczyń krwionośnych, spadek ciśnienia krwi i zwiększenie ich przepuszczalności, co prowadzi do obrzęku i zaczerwienienia. W układzie pokarmowym stymuluje wydzielanie kwasu solnego w żołądku. Jako neuroprzebieżnik w ośrodkowym układzie nerwowym wpływa na regulację snu, apetytu i funkcje poznawcze.

**Sekretyna** produkowana jest przez komórki S błony śluzowej dwunastnicy. Pobudza trzustkę do wydzielania soku trzustkowego bogatego w wodorowęglany, co neutralizuje kwaśną treść pokarmową przechodzącą z żołądka do dwunastnicy. Działa również na wątrobę, zwiększając produkcję żółci, oraz hamuje wydzielanie gastryny, regulując tym samym procesy trawienne.

**Cholecystokinina** (CCK) jest produkowana przez komórki I błony śluzowej dwunastnicy oraz jelita czczego. Stymuluje skurcz pęcherzyka żółciowego, co prowadzi do uwolnienia żółci do dwunastnicy, wspomagając trawienie tłuszczów. Pobudza również trzustkę do wydzielania enzymów trawiennych oraz wpływa na ośrodek sytości w podwzgórzu, regulując apetyt.

**Leptyna** jest produkowana przez adipocyty (komórki tkanki tłuszczowej). Jej poziom we krwi jest proporcjonalny do ilości zgromadzonej tkanki tłuszczowej. Odpowiada za regulację apetytu (działa pobudzająco na ośrodki sytości umiejscowione w podwzgórzu). Wpływa na zużycie energii przez organizm, promując procesy termogenezy i regulując magazynowanie tłuszczu. Moduluje odpowiedź immunologiczną, wpływając na procesy zapalne w organizmie.

**Serotonina** produkowana jest przez komórki enterochromafinowe przewodu pokarmowego, płytki krwi oraz neurony ośrodkowego układu nerwowego. Serotonina reguluje motorykę przewodu pokarmowego, wpływając na skurcze mięśni gładkich jelit. W ośrodkowym układzie nerwowym moduluje nastrój, sen, apetyt i percepcję bólu. Niedobór serotoniny jest związany z zaburzeniami nastroju, takimi jak depresja. Jej funkcje są bardzo złożone, ponieważ wpływa ona też m.in. na działanie układu krzepnięcia, krążenia, nerwowego, wydzielania wewnętrznego, moczowo-płciowego, a nawet reguluje pracę narządu wzroku.

**Tyramina** powstaje w wyniku dekarboksylacji tyrozyny w różnych tkankach. Wpływa na uwalnianie noradrenaliny z zakończeń nerwowych, co może prowadzić do skurczu naczyń krwionośnych i podwyższenia ciśnienia krwi.

**Acetylocholina** jest syntetyzowana w neuronach cholinergicznym zarówno w ośrodkowym, jak i obwodowym układzie nerwowym. Acetylocholina jest neuroprzekaźnikiem, który w synapsach nerwowo-mięśniowych powoduje skurcz mięśni szkieletowych. W układzie przywspółczulnym obniża częstość akcji serca, zwiększa perystaltykę jelit i wydzielanie gruczołów trawiennych.

**Prostaglandyny** należą do hormonów parakrynnych (działających miejscowo), są regulatorami procesów fizjologicznych, powstają wskutek pobudzenia nerwowego. Występują we wszystkich tkankach oraz płynach ustrojowych. Wykazują bardzo dużą aktywność biologiczną. Prostaglandyny pełnią różnorodne funkcje, w tym modulację stanu zapalnego, regulację skurczu i rozkurczu mięśni gładkich naczyń krwionośnych (wpływając na ciśnienie krwi), kontrolę agregacji płytek krwi oraz indukcję skurczów macicy podczas porodu. Ich działanie jest lokalne i krótkotrwałe, co pozwala na precyzyjną regulację procesów fizjologicznych.

**Bradykinina** jest peptydem powstającym w osoczu krwi. Działa jako mediator procesów zapalnych, powodując rozszerzenie naczyń krwionośnych (wazodylatację) i zwiększenie ich przepuszczalności, co prowadzi do obrzęku. Ponadto, bradykinina stymuluje zakończenia nerwowe, wywołując uczucie bólu.

**Kwas gamma-aminomasłowy (GABA)** powstaje w neuronach z glutaminianu przy udziale enzymu dekarboksylazy kwasu glutaminowego. GABA jest głównym neuroprzekaźnikiem hamującym w ośrodkowym układzie nerwowym. Prowadząc do hiperpolaryzacji błony komórkowej neuronów, zmniejsza ich pobudliwość.



✓ określa skutki niedoczynności i nadczynności gruczołów dokrewnych;

gruczoł	niedoczynność	nadczynność
szyszynka	powoduje przyspieszone dojrzewanie szczególnie pod względem płciowym (związane jest to z niedoborem melatoniny, która spowalnia ten proces);	prowadzi do obniżenia płodności oraz opóźnia dojrzewanie;
tarczyca	zwiększa stężenie wapnia we krwi (przez niedobór kalcytoniny - niemożność zablokowania uwalniania wapnia z kości). Niedobór jodu w organizmie prowadzi do niedoborów hormonów i <u>powiększenia tarczycy (wole endemiczne)</u> , niedobór hormonu powoduje u dorosłych <b>obrzęk śluzowaty</b> (sucha, szorstka skóra, nalana twarz, z obwisłymi powiekami), u dzieci ogólny niedorozwój umysłowy i fizyczny ( <b>kretynizm</b> ).	powoduje <b>chorobę Gravesa-Basedowa</b> , która jest <u>chorobą autoimmunologiczną</u> tarczycy. Jej objawy to m.in.: przyspieszenie tempa przemiany materii, utrata wagi, powiększenie tarczycy (wole), zwiększona pobudliwość nerwowa, bezsenność, przyspieszenie oddechu, drżenie rąk oraz ogólne osłabienie i łatwe męczenie się, wytrzeszcz gałek ocznych.
przysadka mózgowa	podobne do niedoczynności gruczołów na które działają hormony tropowe przysadki, niedobór somatotropiny w okresie dzieciństwa prowadzi do <b>karłowatości</b> (niski wzrost z zachowaniem właściwych proporcji ciała);	podobne do nad gruczołów na które działają hormony tropowe przysadki, nadmiar hormonu wzrostu w okresie wzrostu prowadzi do <b>gigantyzmu</b> (zachowane proporcje ciała); w okresie zakończonego wzrostu prowadzi do <b>akromegalii</b> (stopniowe powiększanie się m.in. dłoni, stóp, serca).
przytarczyce	zmniejsza stężenie wapnia we krwi, wzmacnia pobudliwość tkanki nerwowej;	zwiększa stężenie wapnia we krwi, powoduje demineralizację kości, zwiększenie stężenia wapnia we krwi powoduje zwiększone wydalanie go z moczem, co sprzyja odkładaniu się złogów wapnia w nerkach.
grasica	powoduje obniżenie liczby limfocytów we krwi, zaburza ich dojrzewanie; powoduje zanik odporności typu komórkowego.	–

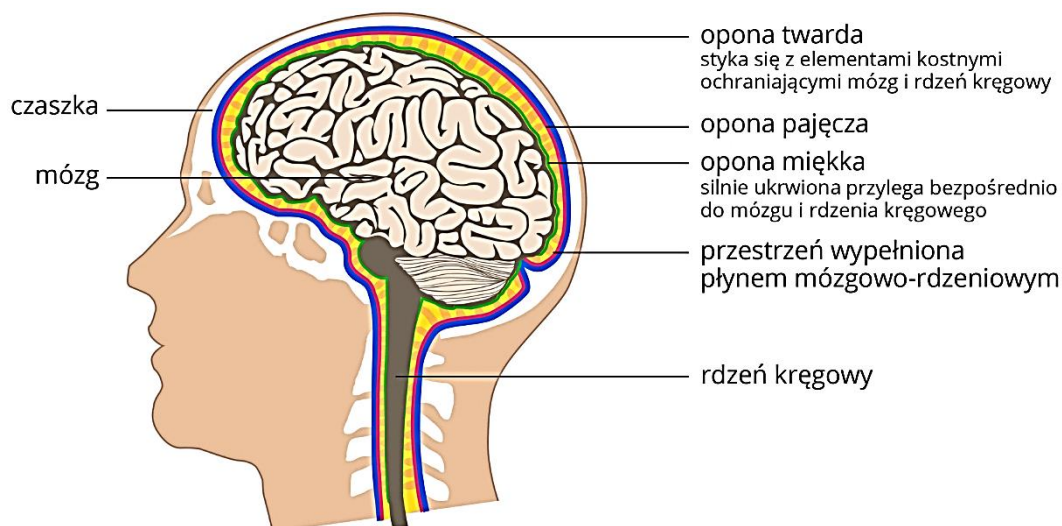
nadnercza	niedobór kortykosteroidów (kortyzolu i aldosteronu) powoduje <b>chorobę Addisona</b> , którą cechują: brak łaknienia, wymioty, krótkotrwałe bóle brzucha, zmniejszenie masy ciała, przebarwienie skóry.	<b>zespół Cushinga</b> – czyli podwyższenie zawartości kortyzolu – we krwi prowadzi do zaburzenia gospodarki lipidowej organizmu, co w efekcie wywołuje otyłość (tkanka tłuszczowa odkłada się głównie w okolicach karku i twarzy). Ponadto u pacjentów obserwuje się zmiany skórne, zaburzenia miesiączkowania, cukrzycę i zaburzenia emocjonalne.
trzustka	powoduje cukrzycę typu I (niedobór insuliny)	zmniejszenie stężenia cukru we krwi (nawet niedożywienie mózgowe prowadzące do śmierci);
jądra	niedobór androgenów: u chłopców powoduje zaburzenia dojrzewania płciowego, natomiast u mężczyzn zaburzenia popędu płciowego, zanik drugo- i trzeciorzędowych męskich cech płciowych (m.in. powiększenie gruczołu piersiowego, przerzedzenie owłosienia) oraz nieswoiste zaburzenia sfery psychiki – zmniejszenie energii życiowej, rozdrażnienie, obniżenie nastroju, pogorszenie pamięci i koncentracji, zaburzenia snu czy spadek wydolności fizycznej.	
jajniki	niedoczynność, czyli niedobór estrogenów i progesteronu może powodować poronienia, zaburzenia dojrzewania płciowego i miesiączkowania. Dodatkowo charakterystyczne dla niedoboru estrogenów są osteoporoza i zanik drugo- oraz trzeciorzędowych cech płciowych (m.in. męska sylwetka ciała, obniżenie głosu, męski typ owłosienia).	
podwzgórze	niedobór wytwarzania oksytocyny przez podwzgórze może prowadzić do opóźnienia akcji porodowej oraz zaburzać proces laktacji. Niedobór wazopresyny prowadzi do <b>moczówki prostej</b> (wydalanie dużej ilości moczu ostatecznego)	

✓ przedstawia budowę i funkcję mózgu, rdzenia kręgowego i nerwów człowieka;

Ośrodkowy układ nerwowy steruje pracą narządów wewnętrznych ustroju, analizuje bodźce docierające do organizmu, kontroluje jego reakcje, odpowiada za rozwój czynności umysłowych, takich jak kojarzenie, zapamiętywanie, uczenie się. Budują go skupienia neuronów ułożonych w specyficzny sposób. **Ciała komórek nerwowych przylegają do siebie, tworząc istotę szarą. Z kolei skupiska wypustek neuronów to istota biała. W skład ośrodkowego układu nerwowego wchodzi mózgowie i rdzeń kręgowy.**

Ośrodkowy układ nerwowy jako centrum kontroli czynności życiowych organizmu musi być szczególnie dobrze chroniony przed urazami i wpływem czynników zewnętrznych. **Mózgowie i rdzeń kręgowy są osłaniane przez:**

- **elementy kostne** (kości czaszki chronią mózgowie, a kanał kręgowy – rdzeń kręgowy);
- **płyn mózgowo-rdzeniowy**, będący przesączem osocza krwi, który amortyzuje wstrząsy i dostarcza do komórek nerwowych substancje odżywcze oraz odbiera z nich ich produkty przemiany materii;
- **3 błony** zbudowane z tkanki łącznej, zwane oponami mózgowo rdzeniowymi.



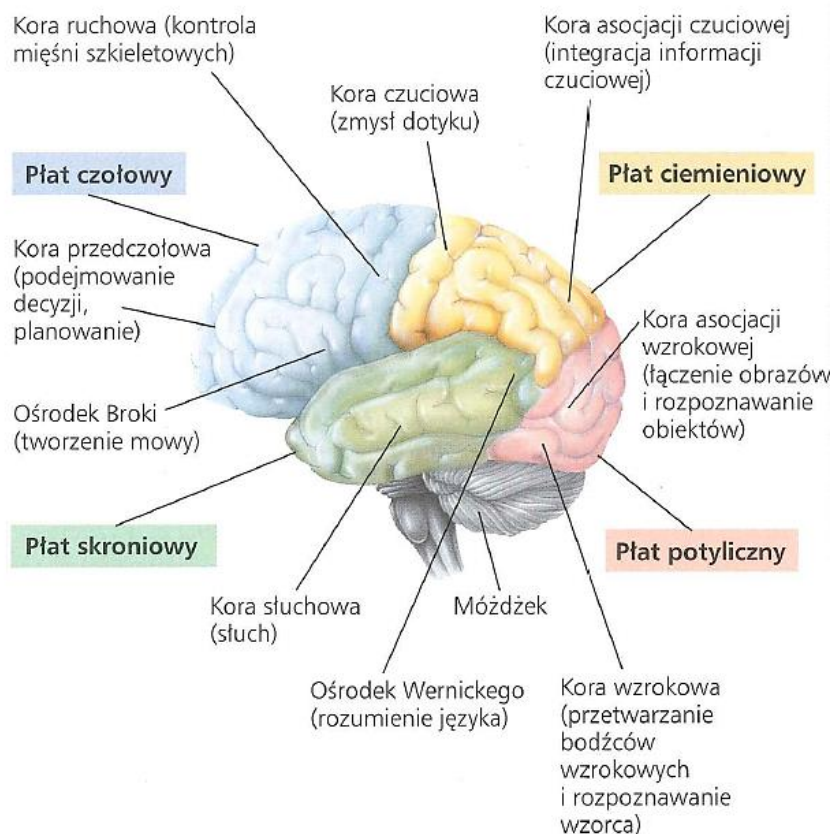
**Mózg** to największa część mózgowia. Jego zewnętrzna warstwa – kora mózgowa – zbudowana jest z **istoty szarej** i u człowieka charakteryzuje się silnym pofałdowaniem. Pod korą znajduje się **istota biała**. Mózg, choć stanowi tylko 2% masy ciała, zużywa aż 20% energii uzyskanej przez organizm. Mózg jest zbudowany z kilkudziesięciu miliardów komórek nerwowych, a każda z nich może mieć po 25 tysięcy połączeń z innymi neuronami. W ciągu życia osobniczego mogą powstawać kolejne połączenia nerwowe, dzięki czemu możliwe jest uczenie się. Zadania wymagające wykonywania nowych czynności oraz trenowania umiejętności fizycznych i rozwiązywania problemów teoretycznych sprzyjają tworzeniu nowych połączeń i zwiększają sprawność intelektualną. U małych dzieci kluczowe znaczenie dla rozwoju mózgu mają zabawy wymagające wykonywania precyzyjnych ruchów, np. majsterkowanie, u starszych także czytanie, pisanie, mówienie oraz wszystkie zajęcia wymagające nabywania nowych kompetencji. **Bruzdy na powierzchni mózgu dzielą go na 2 półkule – prawą i lewą, a każdą z nich na 4 płaty: czołowy, ciemieniowy, skroniowy i potyliczny**, których nazwy odpowiadają kościom czaszki leżącym nad nimi i chroniącymi je. W każdym płacie znajdują się skupienia komórek nerwowych, które zarządzają czynnościami organizmu, np. mową, analizowaniem bodźców słuchowych, dotykowych, uczeniem się.

- **płat czołowy** – związany z wyższymi czynnościami psychicznymi charakterystycznymi dla człowieka, takimi jak planowanie, myślenie, dokonywanie słusznych wyborów czy ocena sytuacji. Bierze również udział we właściwych zachowaniach społecznych i w odczuwaniu emocji;

- **płat skroniowy** – kontroluje wypowiedzanie słów i prawidłową mowę, dzięki niemu możemy modulować głos i jego głośność oraz dostosowywać szybkość mówienia do okoliczności. Ściśle wiąże się ze słuchem;

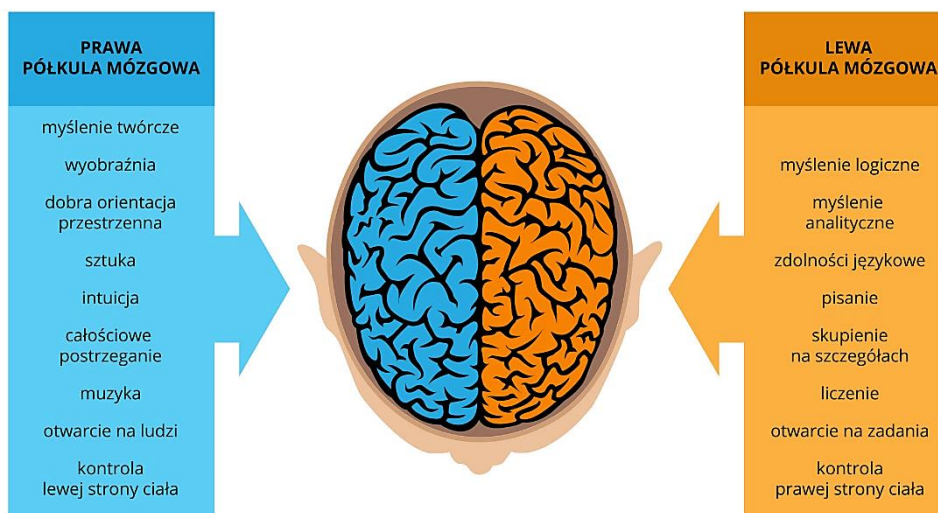
- **płat ciemieniowy** – odpowiada za ruchy planowane i celowe, rozpoznawanie ruchu, a także czucie dotyku, bólu i temperatury. Ponadto umożliwia koordynację wzroku z ruchem oraz rozumienie pojęć abstrakcyjnych;

- **płat potyliczny** – mieści się tutaj ośrodek wzroku, dzięki czemu możemy odbierać, przetwarzać, interpretować i zapamiętywać bodźce wizualne.



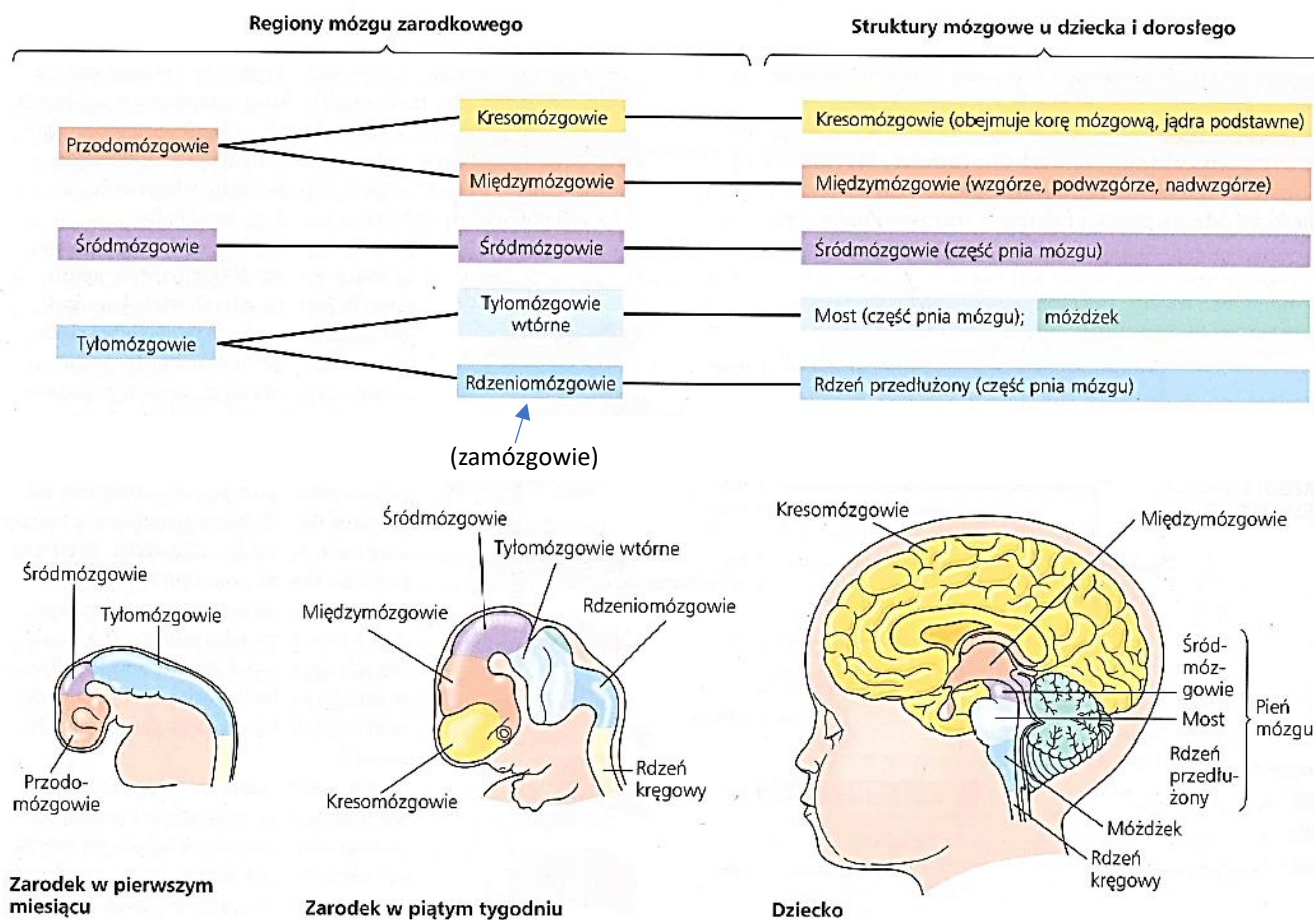
U większości ludzi w naszym kręgu kulturowym **lewa półkula mózgowa dominuje nad prawą**. W efekcie (ponieważ nerwy biegnące od obu półkul do kierowanych przez nie narządów krzyżują się w mózgowiu) większość z nas jest praworęczna.

Lewa półkula odpowiada przede wszystkim za czynności związane z **logicznym myśleniem, porządkowaniem i klasyfikowaniem**, precyzyjnym wypowiedzaniem się oraz takimi dziedzinami, jak matematyka i technika. **Twórcze myślenie, wyobraźnia**, otwarcie na ludzi i ich emocje oraz wysoka sprawność w zakresie **umiejętności artystycznych**, precyzyjnych ruchów wiążą się z prawą półkulą.





Wraz z rozwojem ludzkiego zarodka, cewka nerwowa tworzy trzy przednie uwypuklenia – przodomózgowie, śródmózgowie oraz tyłomózgowie – które razem stanowią dorosły mózg. Śród mózgowie i część tyłomózgowia prowadzą do powstania **pnia mózgu** – trzonu, który łączy się z rdzeniem kręgowym u podstawy mózgu. Reszta tyłomózgowia prowadzi do powstania **mózdzku**, który leży z tyłu za pniem mózgu. Trzecie, przednie uwypuklenie przodomózgowia rozwija się w międzymózgowie z włączeniem tkanek neuroendokrynnych oraz w **kresomózgowie**. Zewnętrzna część kory mózgowej rozpościera się wokół większości pozostałych części mózgu.



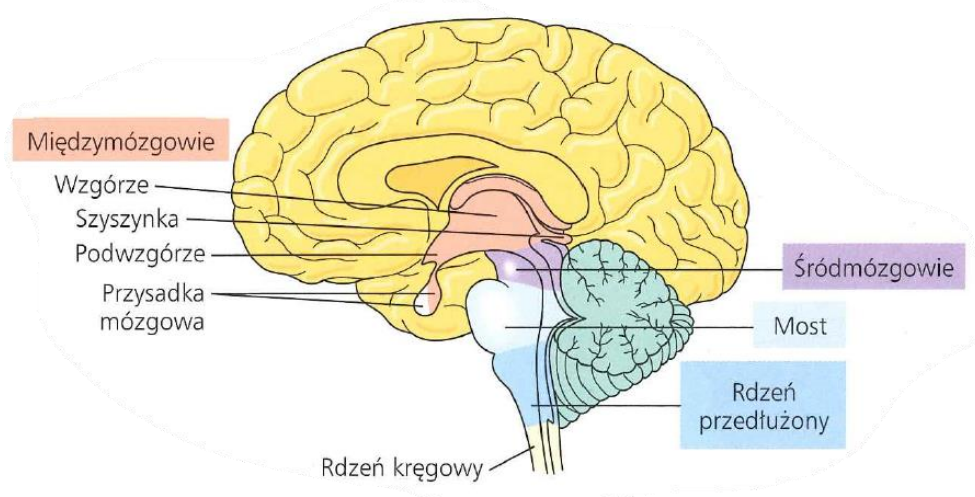
**Kresomózgowie** kontroluje skurcze mięśni szkieletowych i jest centrum uczenia się, emocji, pamięci i percepcji. Jest podzielone na prawą i lewą półkulę mózgową. Zewnętrzna część kresomózgowia nazywana jest korą mózgową i ma zasadnicze znaczenie dla percepcji, dobrowolnych ruchów i uczenia się. Grube pasmo aksonów, znane jako **ciało modzelowate**, umożliwia komunikację dwóch półkul mózgu. Występujące głęboko w istocie białej skupiska neuronów zwane **jądrami podstawnymi** służą jako ośrodki planowania i uczenia się sekwencji ruchowych. Uszkodzenie tych części w trakcie życia płodowego może prowadzić do porażenia mózgowego, zaburzenia powstałego w wyniku przerwania transmisji poleceń motorycznych do mięśni.

**Międzymózgowie** daje początek wzgórz, podwzgórz oraz nadwzgórz. **Wzgórze** jest głównym ośrodkiem podkorowym dla wszystkich informacji czuciowych z wyjątkiem węchowych (te dochodzą do kory mózgowej). Informacje płynące z narządów zmysłów są klasyfikowane we wzgórz i przesyłane do odpowiednich ośrodków korowych do dalszego przetwarzania. **Podwzgórze**, nieco mniejsza struktura, stanowi centrum kontroli (np. termostat organizmu, zegar biologiczny). Kontroluje także prace przysadki mózgowej – reguluje w ten sposób głód i pragnienie, ogrywa rolę w zachowaniach seksualnych, kojarzeniowych i zapoczątkowuje odpowiedź „walki-lub-ucieczki”. Podwzgórze jest również źródłem hormonów tylnego płata przysadki (oksytocyny oraz wazopresyny) oraz hormonów uwalniających, które działają na przedni płat przysadki (liberyny i statyny). **Nadwzgórze** mieści w sobie szyszynkę, będącą źródłem melatoniny. Zawiera ono również skupienia naczyń, które wytwarzają płyn mózgowo-rdzeniowy.



**Móździek**, który rozwija się z części tyłomózgowia, koordynuje ruchy oraz równowagę. Pomaga również w procesie uczenia się i przypomina nam zapamiętane umiejętności ruchowe. Móździek otrzymuje informację czuciową o pozycji stawów i napięciu mięśni oraz sygnały z układów słuchowego i wzrokowego. Monitoruje on także dyspozycje ruchowe wydane przez kresomózgowie. Móździek integruje te informacje, ponieważ przeprowadza koordynację i kontroluje błędy podczas funkcji ruchowych i percepcyjnych. Koordynacja wzrokowo-ruchowa jest przykładem kontroli móźdźku: jeśli móździek jest uszkodzony, osoby będą podążać za poruszającym się obiektem, ale nie zatrzymają się w tym miejscu co on. Ruch ręki w kierunku obiektu też będzie niedokładny.

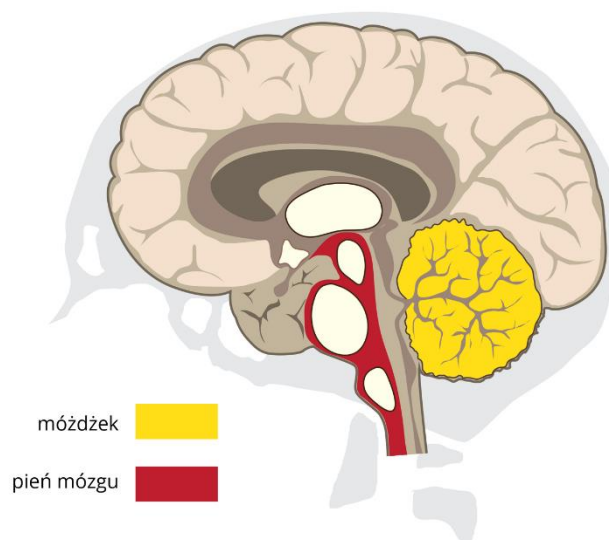
**Pień mózgu** składa się ze śródmózgowia, **mostu** oraz **rdzenia przedłużonego**. Śródmózgowie otrzymuje i integruje wiele rodzajów informacji czuciowych i wysyła je do specyficznych regionów przodomózgowia. Śródmózgowie koordynuje także odruchy wzrokowe, takie jak peryferyjny odruch wzrokowy, głowa zwraca się w kierunku zbliżającego się z boku obiektu bez stworzonego przez mózg obrazu. **Most i rdzeń przedłużony** przesyłają informacje pomiędzy obwodowym układem nerwowym, a śródmózgowiem i przodomózgowiem. Rdzeń kręgowy kontroluje automatyczne funkcje homeostatyczne, w tym oddychanie, czynności serca i naczyń krwionośnych, połykanie czy wymiotowanie.



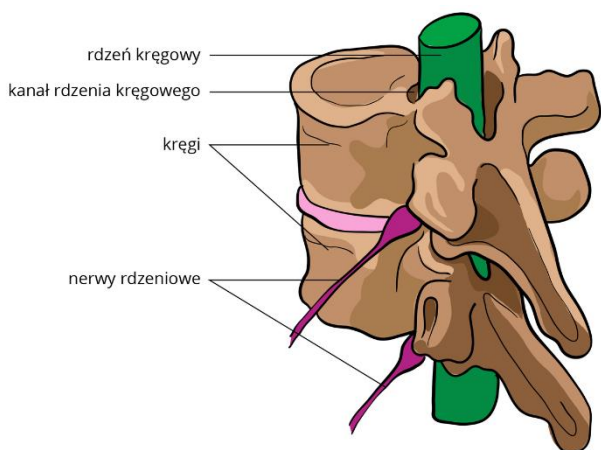
Przetwarzanie informacji w korze mózgowej odbywa się głównie poprzez sygnały docierające z narządów zmysłów, takich jak skóra, które dostarczają informacji o dotyku, bólu, ciśnieniu, temperaturze oraz pozycji mięśni i kończyn. **Większość informacji czuciowych kierowana jest przez wzgórze do podstawowych obszarów czuciowych kory mózgowej znajdujących się w płatach kory mózgowej.** Informacje te są następnie przetwarzane w obszarach asocjacyjnych, które zajmują się bardziej złożonymi cechami bodźców, takimi jak rozpoznawanie kształtów czy twarzy. Przetworzona informacja czuciowa przechodzi do kory przedczołowej odpowiedzialnej za planowanie działania i ruchu, gdzie może być używana do tworzenia określonych komend motorycznych. Reprezentacja różnych części ciała w korze czuciowej i ruchowej jest uporządkowana topograficznie – każda część ciała ma odpowiadający jej obszar kory, a obszary te są rozmieszczone zgodnie z rzeczywistym układem ciała. Przykładem jest reprezentacja palców i dłoni w obszarze kory czuciowej, które leżą najbliżej linii środka, podobnie jak reprezentacja stóp i nóg. Mapy te ilustrują zjawisko homunkulusa, w którym proporcje reprezentacji są zależne od liczby receptorów czuciowych lub stopnia precyzji ruchów w danym obszarze ciała. [Kliknij, aby zobaczyć wizualizację ludzkiego homunkulusa.](#)

Drugą co do wielkości częścią mózgowia jest **móździek**. Podobnie jak mózg ma pofałdowaną korę i składa się z 2 półkul. Móździek odpowiada za napięcie mięśni szkieletowych, utrzymanie równowagi ciała, koordynację ruchów, np. podczas jedzenia z użyciem noża i widelca czy nauki jazdy na łyżwach.

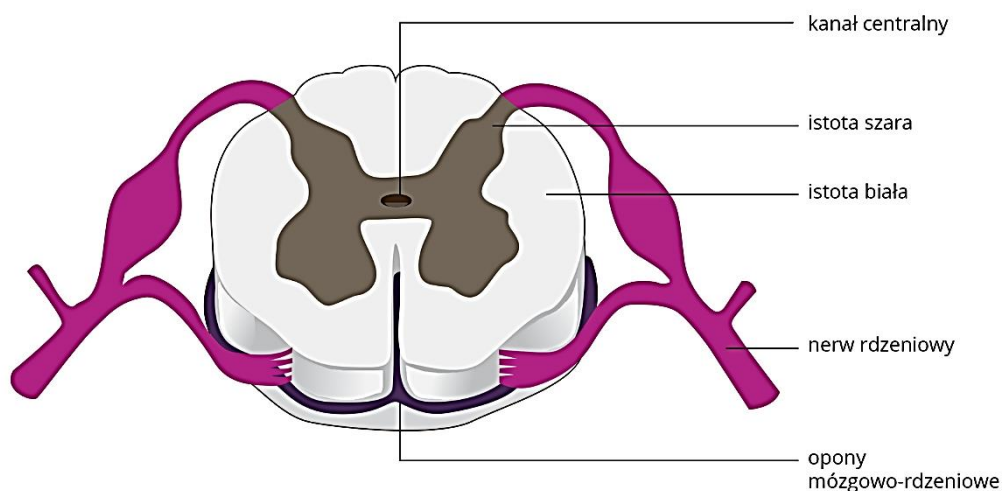
Pomiędzy mózgiem a rdzeniem kręgowym znajduje się **pień mózgu**. Jego częścią jest **rdzeń przedłużony**. Stanowi on ośrodek odruchów warunkujących życie organizmu, niepodlegających naszej woli, np. oddychania, pracy serca, żucia i połykania, ssania, przemiany materii. Uszkodzenie rdzenia przedłużonego może prowadzić do śmierci organizmu.



**Rdzeń kręgowy** ma postać walca i znajduje się w kanale kręgowym kręgośłupa. Zbudowany jest, podobnie jak mózgowie, z istoty białej i szarej. **Odwrotnie niż w mózgowiu, na zewnątrz znajduje się istota biała, a wewnątrz szara.** Istota szara na przekroju poprzecznym rdzenia kręgowego przyjmuje kształt litery H. W środku rdzenia kręgowego znajduje się kanał centralny wypełniony  **płynem mózgowo-rdzeniowym**, który także jest obecny w przestrzeni między rdzeniem a jego oponami. **Od rdzenia kręgowego symetrycznie, po obu stronach kręgośłupa, wychodzi 31 par nerwów rdzeniowych należących do obwodowego układu nerwowego.** Rdzeń kręgowy pośredniczy w przewodzeniu informacji biegnących od receptorów do mózgowia oraz od mózgowia do efektorów. Jako ośrodek nerwowy odruchów bezwarunkowych (wrodzonych) steruje czynnościami organizmu, które zachodzą bez udziału naszej woli.



Skład i wygląd płynu mózgowo-rdzeniowego bada się w celu zdiagnozowania schorzeń układu nerwowego. Płyn pobiera się podczas zabiegu zwanego **punkcją**. Zwiększona ilość białek w pobranym płynie może świadczyć o zapaleniu opon mózgowo-rdzeniowych, a czerwone zabarwienie – o krwotoku w jamie czaszkowej.



- ✓ przedstawia budowę oraz działanie oka - rozpoznaje elementy budowy oka (na modelu, rysunku, według opisu itd.) oraz przedstawia ich funkcje w powstawaniu obrazu, dokonuje obserwacji wykazującej obecność tarczy nerwu wzrokowego i ucha człowieka - rozpoznaje elementy budowy ucha (na modelu, rysunku, według opisu itd.) oraz przedstawia ich funkcje;

Narządy wzroku to para oczu umieszczona z przodu głowy, w oczodołach. Oko składa się z **gałki ocznej** i **aparatu ruchowego**, odpowiedzialnego za ruchy gałki ocznej, oraz **aparatu ochronnego**. Aparat ochronny tworzą 2 powieki: górna i dolna, gruczoł łzowy, spojówka, brwi i rzęsy. Mają one za zadanie minimalizować wpływ czynników mechanicznych i drobnoustrojów, nawilżać oraz oczyszczać przednią powierzchnię oka. Brwi i rzęsy zatrzymują ciała obce, pył i pot. **Spojówka**, cienka błona śluzowa pokrywająca zewnętrzną powierzchnię gałki ocznej oraz tylną powierzchnię powiek, odpowiada za nawilżanie oka. Jest ona silnie unaczyniona i unerwiona. Nawet niewielkie podrażnienie, np. pył wpadający do oka czy lekki dotyk, powoduje ból, mruganie powiekami i łzawienie oka, a często kończy się zapaleniem spojówki. **Powieki górna i dolna** zamykają oko, chroniąc je przed czynnikami mechanicznymi oraz intensywnym światłem. **Gruczoł łzowy** produkuje łzy, które oprócz wody zawierają sole mineralne i substancje bakteriobójcze. Chronią powierzchnię gałki ocznej przed drobnoustrojami, oczyszczają ją z pyłów i kurzu oraz nawilżają.

Gałka oczna ma kształt kulisty, a jej zewnętrzną powierzchnię tworzą trzy błony. **Twardówka** otacza gałkę oczną od zewnątrz, chroni ją przed urazami i nadaje jej kształt. W tylnej części gałki ocznej jest gruba i nieprzezroczysta, a w przedniej, gdzie nosi nazwę **rogówki**, jest cienka i przepuszcza promienie świetlne.

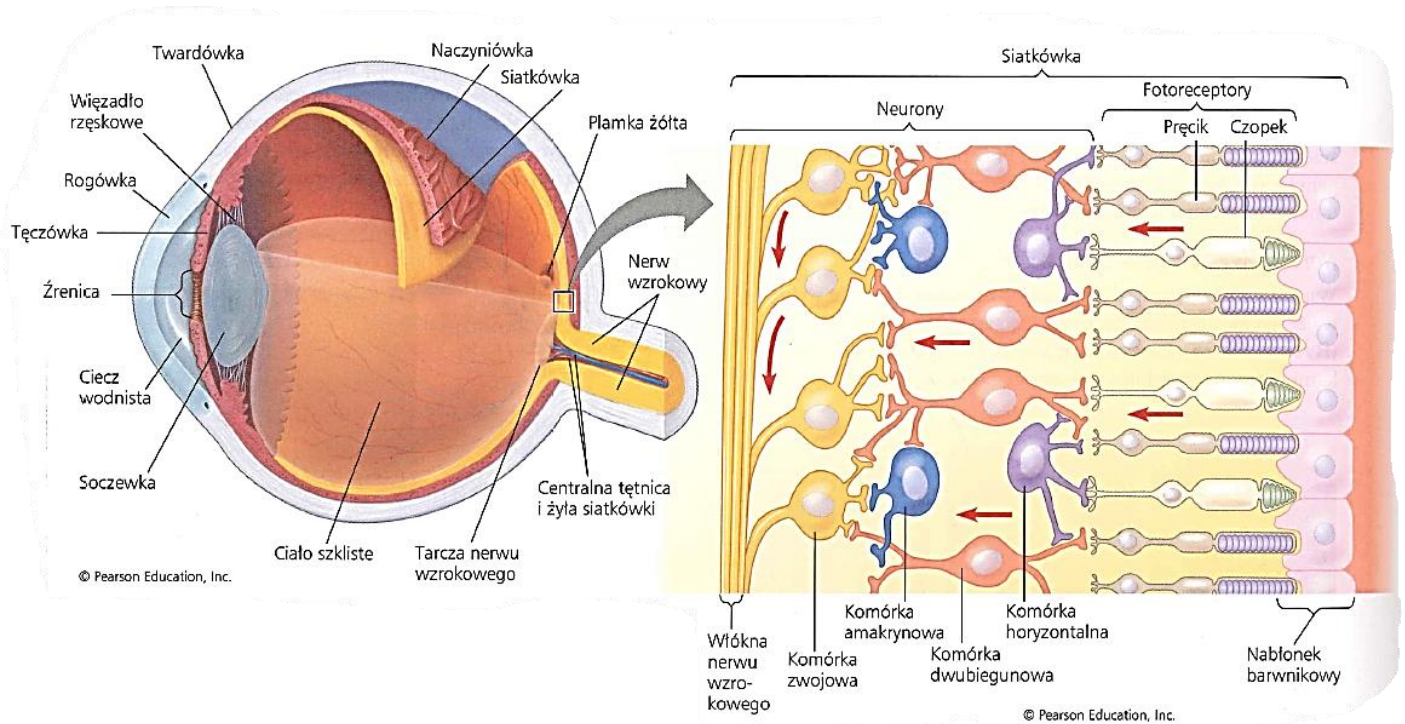
Pod twardówką znajduje się naczyniówka, która zawiera naczynia krwionośne, odżywia oko i dostarcza mu tlen oraz odbiera produkty przemiany materii. W przedniej części gałki ocznej naczyniówka przechodzi w **tęczówkę**, która ma kształt pierścienia. Otwór w pierścieniu to **żrenica**. W tęczówce znajdują się mięśnie gładkie, dzięki czemu może ona zmieniać szerokość żrenicy i regulować ilość światła wpadającego do oka. Adaptacja oka do natężenia światła jest odruchem bezwarunkowym. Barwa tęczówki zależy od ilości barwnika – melaniny.

Najbardziej wewnętrzna błona gałki ocznej to siatkówka. Zawiera ona 2 rodzaje komórek zmysłowych wrażliwych na światło – **czopki** i **pręciki**. **Pręciki są wrażliwe na natężenie światła – dzięki nim mózg odróżnia stopnie szarości, ale nie barwy. Czopki zapewniają widzenie barwne i są aktywne tylko przy jasnym oświetleniu.** To dlatego w półmroku nie widzimy dobrze barw. Każdy czopki wyłapuje światło o innej barwie (długości fali). Na siatkówce jest **125 mln pręcików i 6 mln czopków**, przy czym pręciki występują w zewnętrznej części siatkówki, a czopki centralnie w tylnej części gałki ocznej. Ich największe zagęszczenie (250 tysięcy na mm<sup>2</sup>) występuje w punkcie siatkówki zwanym **plamką żółtą**. Jest to obszar najostrojszego widzenia w oku. Na siatkówce znajduje się również miejsce pozbawione komórek zmysłowych. Jest to **plamka ślepa**, z której wychodzi nerw wzrokowy przekazujący impulsy nerwowe do mózgowia.

Światło pada na siatkówkę, przechodząc przez przezroczyste w dużym stopniu warstwy neuronów, zanim dotrze do pręcików i czopków, dwóch rodzajów fotoreceptorów różniących się kształtem i funkcją. Następnie neurony siatkówki przekazują informacje wzrokowe wychwycone przez fotoreceptory do nerwu wzrokowego i mózgu wzdłuż szlaków zaznaczonych czerwonymi strzałkami. Każda komórka dwubiegunowa otrzymuje informacje od kilku pręcików lub czopków, a każda komórka zwojowa gromadzi sygnały od kilku komórek dwubiegunowych. Komórki poziome i amakrynowe integrują informacje wzdłuż siatkówki.

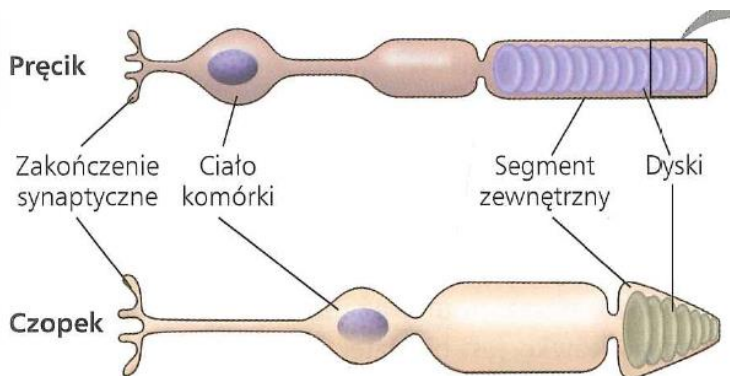
Obszar siatkówki, zwany **tarczą nerwu wzrokowego**, nie posiada fotoreceptorów. W wyniku tego obszar ten tworzy „plamkę ślepa”, gdzie nie jest wykrywane światło.





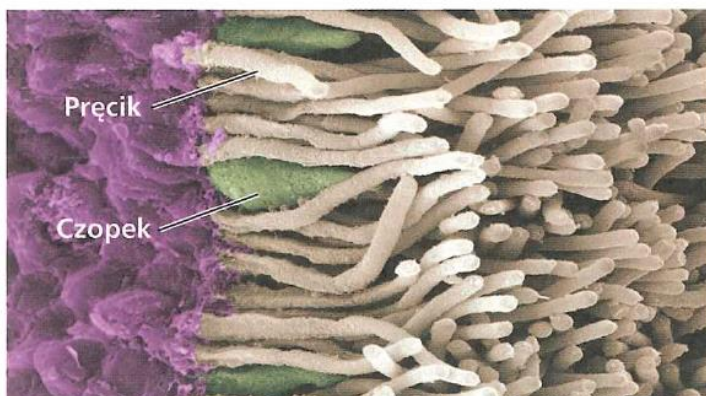
Ludzie mają dwa główne rodzaje fotoreceptorów: **pręciki i czopki**. W zewnętrznym odcinku pręcika lub czopka znajdują się stopy błoniastych dysków, w których zawarte są **barwniki wzrokowe**. Pręciki są bardziej czułe na światło, ale nie rozróżniają kolorów; pozwalają nam widzieć w nocy, ale tylko w czerni i bieli. Czopki zapewniają widzenie barw, ale są mniej wrażliwe i mają bardzo mały udział w widzeniu w nocy. **Są trzy rodzaje czopków. Każdy ma inną czułość w zakresie spektrum światła widzialnego, zapewniając optymalną odpowiedź na czerwone, zielone lub niebieskie światło.**

Na pokazanej poniżej kolorowej mikrofotografii SEM widać czopki (zielone), pręciki (jasnobieżowe) i sąsiadujące neurony (fioletowe). Nabłonek barwnikowy, który został usunięty w tym preparacie, byłby przyklejony z prawej.



Barwniki wzrokowe kręgowców składają się z cząsteczki pochłaniającej światło zwanej **retinalem** (pochodną witaminy A), związanej z białkiem błonowym zwanym **opsyną**. Siedem helis alfa w każdej cząsteczce opsyny przechodzi przez błonę dysku. Opsyna razem z retinalem tworzą barwnik **rodopsyny**.

Retinal istnieje w postaci dwóch izomerów. Absorpcja światła przesuwają jedno wiązanie w retinalu z formy *cis* do *trans*, przekształcając cząsteczkę kształtu ukośnego do formy prostej. Ta zmiana konfiguracji destabilizuje i aktywuje białko opsyny, do którego związany jest retinal.



**Powieka** to fałd skóry, który ochrania i nawilża oko.

**Gruczoły tarczowe** wydzielają łój, który zapobiega nieustannemu wypływaniu łez i tworzy warstwę ograniczającą ich parowanie.

**Rogówka** to przednia część błony włóknistej. Skupia światło i stanowi ochronę mechaniczną gałki ocznej.

**Tęczówka** to przednia część błony naczyniowej, która zmienia wielkość źrenicy, dostosowując oko do warunków oświetlenia. Zapobiega również wnikaniu do oka nadmiernej ilości światła.

**Źrenica** jest otworem, przez który światło przedostaje się w głąb oka.

**Soczewka** jest przezroczystą strukturą załamującą promienie świetlne. Odpowiada za zdolność ostrego widzenia.

**Komory oka** to przestrzenie wypełnione płynem wodnistym.

**Ciało rzęskowe** jest elementem błony naczyniowej. Wytwarza płyn wodnisty wypełniający komory oka i – wpływając na kształt soczewki – bierze udział w regulacji ostrości widzenia.

**Spojówka** to przezroczysta błona, która pokrywa wewnętrzną stronę powiek oraz część gałki ocznej. Wytwarza śluz nawilżający i chroniący gałkę oczną przed drobnymi zanieczyszczeniami.

**Ciało szkliste** ma postać przezroczystej galaretowatej masy. Nadaje gałce ocznej kształt i załamuje promienie świetlne.

**Tarcza nerwu wzrokowego**, zwana dawniej plamką ślepą, to obszar, w którym zbiegają się włókna nerwowe opuszczające gałkę oczną.

**Nerw wzrokowy** przekazuje informacje do mózgowia. Podobnie jak mózgowie – jest otoczony oponami.

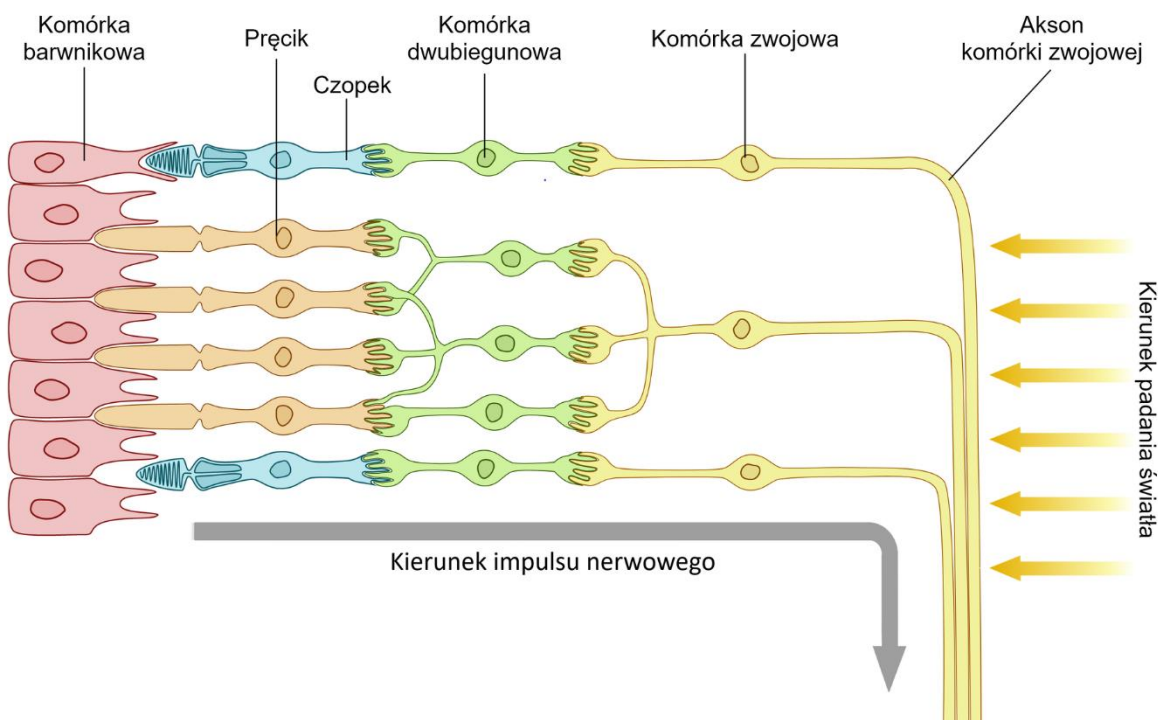
**Twardówka** jest tylną częścią błony włóknistej, która tworzy zewnętrzną ścianę gałki ocznej i chroni głębiej położone elementy przed urazami.

**Plamka** to część siatkówki, która jest skupieniem czopków.

**Naczyniówka** jest częścią błony naczyniowej. Zawiera liczne naczynia krwionośne.

**Siatkówka** jest wewnętrzną warstwą gałki ocznej. Zawiera komórki światłoczułe.

Zanim promienie świetlne odbite od przedmiotu obserwacji dotrą do siatkówki, przechodzą przez elementy optyczne oka, tj. rogówkę, soczewkę oraz ciało szkliste, gdzie ulegają załamaniu. Powoduje to, że obraz powstający na siatkówce jest **pomniejszony** i **odwrócony** - następuje jego kompresja. Docierające do siatkówki fotony zostają pochłonięte przez światłoczułe barwniki: **jodopsynę** (w czopkach) oraz **rodopsynę** (w pręcikach). Barwniki ulegają przemianom chemicznym, w wyniku których powstaje impuls nerwowy. Ten przekazywany jest z fotoreceptorów do komórek nerwowych dwubiegunowych, a następnie do ciał komórek zwojowych i ich aksonów. Aksony komórek zwojowych wchodzą w skład nerwu wzrokowego. Nerw wzrokowy przesyła impuls do płata potylicznego kory mózgowej. W mózgu następuje korekcja obrazu, co powoduje jego prawidłowe postrzeganie.

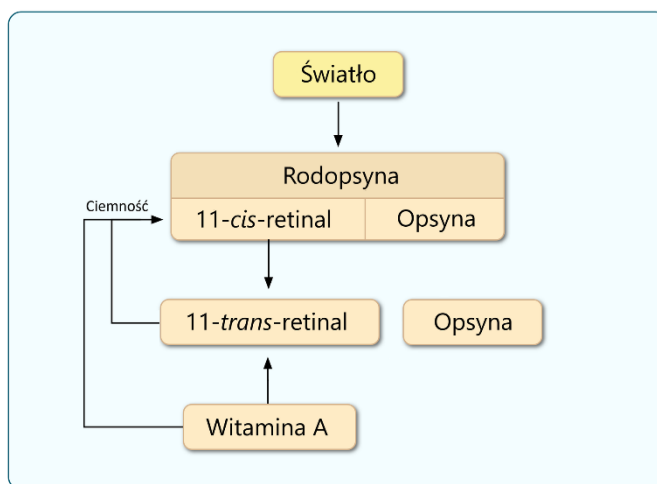




Retinol będący podstawową formą witaminy A, musi być dostarczany do organizmu wraz z pożywieniem w postaci nieaktywnych prowitamin:  **$\beta$ -karotenu** lub **estrów retinyłu**. Beta karoten ma właściwości antyoksydacyjne i korzystnie wpływa na funkcjonowanie wzroku. Występuje w żółtych, pomarańczowych i czerwonych warzywach (np. w marchwi, czerwonej papryce i dyni) i owocach (np. w brzoskwini, moreli).

Każdy pręcik zawiera wrażliwy na światło barwnik, zwany **rodopsyną**. Rodopsyna zbudowana jest z białka **opsyny** i części barwnikowej: **11-cis-retinalu** (aldehydu, będącego pochodną witaminy A). Pod wpływem energii świetlnej dochodzi do przekształcenia (**izomeryzacji**) 11-cis-retinalu w 11-trans-retinal. Następuje wówczas odłączenie retinalu od rodopsyny i powstaje opsyna. Proces ten prowadzi do wyzwolenia impulsu nerwowego.

W ciemności zachodzi proces resyntezy, podczas której **11-trans-retinal** ulega przekształceniu w formę **cis**. Innym źródłem retinalu jest witamina A, która może ulec przekształceniu do 11-cis-retinalu lub do 11-trans-retinalu (który następnie jest przekształcany do 11-cis-retinalu). Powstały 11-cis-retinal łączy się z opsyną, odtwarzając cząsteczkę rodopsyny.

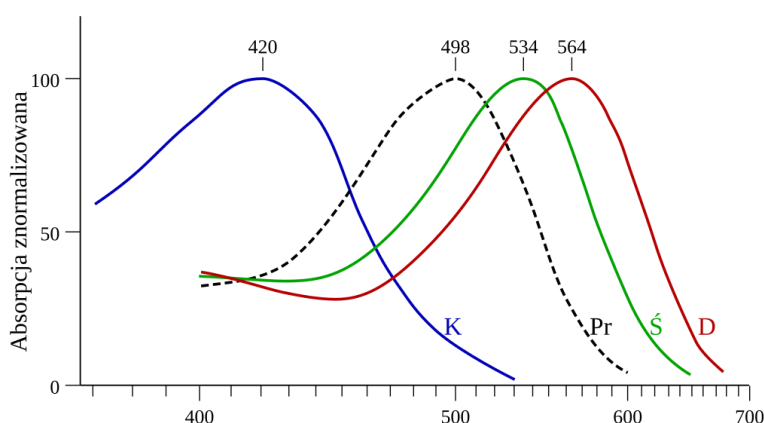


Rysunek 16. Procesy chemiczne w pręcikach umożliwiające powstanie wrażenia wzrokowego.

**Mechanizm widzenia barw:** w siatkówce występują **trzy typy czopków**, które są wrażliwe na trzy podstawowe barwy: **czerwoną**, **zieloną** i **niebieską**. Poszczególne typy zawierają związki fotochemiczne, które podrażnione bodźcami światła o odpowiedniej barwie (długości fali) ulegają rozkładowi i wywołują impuls nerwowy. Impuls nerwowy dociera włóknami nerwu wzrokowego do ośrodków w korze mózgowej, gdzie kształtuje się odpowiednie wrażenie barwne. Przy podrażnieniu wszystkich trzech typów czopków powstaje barwa biała. Stymulacja jednakowej liczby czopków czerwonych, zielonych oraz niewielkiej liczby czopków niebieskich daje barwę żółtą. Pobudzenie czopków niebieskich i zielonych wywołuje wrażenie barwy niebieskiej itd.

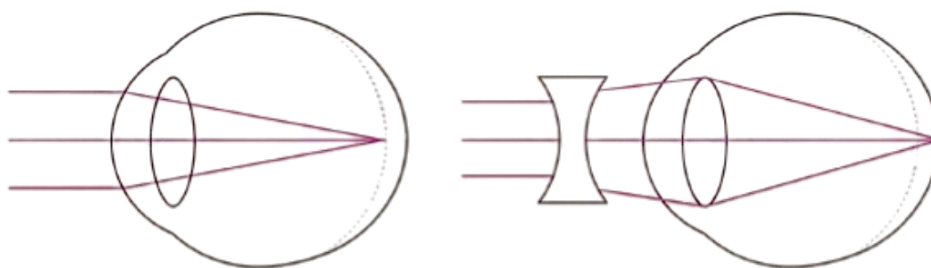
Ludzkie oko zawiera trzy rodzaje czopków, z których każdy ma inną charakterystykę widmową, zależną od budowy cząsteczek fotopsyn w błonie komórkowej neuronów. W percepcji barw uczestniczą barwniki:

- **erythrolabe** – reagujący z największą czułością na promieniowanie o  $\lambda = 590$  nm (symbol *D* od *długofalowe*), wywołujące wrażenie czerwieni.
- **chlorolabe** – najbardziej czuły na promieniowanie o  $\lambda = 540$  nm (wrażenie zieleni, symbol *Śr*),
- **cyanolabe** – najbardziej czuły na promieniowanie o  $\lambda = 450$  nm (wrażenie barwy niebieskiej, symbol *K* od *krótkofalowe*).



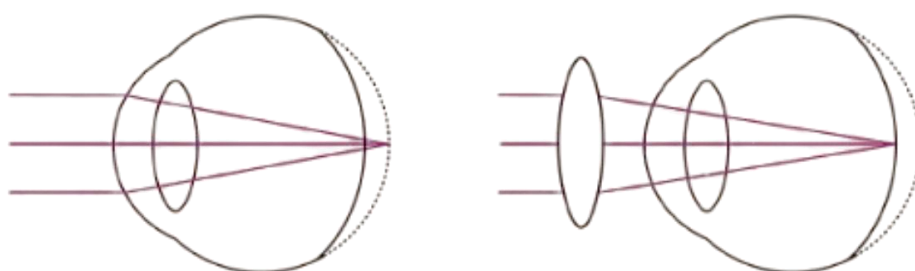
Rysunek 17. Względna absorpcja światła przez błonowe białka receptorowe czopków (K, Ś, D) i pręcików (Pr) siatkówki oka (uwaga: skala długości fali nie jest liniowa).

**Krótkowzroczność** to wada związana z nieodpowiednim załamaniem światła przez soczewkę (**zbyt wypukłą**) lub oddaleniu się siatkówki od soczewki (wydłużona gałka oczna). Obraz odległego przedmiotu powstaje przed siatkówką i jest interpretowany przez mózg jako niewyraźny i zatarty.



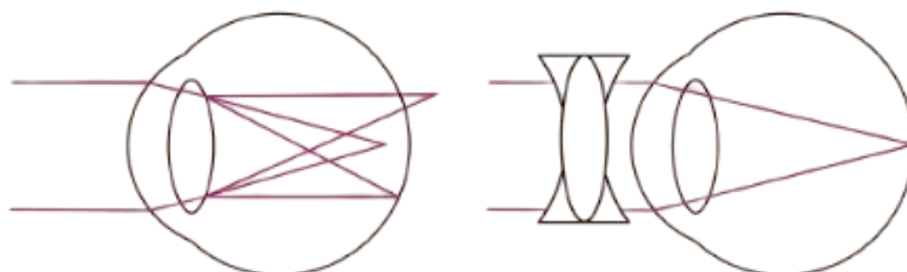
Rysunek 18. **Krótkowzroczność**. Po lewej przedstawiono skupianie się promieni świetlnych **przed** siatkówką ze względu na zbyt wypukły charakter siatkówki. Po prawej ukazana jest korekcja tej wady poprzez zastosowanie soczewki **dwuwklęsłej** o zdolności **rozpraszającej**.

**Dalekowzroczność** (nadwzroczność) to wada związana z nieprawidłowym załamaniem światła przez soczewkę (**zbyt spłaszczoną**) lub zbyt dużym zbliżeniem się soczewki do siatkówki (skrócona gałka oczna). Ostry obraz odległego przedmiotu powstawałby za siatkówką; ten, który powstaje na siatkówce, jest interpretowany przez mózg jako nieostry.



Rysunek 19. **Dalekowzroczność**. Po lewej przedstawiono skupianie się promieni świetlnych **za** siatkówką ze względu na zbyt płaski charakter siatkówki. Po prawej ukazana jest korekcja tej wady poprzez zastosowanie soczewki **wypukłej** o zdolności **skupiającej**.

**Astygmatyzm** występuje w przypadku, gdy rogówka jest **asymetryczna**. Wówczas bieg promieni wokół osi zostaje zakłócony i przestaje być symetryczny. Promienie przestają skupiać się w jednym punkcie. Pojawia się drugie ognisko, a obraz postrzegany w tym właśnie kierunku staje się rozmyty.

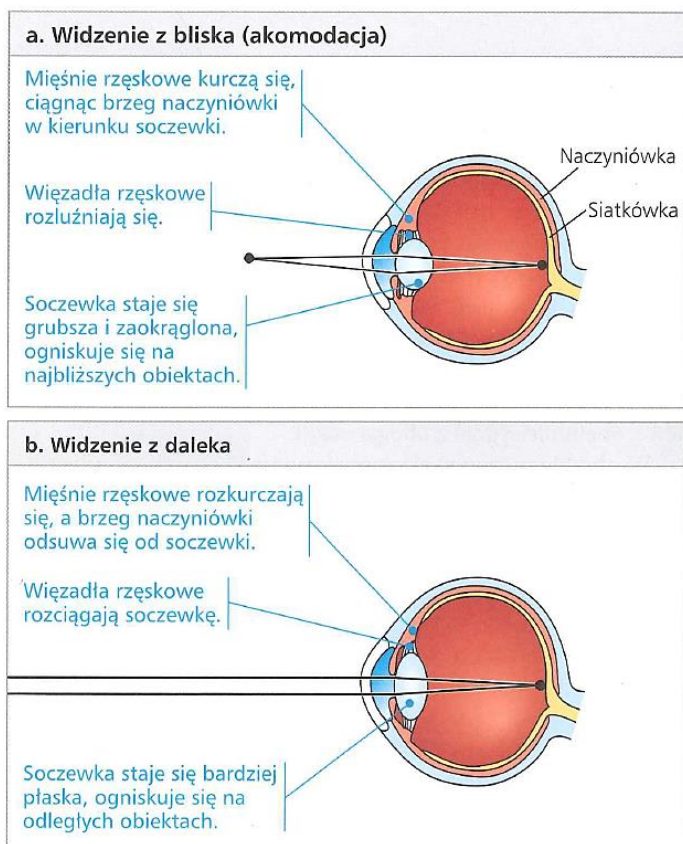


Rysunek 20. **Astygmatyzm**. Po lewej przedstawiono skupianie się promieni świetlnych w wielu miejscach ze względu na asymetryczność rogówki. Po prawej ukazana jest korekcja tej wady poprzez zastosowanie soczewki **cyldrycznej**.

**Akomodacja oka** to jego zdolność do wyraźnego widzenia obiektów z różnych odległości. Jest ona uwarunkowana prawidłowym funkcjonowaniem struktur układu optycznego, głównie soczewki. Mięsień rzęskowy<sup>11</sup> nie tylko utrzymuje soczewkę w odpowiednim miejscu, ale również ma możliwość kurczenia się. Gdy mięsień **rzęskowy kurczy się, ciągnie krawędzie soczewki** w taki sposób, że jej kształt zmienia się na bardziej **wypukły**. Gdy mięsień **rzęskowy rozluźnia się** (następuje rozkurcz), soczewka ponownie zmienia kształt – **ulega spłaszczeniu**.

### akomodacja oka

obraz z bliska	obraz z daleka
<p>gdy <b>soczewka zmienia swój kształt na maksymalnie wypukły</b>, możliwe jest skupienie na siatkówce promieni świetlnych odbitych od obserwowanego przedmiotu znajdującego się <b>bardzo blisko obserwatora</b>, a dokładniej – ok. 10 cm od oczu. Najmniejsza odległość, przy której soczewka jest w stanie poprawnie skupiać promienie świetlne na siatkówce, to tzw. <b>punkt bliży wzrokowej</b>. Odległość ta nie ma wartości stałej. Największe różnice w odległości punktu bliży można dostrzec, porównując osoby młode i starsze.</p>	<p>ludzki wzrok ma zdolność do postrzegania przedmiotów <u>niezwykle odległych</u> (prawdopodobnie nieograniczenie odległych, jak chociażby gwiazdy na nocnym niebie), pod warunkiem, że ich światło jest wystarczająco intensywne. Przy obserwacji przedmiotów w oddali mięsień rzęskowy rozluźnia się, dzięki czemu <b>soczewka ulega spłaszczeniu</b>. Jest jednak odległość, przy której soczewka nie zmienia już swojego kształtu (dzieje się tak, gdy patrzymy na oddalający się przedmiot). Punkt ten nazywany jest <b>punktem dali wzrokowej</b> i zwykle wynosi ok. 6 m. Oznacza to, że niezależnie od tego, czy obserwator patrzy na przedmiot oddalony od oka o 10 m, czy też o 100 m, jego soczewka nie podlega już procesowi akomodacji.</p>



Podsumowując, podczas widzenia z bliska mięśnie rzęskowe **kurczą się**, ciągnąc brzeg naczyńki w kierunku soczewki. Więzadła rzęskowe rozluźniają się. Soczewka staje się zaokrąglona i ogniskuje się na bliskich obiektach. Podczas widzenia z daleka dzieje się dokładnie odwrotnie.

<sup>11</sup> mięsień gładki zbudowany z włókien okrężnych, promienistych i podłużnych wchodzący w skład ciała rzęskowego (struktury oka otaczającej tęczówkę i łączącej ją z naczyńką). Zmiana napięcia mięśni rzęskowych powoduje zmianę kształtu (uwypuklenia) soczewki oka.

**Zbadanie obecności plamki ślepej w polu widzenia człowieka można ustalić za pomocą prostego eksperymentu optycznego. Doświadczenie Mariotte'a** to eksperyment pozwalający ustalić obecność plamki ślepej w oku. Polega na zasłonięciu jednego oka i patrzeniu na krzyżyk obecny na kartoniku Mariotte'a, a następnie na przybliżaniu lub oddalaniu go od oka. W odległości około 20 cm od oka, okrąg na kartoniku powinien zniknąć, dając dowód na obecność **plamki ślepej**.



Rysunek 21. Kartonik Mariotte'a.

### Przebieg doświadczenia:

#### 1. Przygotowanie:

- narysuj krzyżyk po lewej stronie i kółko po prawej stronie kartonika, w odległości około 15 cm od siebie.

#### 2. Wykonanie:

- zasłoń lewe oko dłonią.
- trzymaj kartonik Mariotte'a w odległości około 40 cm od twarzy.
- skup wzrok na krzyżyku, znajdującym się po lewej stronie kartonika.
- powoli przesuвай kartonik bliżej twarzy lub oddalaj go, cały czas patrząc na krzyżyk.
- w pewnym momencie kółko powinno zniknąć z pola widzenia.
- powtórz eksperyment z zasłoniętym prawym okiem, skupiając wzrok na kółku, aby sprawdzić plamkę ślepą w drugim oku

#### 3. Obserwacje:

- moment, w którym kółko przestaje być widoczne, wskazuje na pozycję plamki ślepej.
- zjawisko to wynika z faktu, że obraz kółka pada na tarczę nerwu wzrokowego, gdzie brakuje receptorów światłoczułych (pręcików i czopków).

#### 4. Wniosek:

- doświadczenie Mariotte'a potwierdza obecność plamki ślepej w polu widzenia każdego oka. Jest to miejsce, w którym włókna nerwowe zbiegają się, tworząc nerw wzrokowy, i brak tam komórek rejestrujących światło. Mózg zazwyczaj kompensuje ten brak, "uzupełniając" brakujące informacje w polu widzenia.

**Ucho** należy do grupy mechanoreceptorów, co oznacza, że odbiera bodźce mechaniczne, a dokładnie – drgania cząsteczek powietrza rozchodzące się w postaci fali dźwiękowej. U człowieka ucho jest jednocześnie narządem słuchu oraz równowagi.

**Narząd słuchu składa się z trzech głównych części:** ucha zewnętrznego, ucha środkowego i ucha wewnętrznego. **Ucho zewnętrzne** to jedyna widoczna część narządu słuchu. Służy ono do wychwytywania fal dźwiękowych. Składa się z:

- **małżowiny usznej** – fałdu skórniego, wewnątrz którego występuje tkanka chrzęstna sprężysta. Jej dolna część, zwana płatkami, nie zawiera szkieletu chrzęstnego;
- **przewodu słuchowego** – kanału o długości ok. 3 cm, którego wewnątrz wyściela tłustawa substancja – woskowina. Wraz z wyrastającymi w początkowym odcinku przewodu krótkimi, grubymi włoskami zapobiega ona przedostawaniu się do dalszych części ucha różnego rodzaju zanieczyszczeń.
- **błony bębenkowej** (ok. 0,1 mm grubości), stanowiąca równocześnie granicę między uchem zewnętrznym a uchem środkowym.

**Ucho środkowe** przenosi i wzmacnia drgania fal dźwiękowych. Tworzą je:

- **jama bębenkowa**, która zawiera trzy miniaturowe kości, zwane kosteczkami słuchowymi: **młoteczek, kowadełko i strzemiączko**. Młoteczek przyrasta do wewnętrznej części błony bębenkowej. Umożliwia to przenoszenie drgań błony na pozostałe, połączone ze sobą kosteczki, czyli kolejno na kowadełko i strzemiączko. Kosteczki nie tylko przenoszą drgania błony bębenkowej, lecz także wzmacniają je ok. 30-krotnie. Drgania strzemiączka są przekazywane na **błonę** umieszczoną po przeciwnej stronie jamy bębenkowej. Błona ta przesłania **okienko owalne**, które kontaktuje się z uchem wewnętrznym;
- **trąbka słuchowa** (dawniej: trąbka Eustachiusza) – przewód o długości 3,5–4 cm, prowadzący z jamy bębenkowej do nosowej części gardła. Jego zadaniem jest utrzymanie jednakowego ciśnienia powietrza w przewodzie słuchowym i jamie bębenkowej. Przy szybkiej zmianie wysokości (np. podczas startu samolotu) odczuwa się przytępienie słuchu. Wrażenie to jest wywołane różnicą ciśnień między uchem zewnętrznym (**gdzie powstaje ciśnienie wysokie**) a uchem środkowym (**w którym utrzymuje się ciśnienie niskie**). W wyniku powstałej różnicy trąbka słuchowa zaciska się. Po wykonaniu kilku ruchów połykania (np. śliny) trąbka staje się drożna i zostaje przywrócone prawidłowe słyszenie. Z tego względu poleca się ssanie cukierków w trakcie lotu – zwiększa się przez to wydzielanie śliny i następuje jej regularne przełykanie. Upośledzenie słuchu występuje także podczas kataru i silnego wydmuchiwanie nosa. W tych wypadkach ciśnienie wewnątrz ucha środkowego jest wyższe od ciśnienia atmosferycznego.

**Ucho wewnętrzne, ze względu na zawarty układ wielu jam i kanałów, jest nazywane błędnikiem.** Błędnik jest zbudowany z części zewnętrznej (kostnej) i wewnętrznej (błoniastej). Błędnik kostny jest to system przestrzeni i kanałów w kości skroniowej. **Składa się on ze ślimaka, przedsionka oraz trzech kanałów półkolistych. Wewnątrz błędnika kostnego znajduje się błędnik błoniasty.** W ślimaku mieści się przewód ślimakowy, a w nim narząd spiralny (dawniej: narząd Cortiego) będący właściwym narządem słuchu. Zawiera on komórki receptorowe przetwarzające fale dźwiękowe na impulsy nerwowe, które są analizowane w mózgu. Wewnątrz przedsionka znajduje się woreczek i łagiewka, natomiast w kanałach półkolistych błędnika kostnego znajdują się przewody półkoliste. Woreczek, łagiewka i przewody półkoliste stanowią narząd równowagi.



## Szczegółowa budowa ucha wewnętrznego (błędnika):

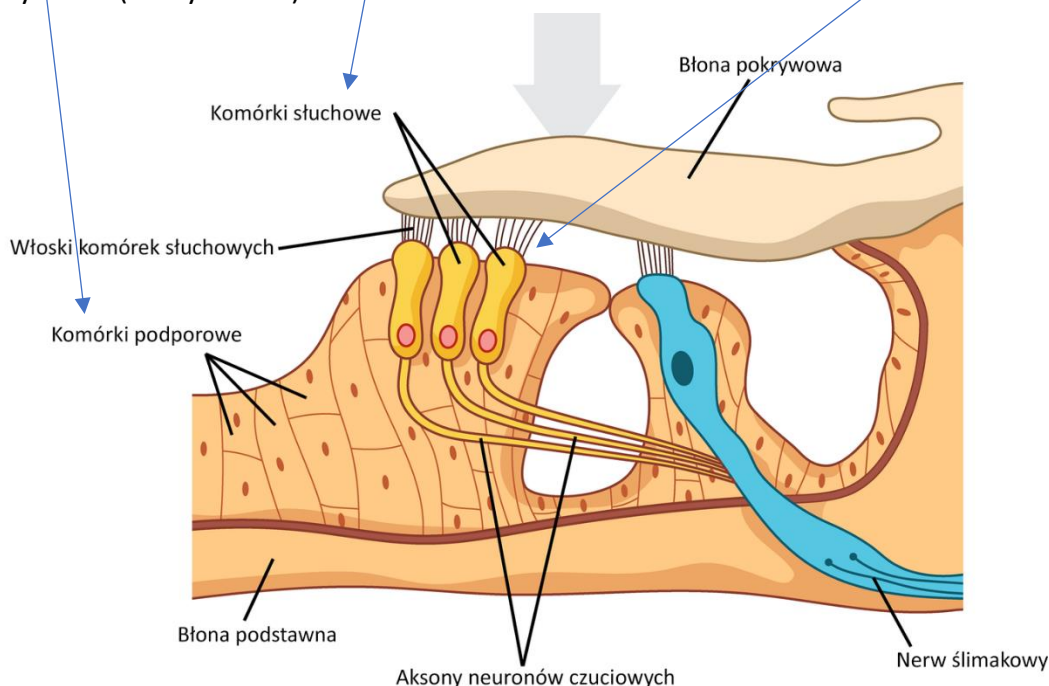
Błędnik kostny stanowi kostną obudowę błędnika błoniastego. Jest układem jam i kanałów odpowiadających ukształtowaniu elementów błoniastym. Składa się z **trzech kanałów półkolistych** ustawionych w stosunku do siebie pod kątem prostym, **ślimaka** (kanału spiralnego) oraz położonego między tymi strukturami **przedsionka**.

W błędniku błoniastym rozróżnia się **trzy przewody półkoliste**, tzw. **narządy otolitowe** – **woreczek i łagiewkę** oraz **przewód ślimakowy**, wzdłuż którego położony jest **narząd spiralny**, zwany także narządem Cortiego).

**Trzy przewody półkoliste (przedni, boczny, tylny)**, usytuowane w kostnych kanałach półkolistych, są – podobnie jak kanały – ustawione w stosunku do siebie pod kątem prostym. Końcowa część każdego z przewodów kończy się rozszerzeniem zwanym **bańką błoniastą**, o ścianach tworzących zgrubienia - tzw. **grzebień bańkowy**, stanowiące **skupienia orzęsionych komórek czuciowych** (receptorowych). Światło przewodów półkolistych wypełnia płyn – endolimfa, zwana także śródchłonką, której ruchy, rejestrowane przez komórki czuciowe, informują o położeniu ciała.

**Woreczek i łagiewka** to struktury położone w **przedsionku błędnika kostnego**. Znajdują się w nich tzw. **plamki statyczne** – **skupienia orzęsionych komórek czuciowych**, zaopatrzone w otolity (kamyczki błędnikowe). Łagiewka jest połączona z przewodami półkolistymi, natomiast od woreczka odchodzi przewód ślimakowy. **Przewody półkoliste i narządy otolitowe (woreczek z łagiewką) tworzą aparat przedsionkowy, stanowiący właściwy narząd równowagi**, natomiast narząd spiralny (narząd Cortiego) jest właściwym narządem słuchu.

**Przewód ślimakowy** to spiralnie skręcony narząd odchodzący od woreczka. Kończy się on ślepo na wierzchołku ślimaka. Wypełnia go **endolimfa**. Po obu jego stronach biegną kanały, łączące się na wierzchołku ślimaka kostnego, zwane **schodami przedsionka** i **schodami bębenka**, które z kolei są wypełnione **perylimfą**. **Narząd spiralny (narząd Cortiego) to właściwy narząd słuchu**. Położony jest wzdłuż przewodu ślimakowego. Stanowi część błędnika błoniastego przekształcającą drgania mechaniczne w impulsy bioelektryczne. Zbudowany jest z komórek podporowych i komórek słuchowych o cylindrycznym kształcie, pokrytych rzęskami (tzw. **włoskami komórek słuchowych** – te nazywamy kinocyliami i stereocyliami<sup>12</sup> – są zanurzone w galaretowatej masie - osklepku) na powierzchni skierowanej do wnętrza przewodu ślimakowego. Na rzęskach wspiera się błona pokrywowa (nakrywkowa).



Rysunek 22. Uproszczona budowa anatomiczna narządu Cortiego.

<sup>12</sup> **stereocilia** – liczne krótkie rzęski; **kinocylium** – pojedynczą, długą rzęskę.

## Ucho jako narząd słuchu

Rolą **ucha zewnętrznego** jest skupianie fal dźwiękowych przez małżowinę uszną i kierowanie ich przez przewód słuchowy zewnętrzny do błony bębenkowej. Drgania słupa powietrza w tym przewodzie udzielają się błonie bębenkowej, z której przenoszą się na trzy kosteczki słuchowe w **uchu środkowym** i dochodzą do błony okienka owalnego ślimaka w **uchu wewnętrznym**.

Ruchy tej błony wymuszają drgania endolimfy<sup>13</sup> i perylimfy<sup>14</sup> – płynów wypełniających ślimak. Drgania endolimfy przenoszą się na błonę podstawową (podstawną na rysunku na poprzedniej stronie), na której spoczywa narząd spiralny (narząd Cortiego) utworzony z **orzęsonych komórek** – receptorowych komórek słuchowych. Fale dźwiękowe wprawiają w ruch błonę podstawową narządu, co powoduje zginanie rzęsek i depolaryzację błony komórek słuchowych, a to prowadzi do powstania impulsu (ruchy te zginają stereocilia komórek rzęsatych, co prowadzi do otwarcia kanałów jonowych i depolaryzacji komórek. W efekcie powstają impulsy nerwowe, które przez nerw słuchowy docierają do mózgu, gdzie są interpretowane jako konkretne dźwięki).

## Ucho jako narząd równowagi

U człowieka ucho nie tylko służy do odbierania dźwięków, ale także umożliwia zachowanie statycznej (w spoczynku) i dynamicznej (w ruchu) równowagi ciała. Właściwy narząd równowagi stanowi **aparat przedsionkowy**, który tworzą struktury błędnika błoniastego: **trzy przewody półkoliste oraz tzw. narządy otolitowe – woreczek i łagiewka**. Wszystkie te struktury są wyposażone w komórki zmysłowe (receptorowe), które rejestrują zmiany położenia ciała w przestrzeni. Cechą charakterystyczną tych komórek jest obecność rzęsek (kinocyliów i stereocyliów), zawierających receptory wrażliwe na odkształcenia błony komórkowej, z tego względu kwalifikowane jako mechanoreceptory.

### ruch kątowy (obrotowy)

komórki receptorowe zlokalizowane **w przewodach półkolistych** są pobudzane przy ruchach obrotowych ciała (czyli podczas zmiany przyspieszenia kąowego) dzięki ruchom endolimfy (śródcłonki), wypełniającej błędnik błoniasty.

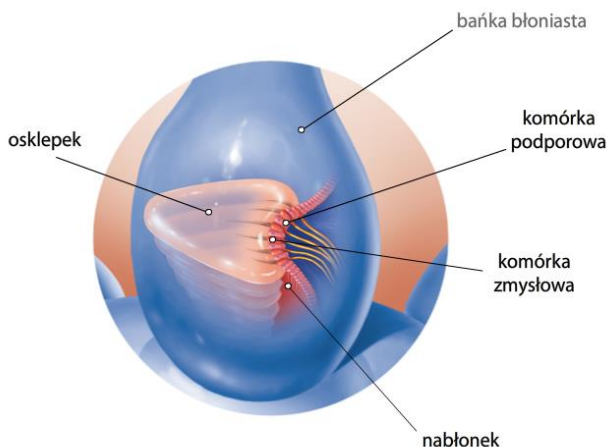
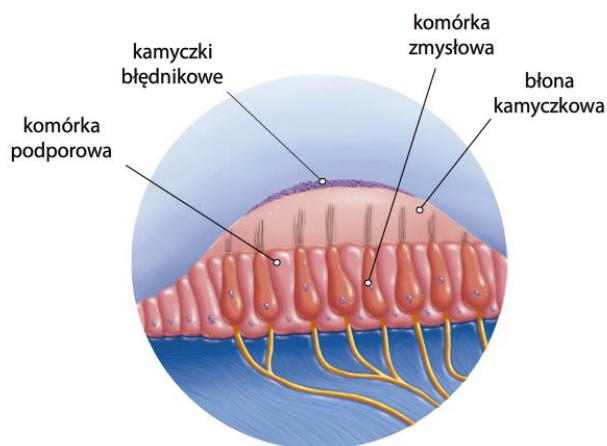
### ruch w linii prostej

podczas ruchów wykonywanych w **linii prostej** (czyli podczas zmiany przyspieszenia liniowego) ruch endolimfy wpływa natomiast na przemieszczanie się otolitów **w woreczku i łagiewce**, które z kolei pobudzają umiejscowione tam komórki receptorowe, przy czym do przemieszczenia się otolitów **woreczka dochodzi podczas ruchów wykonywanych w płaszczyźnie pionowej (górze–dół)**, a do przemieszczenia **otolitów łagiewki – podczas ruchów odbywających się w płaszczyźnie poziomej (przód–tył)**.

<sup>13</sup> **endolimfa (śródcłonka)** - przezroczysty płyn, charakteryzujący się wysokim stężeniem jonów potasowych oraz niskim stężeniem jonów sodowych, wypełniający błędnik błoniasty; ruch endolimfy powoduje pobudzenie komórek zmysłowych właściwego narządu równowagi – aparatu przedsionkowego oraz właściwego narządu słuchu – narządu spiralnego (narządu Cortiego).

<sup>14</sup> **perylimfa (przychłonka)** płyn wypełniający przestrzeń ucha wewnętrznego między błędnikiem kostnym i błoniastym, składem zbliżony do płynu mózgowo-rdzeniowego; w porównaniu z endolimfą zawiera mniejsze stężenie jonów K<sup>+</sup>, a większe Na<sup>+</sup>.

W woreczku i łagiewce znajdują się **plamki statyczne**: grupy komórek zmysłowych zaopatrzonych w rzęski oraz otolity (kamyczki błędnikowe) złożone z węglanu wapnia i fosforanu wapnia, które są zanurzone w galaretowatej substancji, zwanej błoną kamyczkową. Pochylenie głowy do przodu, tyłu lub na boki powoduje ruch endolimfy, co wprawia w ruch otolity, które uciskają rzęski komórek zmysłowych, co wzbudza w nich impuls przesyłany do ośrodkowego układu nerwowego, który odczytuje w ten sposób informację o zmianie położenie głowy w przestrzeni.



**Przewody półkoliste** rozszerzają się w odcinkach końcowych na tzw. bańki, w obrębie których są **grzebień bańkowe**: grupy komórek zmysłowych zaopatrzonych w rzęski zanurzone w **galaretowatej substancji, zwanej osklepek**; ruch głowy wprawia w ruch endolimfę wypełniającą przewody półkoliste, co wywołuje zmianę położenie osklepek i ugięcie się rzęsek, w wyniku czego powstaje impuls wysyłany do ośrodkowego układu nerwowego z informacją o ruchu obrotowym ciała, przez co mózgowie uruchamia odruchy zapewniające utrzymanie równowagi.

### PLAMKI STATYCZNE

gdy ciało jest w **pozycji wyprostowanej**, to wtedy otolity nie uciskają na rzęski komórek zmysłowych i **nie powstaje impuls nerwowy**

gdy ciało jest **pochylone**, to wtedy otolity uciskają rzęski komórek zmysłowych, przez co **powstaje impuls nerwowy** informujący mózg o **zmianie położenia głowy w przestrzeni**

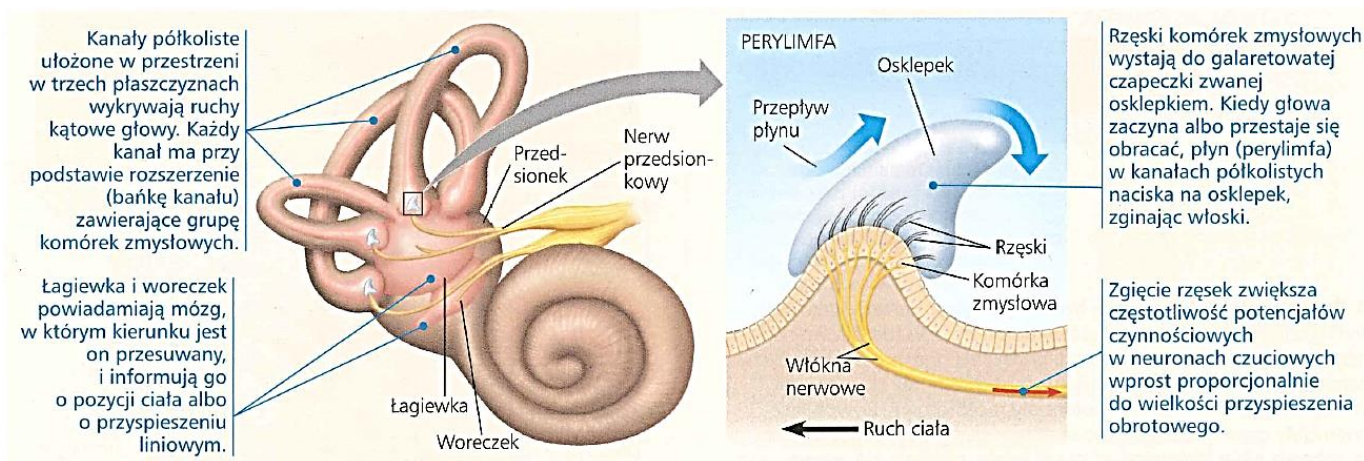
### GRZEBIENIE BAŃKOWE

gdy ciało jest w **bezruchu**, to wtedy endolimfa nie powoduje ugięcia się rzęsek komórek zmysłowych i **nie powstaje impuls nerwowy**

gdy ciało wykonuje **ruch obrotowy**, to wtedy endolimfa powoduje **ugięcie się rzęsek komórek zmysłowych**, przez co powstaje **impuls informujący mózgowie o ruchu obrotowym ciała**



Pobudzone receptory przekazują sygnał o kierunku i wartości działającego przyspieszenia przez **nerw przedsionkowo-ślimakowy** do struktur mózgowia zaangażowanych w koordynację ruchu (ośrodków nerwowych znajdujących się w mózdku oraz ośrodków kory mózgowej), które odpowiadają za regulację napięcia w poszczególnych grupach mięśniowych, co ostatecznie powoduje zachowanie równowagi ciała. Należy pamiętać, że pełna wydolność statyczna i dynamiczna człowieka jest możliwa jedynie wówczas, gdy właściwy narząd równowagi (aparatus przedsionkowy) harmonijnie współpracuje z innymi zmysłami, w tym przede wszystkim z narządem wzroku oraz receptorami czucia głębokiego, występującymi w torebkach stawowych, ścięgnach i mięśniach, a także z receptorami czucia powierzchniowego, rozmieszczonymi na skórze. [Obejrzyj animację o działaniu aparatus przedsionkowego.](#)



✓ wyjaśnia, na podstawie schematu, molekularny mechanizm skurczu mięśnia;

Podstawową jednostką budującą mięsień poprzecznie prążkowany jest włókno mięśniowe. Ma ono postać **syncytium** utworzonego z wielu komórek. Wewnątrz włókna, tuż pod błoną komórkową znajdują się liczne jądra. Ponadto występuje w nim silnie rozbudowana siateczka śródplazmatyczna i duża liczba mitochondriów. Wnętrze włókna mięśniowego wypełniają pęczki kurczliwych włókienek mięśniowych – **miofibrilli**.<sup>15</sup>

Miofibrilla składa się z białkowych włókienek kurczliwych – miofilamentów, wśród których wyróżniamy:

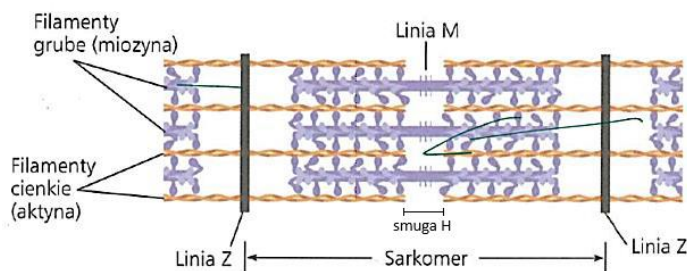
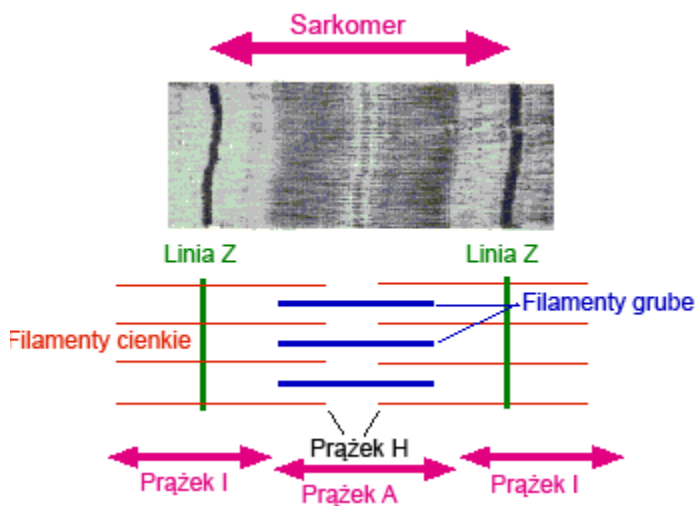
- **miofilamenty cienkie** (aktywne) zbudowane z cząsteczek białka **aktyny**;
- **miofilamenty grube** (miozynowe) utworzone z cząsteczek białka **miozyny**

Jednostką strukturalną i funkcjonalną włókna mięśniowego odpowiedzialną za jego skurcz jest sarkomer. Obejmuje on odcinek miofibrilli pomiędzy dwiema błonami białkowymi zwanymi **błonami granicznymi Z** i zawiera **połówkę jednego prążka jasnego, cały prążek ciemny i połówkę drugiego prążka jasnego**.

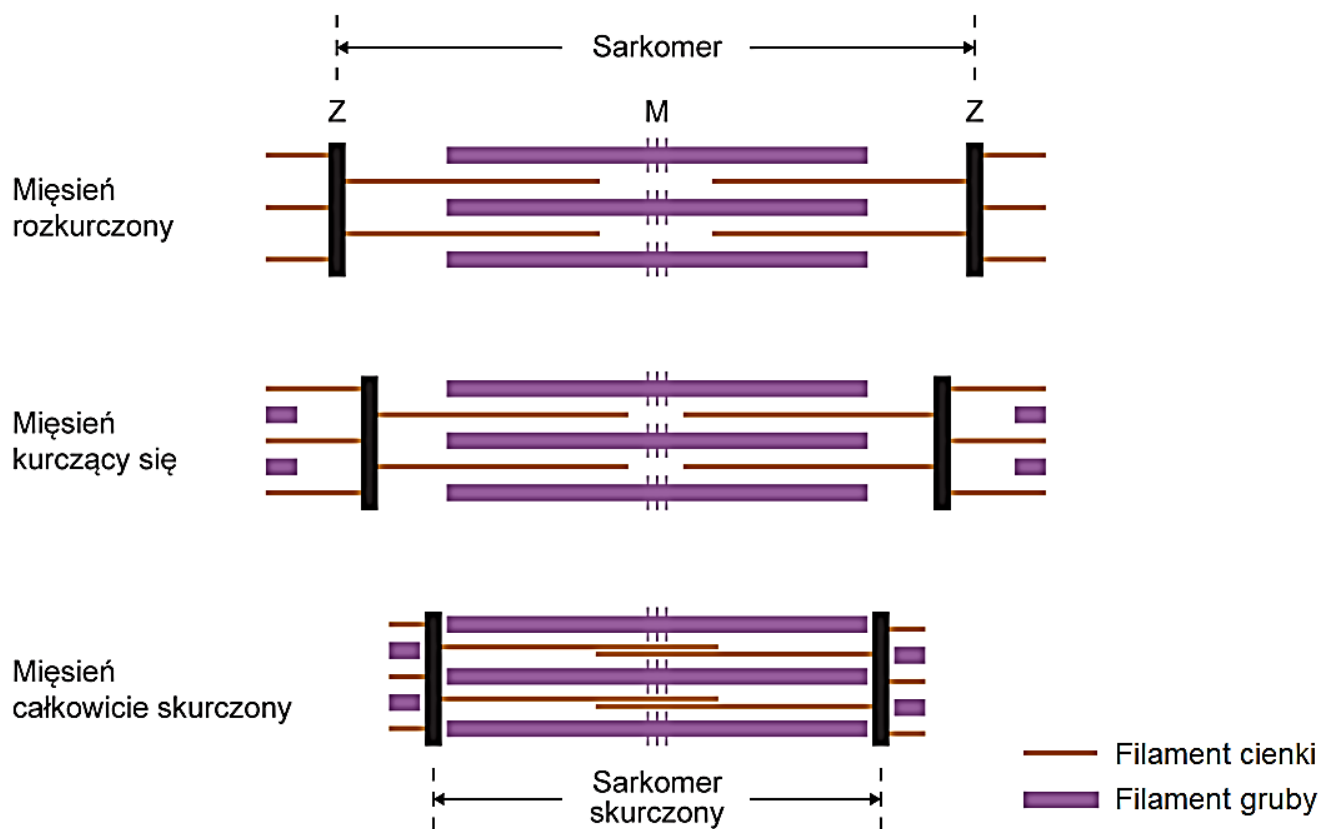
**Miofilamenty grube** zbudowane są z połączonych ze sobą cząsteczek białka - miozyny. Jedna taka cząsteczka składa się z **główki** i **ogona**. **Miofilamenty grube przyłączone są do linii M**. Równolegle ułożone włókna miozyny silnie załamują światło, dzięki czemu pod mikroskopem są widoczne jako **prążki ciemne**.

**Miofilamenty cienkie** składają się z liniowo ułożonych cząsteczek aktyny. Białko to występuje w dwóch formach - globularnej (**aktyna G**), która pod wpływem ATP i jonów  $Mg^{2+}$  przekształca się w formę fibrylarną (**aktynę F**). Włókna aktyny pod mikroskopem są widoczne jako **prążki jasne** miofibrilli.

<sup>15</sup>włókienka mięśniowe; kurczliwe elementy włókna mięśniowego mięśni szkieletowych i mięśnia sercowego (w komórkach mięśni gładkich miofibrille nie występują); cylindryczne formy zbudowane z licznych, liniowo ułożonych jednostek strukturalno-funkcjonalnych, zwanych sarkomerami; każdy sarkomer jest utworzony z zespołu miofilamentów cienkich i grubych

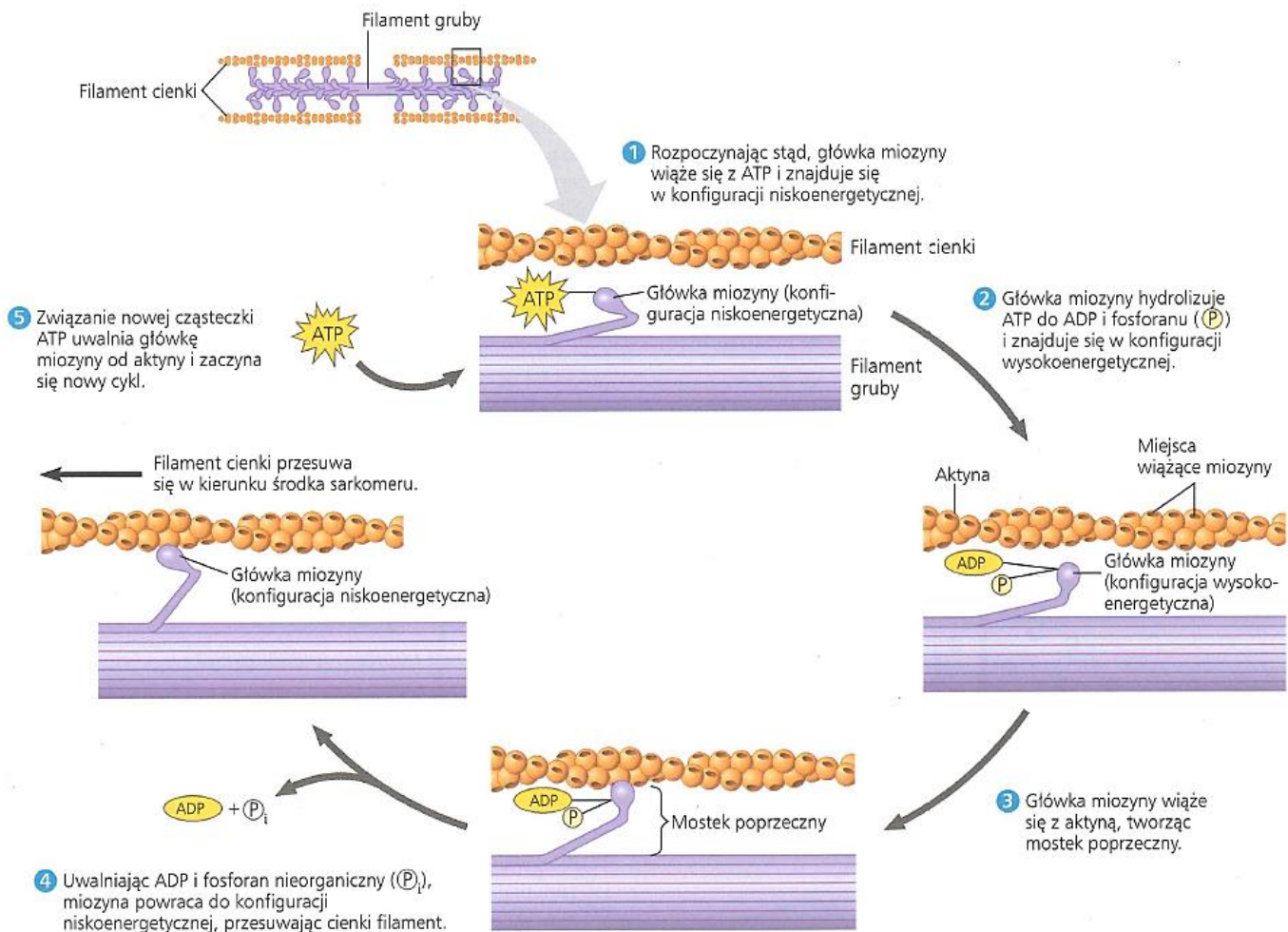


Skurcz mięśnia polega na przesuwaniu się względem siebie filamentów cienkich – aktynowych – i grubych – miozynowych. Pod wpływem impulsów nerwowych docierających do miocytów dochodzi do depolaryzacji ich błon komórkowych. Z kolei impuls w postaci depolaryzacji dostaje się do kanalików T, co powoduje uwolnienie jonów wapnia zmagazynowanych w przylegających do nich cysternach siateczki sarkoplazmatycznej. Jony wapnia, po powiązaniu z troponiną, odsłaniają centrum aktywne aktyny, co umożliwia połączenie głów miozyny z cząsteczkami aktyny. Jednocześnie następuje aktywacja enzymu hydrolizującego ATP. Wyzwolona energia chemiczna zamieniana jest w energię mechaniczną, powodując zmianę położenia głów miozynowych w stosunku do filamentu cienkiego. To z kolei prowadzi do przeciągnięcia filamentu aktynowego przez przemieszczającą się głowę i przesunięcia się filamentów względem siebie.



W czasie skurczu nie zmienia się długość filamentów. Zmianie ulega natomiast długość prążków I oraz H.





▲ Rycina 50.28 Główne interakcje miozyna–aktyna w skurczu włókna mięśniowego

Impuls z ośrodkowego układu nerwowego dociera do błony komórki mięśniowej za pośrednictwem neuronu ruchowego, którego akson tworzy połączenie z komórką mięśniową w postaci synapsy nerwowo-mięśniowej, tzw. płytki motorycznej (ruchowej). Na zakończeniu aksonu neuronu ruchowego uwalniana jest acetylocholina, która powoduje depolaryzację błony włókna mięśniowego. Pod wpływem depolaryzacji błony kanalików T z przylegających do nich cystern siateczki sarkoplazmatycznej do sarkoplazmy zostają uwolnione jony wapnia. Jony wapnia są wiązane przez **kompleks białkowy troponina-tropomiozyna, co powoduje odsłonięcie centrów aktywnych w aktynie, do których mogą się przyłączyć główki miozyny.**<sup>16</sup>Następuje uwolnienie energii pochodzącej z rozkładu ATP. Główka miozyny łączy się z aktyną i obraca, co powoduje przesunięcie filamentu aktynowego względem filamentu miozynowego. aby skurcz mięśnia mógł mieć miejsce w komórkach mięśni musi być odpowiednie stężenie:

- jonów wapnia ( $Ca^{2+}$ ) – powodują odsunięcie się tropomiozyny od aktyny
- jonów magnezu ( $Mg^{2+}$ ) – wspomagają hydrolizę ATP w obrębie miozyny.

<sup>16</sup> Gdy mięsień jest w spoczynku, tropomiozyna zasłania miejsca wiązania główek miozyny do włókien aktyny, dlatego miozyna nie może związać się z aktyną i filamenty nie przesuują się względem siebie. Uwolnione do cytozolu jony  $Ca^{2+}$  łączą się z troponiną, co powoduje przesunięcie tropomiozyny i odsłonięcie na filamentach aktynowych miejsc wiążących główki miozyny, a to umożliwia przesuwanie się filamentów aktynowych i miozynowych względem siebie.

- ✓ wyjaśnia, rozpoznaje (na modelu, schemacie, rysunku) rodzaje połączeń kości i określa ich funkcje;

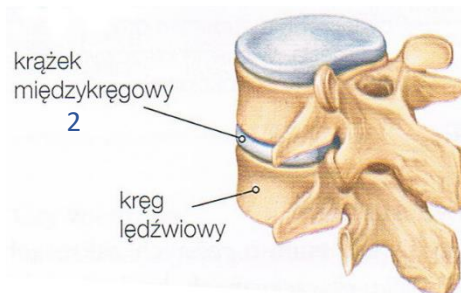
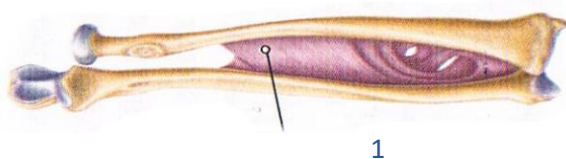
Kości, stanowiące podstawowy element układu szkieletowego, łączą się ze sobą w sposób **ściśły** albo **ruchomy**.

**Ściśłe połączenia kości** dzieli się na **więzozrosty**, **kościorzosty** i **chrząstkozrosty**. Stykające się ze sobą powierzchnie kości łączy tkanka łączna, tkanka chrzęstna lub tkanka kostna, a ruchomość w tego typu połączeniach jest bardzo ograniczona. Najważniejsze cechy poszczególnych rodzajów ściśłych połączeń kości zestawia poniższe zestawienie:

**Więzozrosty** [1] mają stosunkowo największą ruchomość. Materiałem łączącym jest w nim tkanka łączna włóknista. Występuje między kośćmi przedramienia i podudzia; w zębach i zębodołach; w szwach w czaszce (więzozrosty łączące kości sklepienia czaszki noszą nazwę szwów. Około 30 r.ż. zachodzi ich zrastanie i wytwarzanie kościorzostów).

**Chrząstkozrosty** [2] mają ruchomość zależną od grubości chrząstki (im grubsza chrząstka, tym większa możliwość ruchu). Ich budulcem jest tkanka chrzęstna. Występują między pierwszym żebrzem a mostkiem (**przymostkowe części żeber – tkanka chrzęstna szklista**), u dzieci – między trzonem i nasadą kości. Łączą one także poszczególne kręgi kręgosłupa, tworząc tzw. **krążki międzykręgowe (tkanka chrzęstna włóknista)** i występują w **spojeniu łonowym (tkanka chrzęstna włóknista)**.

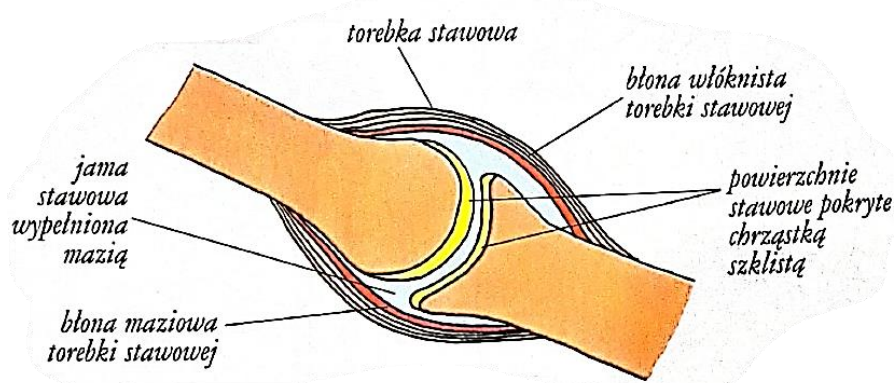
**Kościorzosty** [3] mają wykluczoną możliwość ruchu. Materiałem łączącym jest tkanka kostna. Ten typ połączenia występuje między kręgami krzyżowymi i kośćmi miednicy. Powstają z wiekiem w wyniku kostnienia innych połączeń: szwów lub chrząstek.



Ruchome połączenia kości noszą nazwę **stawów**. Każdy staw tworzą powierzchnie stawowe, jama stawowa wypełniona mazią stawową oraz torebka stawowa. **Powierzchnie stawowe** to powierzchnie kości tworzące staw. Jedna z nich jest wypukła (*głowa stawu*), a druga wklęsła (*panewka stawu*). Obie są pokryte gładką i elastyczną chrząstką szklistą, która zmniejsza tarcie w stawie, amortyzuje wstrząsy i uderzenia kości w czasie ruchu. **Jama stawowa** to szczelinowata przestrzeń między powierzchniami kości budującymi staw a ścianą torebki stawowej. Jama stawowa jest wypełniona **mazią stawową** – śluzowatą substancją zmniejszającą tarcie powierzchni stawowych podczas ruchu. **Torebka stawowa** to błoniasta struktura otaczająca staw. Składa się z dwóch warstw:

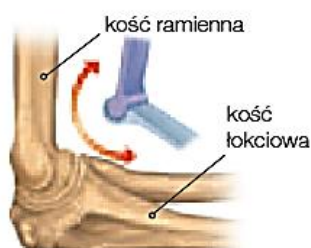
- **zewewnętrznej** (błona włóknista), która stanowi przedłużenie okostnej i często tworzy więzadła – stabilizuje staw;
- **wewnętrznej** (błona maziowa) – wyścielana przez maź stawową. Tworzy uchyłki, które wytwarzają kaletki maziowe (ułatwiają funkcjonowanie więzadeł i ścięgien); oraz tworzy krążki stawowe (chrząstki umożliwiające dopasowanie się powierzchni stawowych sąsiadujących kości).

Niektóre typy stawów poza podstawowymi strukturami posiadają także dodatkowe elementy pełniące funkcje wzmacniające i ochronne, takie jak **więzadła** (pasma tkanki łącznej, które łączy się z kością, wzmacniając ruchome połączenia między kośćmi; łączy również kości poza stawami, tworząc stabilne połączenia w układzie szkieletowym), **chrząstki stawowe** umiejscowione w obrębie stawowych zakończeń kości oraz **łukotki** (półksiężycowate lub owalne twory zbudowane z tkanki chrzęstnej, wypełniające częściowo jamy stawów, w których powierzchnie stawowe nie są do siebie ściśle dopasowane (np. stawu żuchwowego, kolanowego). Pełnią one funkcje amortyzacyjną).

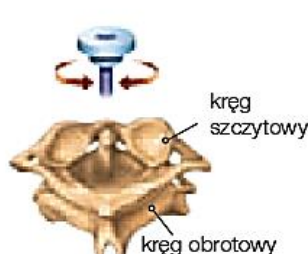


### rodzaje stawów

stawy jednoosiowe	stawy dwuosiowe	stawy wieloosiowe
<p>staw obrotowy (przykład: staw między dźwigaczem, a obrotnikiem);</p> <p>staw zawiasowy (przykład: staw łokciowy, staw kolanowy).</p>	<p>staw siodełkowy (np. nadgarstkowo-śródręczny kciuka);</p> <p>staw eliptyczny, elipsoidalny (np. staw promieniowo-nadgarstkowy).</p>	<p>staw kulisty (np. staw biodrowy);</p> <p>staw płaski (np. między kośćmi nadgarstka, między kośćmi stępu).</p>



**Staw zawiasowy** umożliwia ruchy w jednej płaszczyźnie – zginanie i prostowanie. Głowa stawu ma kształt walca, a panewka jest wklęsła. Stawy zawiasowe to np. staw łokciowy, staw kolanowy i stawy międzypaliczkowe.



**Staw obrotowy** umożliwia ruchy w jednej płaszczyźnie – obrót wokół osi. Głowa stawu jest osadzona w panewce o kształcie pierścienia. Staw obrotowy występuje np. między pierwszym a drugim kręgiem kręgosłupa.



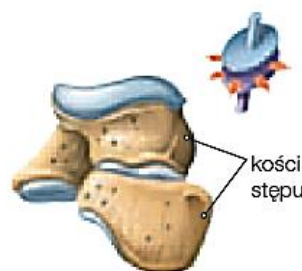
**Staw kulisty** umożliwia ruchy we wszystkich płaszczyznach – zginanie i prostowanie, przywodzenie i odwodzenie, obrót na zewnątrz i do wewnątrz oraz sumowanie ruchów. Głowa stawu ma kształt kulisty, a panewka – wklęsły. Przykładami są staw barkowy oraz staw biodrowy.



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



**Staw siodełkowy** umożliwia ruchy w dwóch płaszczyznach – przywodzenie i odwodzenie. Głowa i panewka stawu mają kształt siodeła. Stawem siodełkowym jest np. staw nadgarstkowo-śródręczny kciuka.



**Staw płaski** umożliwia niewielkie ruchy w wielu płaszczyznach. Powierzchnie stawowe są w nim prawie płaskie. Przykładem są stawy między kośćmi stępu.



- ✓ przedstawia przebieg cyklu menstruacyjnego oraz opisuje fazy cyklu miesięczkowego kobiety, z uwzględnieniem działania hormonów przysadkowych i jajnikowych w jego regulacji:

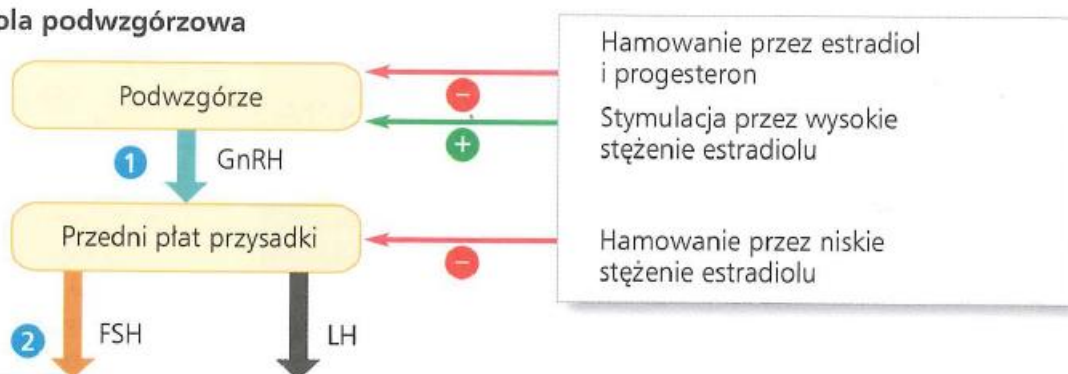
Podczas gdy gametogeneza u mężczyzn zachodzi w sposób ciągły, u kobiet produkcja gamet jest cykliczna. Owulacja zachodzi tylko wtedy, gdy endometrium (śluzówka macicy) staje się bardziej unaczynione i pogrubione, przygotowując macicę na możliwość implantacji zarodka. Jeśli do zapłodnienia nie dojdzie, zewnętrzna część śluzówki złuszcza się i jest usuwana na zewnątrz ciała wraz z niezapłodnionym oocytem II rzędu. U kobiet występują dwa ściśle związane ze sobą cykle. Termin cykl menstruacyjny odnosi się do zmian, które zachodzą raz w miesiącu w macicy; jest on także nazywany **cyklem macicznym**. Cykliczne zmiany w macicy są kontrolowane przez **cykl jajnikowy**, cykliczne zdarzenia występujące w jajnikach. Dlatego żeński cykl rozrodczy jest tak naprawdę jednym, zintegrowanym cyklem, angażującym dwa narządy – macicę i jajniki.

W układzie rozrodczym kobiety dochodzi do cyklicznych zmian hormonalnych, morfologicznych oraz fizjologicznych, mających na celu przygotowanie organizmu do zapłodnienia i ciąży. Zespół tych zmian, powtarzający się u większości kobiet co 28 dni (jednak prawidłowy cykl menstruacyjny może trwać od 21 do 35 dni), nosi nazwę **cyklu menstruacyjnego** (miesięczkowego). Aktywność hormonalna łączy oba cykle, synchronizując wzrost pęcherzyka jajnikowego i owulację ze zmianami w endometrium, które umożliwiają zagnieżdżenie i podtrzymywanie rozwoju zarodka.

Kontrolę nad żeńskim cyklem menstruacyjnym pełni – poprzez sygnały dodatnie i ujemne – oś **podwzgórze–przysadka–gonady**. Cykliczne wydzielanie hormonu uwalniającego gonadotropiny, zwanego też **gonadoliberyną** (GnRH) przez **podwzgórze** powoduje cykliczne wydzielanie **FSH** (hormonu folikulotropowego) oraz **LH** (hormonu luteinizującego) przez **przedni płat przysadki**. Te właśnie hormony wywołują cykliczną aktywność jajników (cykl jajnikowy) i związane z nią wytwarzanie **estrogenów** (głównie  $17\beta$ -estradiolu) i **progesteronu**, które z kolei wpływają na cykliczne zmiany w macicy (cykl maciczny) oraz comiesięczne krwawienie (menstruację).

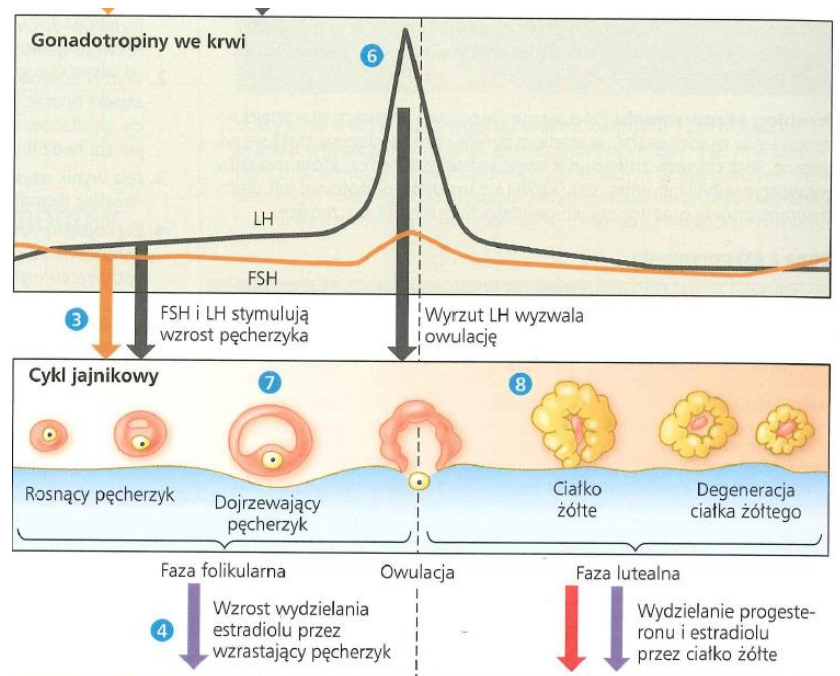
**Cykl jajnikowy** rozpoczyna się **(1)** w momencie uwolnienia z podwzgórza gonadoliberyny (GnRH), która stymuluje przedni płat przysadki mózgowej do **(2)** wydzielania małych ilości FSH oraz LH. **(3)**

#### Kontrola podwzgórzowa

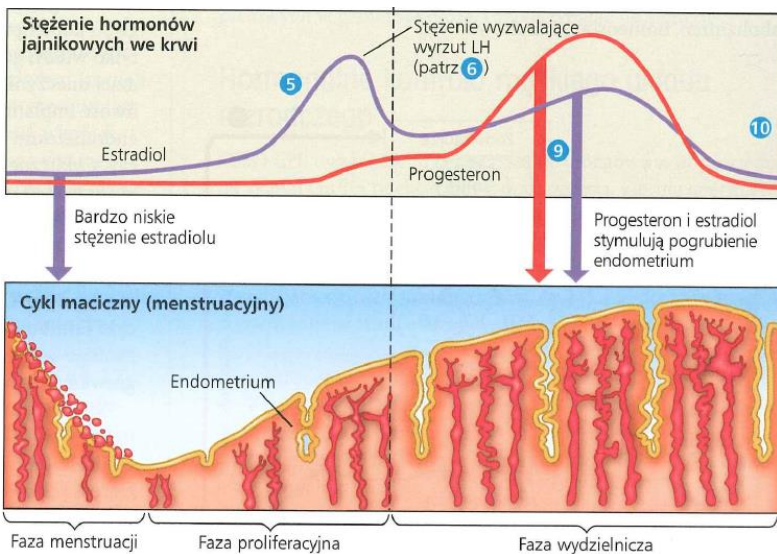


**Hormon stymulujący pęcherzyki (folikulotropina, FSH), jak nazwa wskazuje, pobudza wzrost pęcherzyków jajnikowych**, wspomagany przez LH i **(4)** komórki rosnących pęcherzyków, które zaczynają wydelać estradiol przez większą część fazy folikularnej (pęcherzykowej), podczas której następuje wzrost pęcherzyka jajnikowego i dojrzewanie oocytu. Przyrost estradiolu jest niewielki. W każdym cyklu rozpoczyna się rozwój kilku pęcherzyków, z których zwykle dojrzewa tylko jeden, podczas gdy pozostałe ulegają degeneracji. Niskie stężenie estradiolu hamuje wydzielanie hormonów przysadkowych, utrzymując stosunkowo niskie stężenie FSH i LH. W tej fazie cyklu regulacja hormonalna rozmnażania u kobiet i u mężczyzn przebiega podobnie.

(5) Pęcherzyk jajnikowy gwałtownie zaczyna wydelać estradiol, co powoduje (6) znaczny wzrost stężenia FSH i LH. Podczas gdy niskie stężenie estradiolu hamuje wydzielanie gonadotropin przysadkowych, wysokie stężenie tego steroidu wywiera efekt przeciwny, stymulując sekrecję gonadotropin poprzez wzrost uwalniania GnRH z podwzgórza. Jest to jeden z przykładów dodatniego sprzężenia zwrotnego. Oddziaływanie LH jest silniejsze, gdyż wysokie stężenie estradiolu zwiększa wrażliwość komórek przedniego płata przysadki mózgowej uwalnających LH na działanie podwzgórzowej GnRH.



(7) Dojrzewający pęcherzyk (nazywany pęcherzykiem Graafa), w którym tworzy się jama pęcherzykowa wypełniona płynem znacznie powiększa swoje rozmiary, tworząc wybrzuszenie widoczne na powierzchni jajnika. Faza folikularna kończy się owulacją (jajeczkowaniem), która następuje mniej więcej jeden dzień po szczycie wydzielania LH i FSH. W odpowiedzi na szczyt wydzielania LH pęcherzyk jajnikowy i ściana jajnika pękają, uwalniając podczas owulacji oocyt II rzędu. W tym czasie kobiety często odczuwają charakterystyczny ból w podbrzuchu po tej stronie ciała, po której dany jajnik uwolnił oocyt.



Po owulacji rozpoczyna się faza lutealna cyklu jajnikowego (8). Komórki pozostałe po pękniętym pęcherzyku przekształcają się pod wpływem LH w ciało żółte – gruczoł wydzielania wewnętrznego. Ciało to wytwarza **progesteron** oraz **estradiol** w odpowiedzi na stałą stymulację poprzez LH. Wzrastające stężenie zarówno progesteronu jak i estradiolu działa poprzez ujemne sprzężenie zwrotne na podwzgórze i przysadkę mózgową. **Redukuje to wydzielanie LH oraz FSH do bardzo niskiego stężenia – to zapobiega w ten sposób dojrzewaniu innego jaja, gdy już powstała ciąża.**

Jeśli ciąża nie następuje, niskie stężenie gonadotropin w końcu fazy lutealnej powoduje degenerację ciała żółtego do ciała białawego, wyzwalając gwałtowny **spadek stężenia estradiolu oraz progesteronu**. Spadające stężenie jajnikowych hormonów steroidowych uwalnia podwzgórze i przysadkę z działania pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego. Przysadka może wtedy na nowo zacząć wydelać odpowiednie ilości FSH w celu stymulacji wzrostu nowego pęcherzyka jajnikowego w jajniku, inicjując następny cykl jajnikowy.



## Hormonalna kontrola cyklu jajnikowego.

etap cyklu	FSH	LH	estrogeny	progesteron
<b>faza pęcherzykowa</b>	wydzielany przez przedni płąt przysadki. Na początku cyklu jego poziom wzrasta, co stymuluje dojrzewanie kilku pęcherzyków jajnikowych. Po wybraniu dominującego pęcherzyka jego poziom stopniowo spada.	jego poziom gwałtownie wzrasta tuż przed owulacją (tzw. szczyt LH). Ten pik LH wywołuje owulację i przekształcenie pęcherzyka Graafa w ciało żółte.	produkowane przez dojrzewające pęcherzyki jajnikowe (komórki ziarniste). Ich poziom rośnie od około 7. dnia cyklu i osiąga maksimum tuż przed owulacją. Wysokie stężenie estrogenów powoduje dodatnie sprzężenie zwrotne, które zwiększa wydzielanie LH i GnRH.	poziom jest niski w tej fazie.
<b>owulacja</b>	Wzrost jest niewielki, ale wspomaga proces owulacji.	nagły wzrost poziomu LH (szczyt LH) bezpośrednio powoduje pęknięcie pęcherzyka Graafa i uwolnienie oocytu II rzędu	ich poziom zaczyna spadać po osiągnięciu szczytu.	
<b>faza lutealna</b>	poziomy obu hormonów są niskie, ponieważ progesteron i estrogeny hamują ich wydzielanie (ujemne sprzężenie zwrotne).	poziomy obu hormonów są niskie, ponieważ progesteron i estrogeny hamują ich wydzielanie (ujemne sprzężenie zwrotne).	poziom umiarkowanie wzrasta, ale jest niższy niż w fazie pęcherzykowej. Estradiol wraz z progesteronem przygotowują macicę na przyjęcie zarodka.	produkowany przez ciało żółte. Jego poziom gwałtownie rośnie i osiąga maksimum w połowie fazy lutealnej (6–8 dni po owulacji). Progesteron hamuje rozwój kolejnych pęcherzyków i przygotowuje macicę na przyjęcie zarodka.

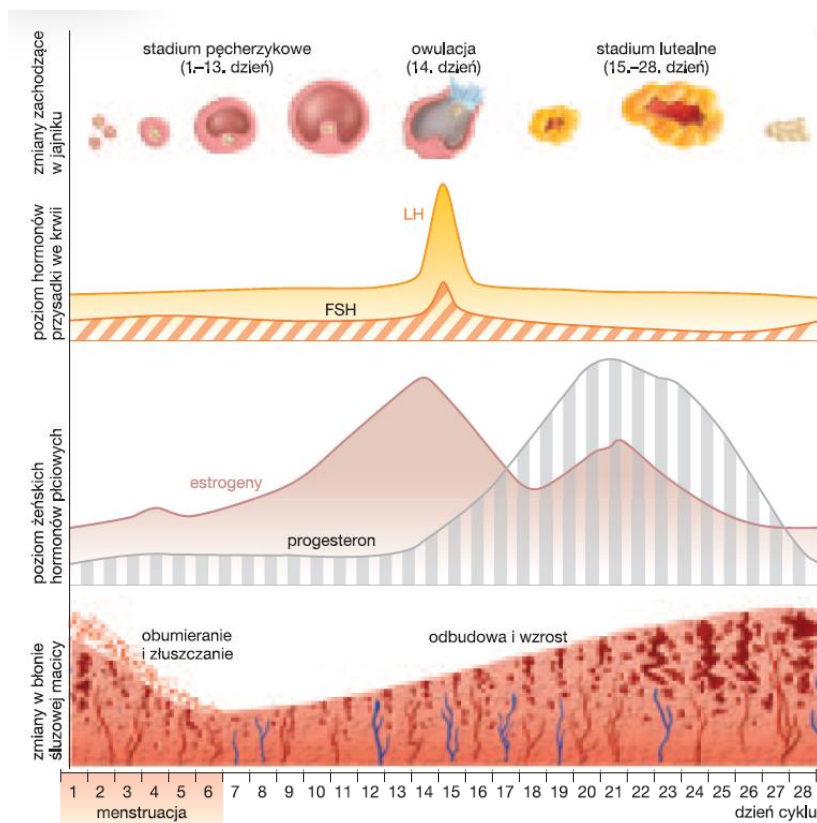
**Cykl maciczny (menstruacyjny):** przed owulacją steroidowe hormony wydzielane przez jajnik stymulują zmiany w macicy, które przygotowują ją do podtrzymywania rozwoju zarodka. Wydzielane przez wzrastające pęcherzyki zwiększone ilości estradiolu stanowią sygnał do pogrubienia endometrium. W ten sposób **faza pęcherzykowa cyklu jajnikowego skoordynowana jest z fazą proliferacyjną cyklu macicznego.** Po owulacji (9) wydzielane przez ciało żółte estradiol i progesteron, stymulują dalszy rozwój i pogrubienie endometrium. Gruczoły endometrium wydzielają płyn odżywczy podtrzymujący wczesny rozwój zarodka jeszcze przed zagnieżdżeniem się w ścianie macicy. Zatem faza lutealna jest skorelowana z **fazą wydzielniczą** cyklu macicznego. Jeśli zarodek nie zostanie zaimplantowany w błonie śluzowej macicy do końca fazy wydzielniczej, ciało żółte ulega degeneracji. **Wynikający z tego spadek (10) stężenia hormonów jajnikowych powoduje obkurczenie tętniczek w endometrium, co powoduje zmniejszenie ukrwienia wyściółki macicy, a ostatecznie złuszczenie się jej.** Wynikiem tego jest menstruacja – faza krwawienia miesięcznego – trwa to zazwyczaj kilka dni, a grupa nowych pęcherzyków jajnikowych zaczyna wzrastać.

## Hormonalna kontrola cyklu macicznego (menstruacyjnego).

etap cyklu	FSH	estrogeny	progesteron
faza proliferacyjna		Poziom wzrasta wraz z dojrzewaniem pęcherzyków jajnikowych. Powodują regenerację i rozrost endometrium.	poziom jest niski w tej fazie.
faza wydzielnicza		Umiarkowany wzrost stężenia, wspomagający działanie progesteronu.	Gwałtowny wzrost stężenia pod wpływem aktywności ciała żółtego. Progesteron stymuluje dojrzewanie gruczołów macicy i przygotowuje endometrium na implantację zarodka.
faza krwawienia miesięcznego	Zaczyna wzrastać, co inicjuje dojrzewanie nowych pęcherzyków.	Niskie stężenia obu hormonów powodują złuszczenie śluzówki macicy (endometrium).	Niskie stężenia obu hormonów powodują złuszczenie śluzówki macicy (endometrium).

### Podsumowanie hormonów w cyklu rozrodczym:

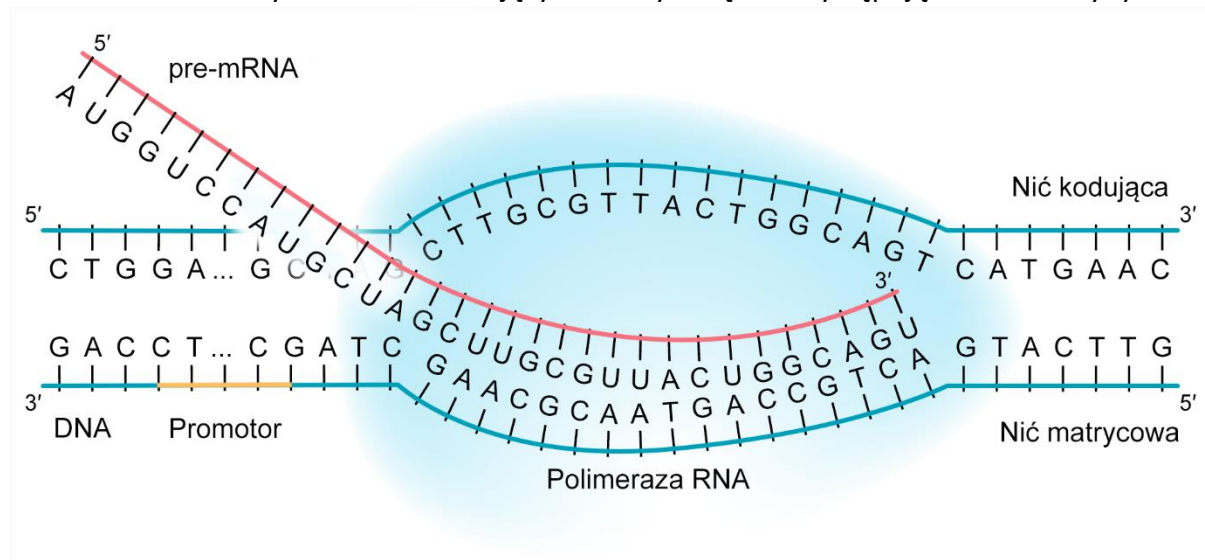
- **Estrogeny:** Odpowiadają za rozrost endometrium i dodatnie sprzężenie zwrotne prowadzące do szczytu LH.
- **Progesteron:** Kluczowy w fazie lutealnej i przygotowaniu macicy na implantację potencjalnego zarodka.
- **FSH:** Stymuluje wybór i dojrzewanie pęcherzyków jajnikowych i wydzielanie estrogenów.
- **LH:** Wywołuje owulację i przekształcenie pęcherzyka w ciało żółte.



✓ opisuje proces transkrypcji z uwzględnieniem roli polimerazy RNA; opisuje proces obróbki potranskrypcyjnej u organizmów eukariotycznych;

Transkrypcja jest pierwszym etapem ekspresji genu. Zachodzi w jądrze komórkowym. Polega na zsyntetyzowaniu łańcucha RNA na podstawie informacji genetycznej zawartej w cząsteczce DNA. Proces ten jest możliwy dzięki **zasadzie komplementarności**.

Podwójna helisa DNA składa się z dwóch nici komplementarnych względem siebie: nici **kodującej** i nici **matrycowej**. Nici matrycowa to nici transkrybowana, która stanowi szablon dla sekwencji nukleotydów transkryptu RNA. Nici kodująca nie ulega transkrypcji – jej sekwencja, podobnie jak sekwencja powstającego mRNA, jest komplementarna do nici matrycowej, z tą różnicą, że w RNA zamiast nukleotydów zawierających tyminę występują nukleotydy z uracylem.



Rysunek 23. Synteza mRNA na bazie nici matrycowej DNA.

Genom człowieka składa się z ok. 3,2 miliardów par nukleotydów. Około 70% DNA człowieka to materiał pozagenowy. Pozostałe 30% tworzy geny – jednostki, które podlegają transkrypcji. Zawierają one informację o budowie łańcucha polipeptydowego lub kwasu nukleinowego. U eukariontów geny mają budowę nieciągłą: DNA, który je tworzy, składa się z **fragmentów kodujących – eksonów (egzonów) i niekodujących – intronów**. W procesie transkrypcji przepisywane są zarówno fragmenty kodujące, jak i niekodujące, w wyniku czego powstaje **pre-mRNA**. Każdy gen wyznaczany jest przez dwie struktury graniczne: **promotor oraz sekwencję sygnału poliadenylacji**.

Enzymem katalizującym przebieg transkrypcji jest **polimeraza RNA zależna od DNA**.<sup>17</sup> Człowiek i inne organizmy eukariotyczne mają trzy rodzaje polimerazy RNA: I, II i III. Każdy specjalizuje się w **transkrypcji określonych klas genów**:

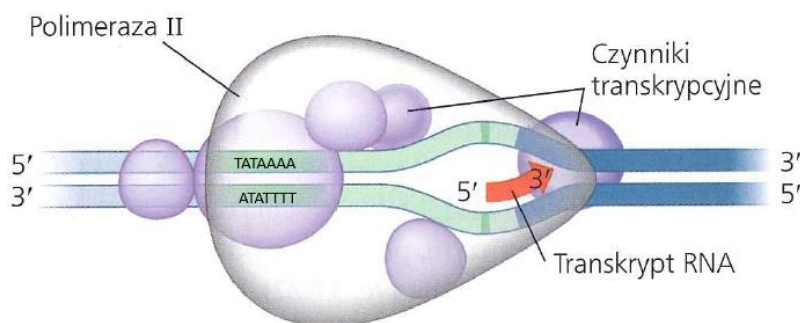
- **Polimeraza RNA I** odpowiada za syntezę pre-rRNA, który jest przekształcany w rRNA współtworzący rybosomy. Polimeraza RNA I działa jedynie w obrębie jąderka.
- **Polimeraza RNA II** odpowiada za transkrypcję pozostałych genów. **Wskutek jej działalności powstaje pre-mRNA**. Syntetyzuje ona również enzymatyczny snRNA, który jest wykorzystywany w dalszej obróbce pre-mRNA.
- **Polimeraza RNA III** odpowiada za syntezę tRNA.

<sup>17</sup> enzym syntezujący nici RNA na matrycy DNA w procesie transkrypcji

Rośliny mają dodatkowe dwa rodzaje polimerazy RNA: IV i V, które biorą udział w syntezie małych RNA. W procesie transkrypcji wyróżnia się trzy etapy:

- **inicjację replikacji** (polimeraza RNA przyłącza się do specjalnego miejsca na DNA zwanego promotorem. Podwójna helisa DNA zostaje rozpleciona i na nici matrycowej rozpoczyna się proces transkrypcji).
- **elongację** (polimeraza przesuwa się wzdłuż nici DNA rozplatając ją. Jedną z rozplecionych nici jest matrycą transkrypcji. Do wydłużającej nici RNA dobudowywane są kolejne nukleotydy komplementarne do nukleotydów w nici matrycowej DNA. Nici polinukleotydowa mRNA ulega syntezie w kierunku  $5' \rightarrow 3'$ ).
- **terminacja** (polimeraza RNA natrafia na odcinek DNA sygnalizujący koniec transkrypcji i odłącza się od DNA).

**Inicjacja transkrypcji:** promotor genu obejmuje **punkt startowy** transkrypcji (nukleotyd, od którego w rzeczywistości rozpoczyna się synteza RNA) oraz zazwyczaj kilkadziesiąt par nukleotydów leżących powyżej punktu startowego. Polimeraza RNA wiąże się w ściśle określonej lokalizacji i orientacji do promotora, tym samym determinując miejsce rozpoczęcia replikacji i to, która z dwóch nici helisy DNA zostanie wykorzystana jako matryca. Pewne fragmenty promotora są szczególnie ważne dla wiązania polimerazy RNA. U eukariontów, zestaw białek, zwanych **czynnikami transkrypcyjnymi**, pośredniczy w wiązaniu polimerazy RNA i inicjacji transkrypcji. Dopiero po przyłączeniu do promotora różnych określonych czynników transkrypcyjnych może się z nim związać polimeraza II RNA. Cały związany z promotorem kompleks czynników transkrypcyjnych i polimerazy II RNA nazywany jest **transkrypcyjnym kompleksem preinicjacyjnym**. Istotną rolę przypisuje się również szczególnej sekwencji DNA, zwanej **sekwencją TATA** (kasetą TATA), w tworzeniu kompleksu inicjacyjnego na promotorze eukariotycznym (ta najczęściej położona jest 25 nukleotydów powyżej transkrypcyjnego punktu startowego).

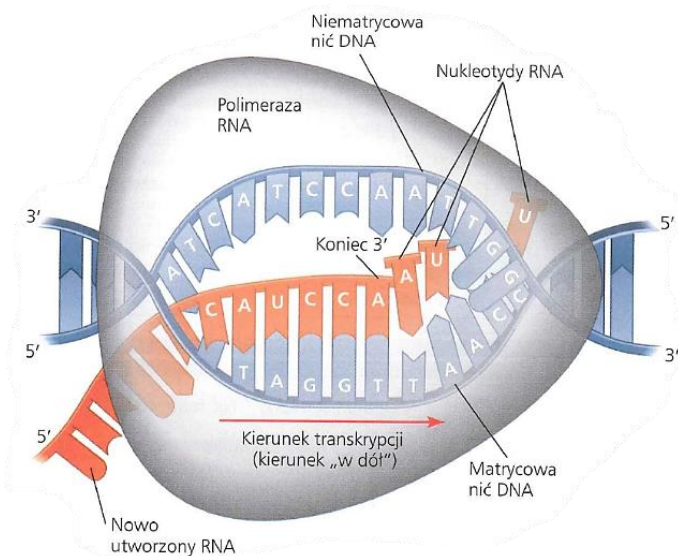


**Transkrypcyjny kompleks inicjacyjny**

Po silnym przyłączeniu odpowiednich czynników transkrypcyjnych do promotora DNA i związaniu we właściwej orientacji polimerazy enzym ten rozplata dwie nici DNA i rozpoczyna transkrypcję nici matrycowej w punkcie startowym.

**Elongacja nici RNA w transkrypcji:** polimeraza RNA, przesuując się wzdłuż DNA, kontynuuje rozplatanie podwójnej helisy, eksponując w danym momencie od 10 do 20 zasad DNA na potrzeby parowania z nukleotydami RNA. W miarę wędrówki po podwójnej helisie enzym przyłącza nukleotydy do końca  $3'$  rosnącej cząsteczki RNA. W ślad za przesunięciem fali syntezy RNA nowa cząsteczka RNA odrywa się od matrycy DNA, pozwalając na ponowne splecenie podwójnej helisy DNA. Szybkość transkrypcji u eukariontów wynosi około 40 nukleotydów. Pojedynczy gen może ulegać transkrypcji jednocześnie przez kilka cząsteczek polimerazy RNA poruszających się jedna za drugą. Nagromadzenie wielu cząsteczek polimeraz prowadzących jednoczesną transkrypcję pojedynczego genu zwiększa ilość pochodzącego od niego mRNA, co pozwala komórce na produkcję dużej ilości kodowanego białka.





Polimeraza RNA przemieszcza się wzdłuż nici matrycowej DNA, przyłączając komplementarne nukleotydy RNA do końca 3' rosnącego transkryptu RNA. Za polimerazą nowa nić RNA zsuwa się z nici matrycowej, która wraz z nicią kodującą formuje ponowne podwójną helisę.

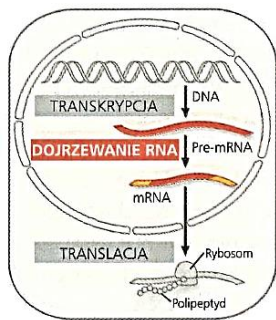
**terminacja transkrypcji:** mechanizm terminacji różni się pomiędzy bakteriami a eukariontami. **U bakterii** transkrypcja dochodzi do sekwencji terminatorowej DNA. Przepisany terminator (sekwencja RNA) działa jak sygnał terminacyjny, powodując oddysocjowanie polimerazy od DNA i uwolnienie transkryptu, który od razu staje się dostępny jako mRNA. **U eukariontów** polimeraza II RNA przepisuje sekwencję DNA zwaną sekwencją **sygnału poliadenylacji**, która koduje sygnał poliadenylacji (AAUAAA) w pre-mRNA. Jest on nazywany *sygnałem*, ponieważ po pojawieniu się tego odcinka sześciu nukleotydów RNA jest on niezwłocznie wiązany przez pewne białka jądra komórkowego. Wtedy w punkcie znajdującym się poniżej sekwencji AAUAAA, oddalonym od niego o około 10-35 nukleotydów, białka te odcinają nowo utworzoną nić od polimerazy i uwalniają ją jako pre-mRNA. Podlega on następnie dojrzewaniu. **Polimeraza II RNA kontynuuje proces transkrypcji.** Ponieważ powstały w ten sposób nowy koniec 5' nie jest chroniony przez czapkę, enzymy zaczynają degradować ten nowy RNA od końca 5'. Polimeraza kontynuuje transkrypcję, ścigana przez te enzymy aż do skutki i dopiero to powoduje jej oddysocjowanie od DNA.

Tylko nieliczne cząsteczki RNA są syntetyzowane jako końcowe, dojrzałe RNA. Większość nowo powstałych cząsteczek RNA (**pierwotne transkrypty**) ulega różnorodnym zmianom, dając ostatecznie dojrzałe cząsteczki. Termin **dojrzewanie RNA** jest ogólnym określeniem opisującym zmiany, jakim ulega **pierwotny transkrypt** zanim stanie się dojrzałą cząsteczką RNA. Najczęstsze typy zmian obejmują:

- usunięcie lub dodanie nukleotydów przez egzo- i endonukleazy;
- dodanie nukleotydów, głównie do końca 5' lub 3' pierwotnego transkryptu (ale nie tylko);
- modyfikacje pewnych nukleotydów w obrębie zasady lub w części cukrowej.

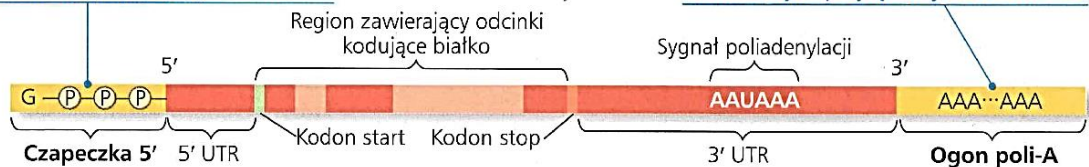
Każdy z dwóch końców cząsteczki pre-mRNA jest modyfikowany w określony sposób. Jako pierwszy podlega dojrzewaniu **koniec 5'**, będącą zmodyfikowanym nukleotydem guaninowym (G), dodawanym do końca 5' już po transkrypcji pierwszych 20-40 nukleotydów. Również koniec 3' cząsteczki pre-mRNA ulega zmianom przed opuszczeniem jądra przez mRNA. Tam dochodzi do enzymatycznego przyłączenia od 50 do 250 nukleotydów adeninowych (A), tworzących ogon poli-A. Czapka 5' i ogon poli-A wydają się ułatwiać eksport dojrzałego mRNA do cytozolu. Po drugie, pomagają chronić mRNA przed degradacją przez enzymy hydrolityczne. Po trzecie, pomagają przyłączać się rybosomom do końca 5' RNA zaraz po wejściu mRNA do cytoplazmy.





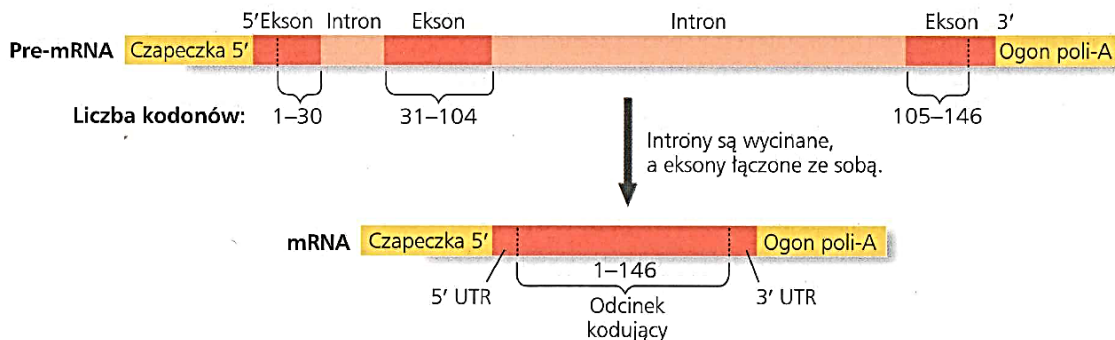
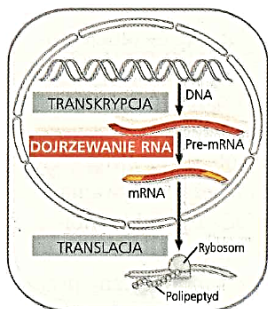
Zmodyfikowany nukleotydy guaninowy przyłączony do końca 5'

50 do 250 nukleotydów adeninowych przyłączonych do końca 3'



**▲ Rycina 17.10 Dojrzwienie RNA: dodanie czapeczki 5' i ogona poli-A.** Enzymy modyfikują dwa końce eukariotycznej cząsteczki pre-mRNA. Zmodyfikowane końce mogą pomagać w eksporcie mRNA z jądra komórkowego i w jego ochronie przed degradacją. Gdy mRNA osiąga cytoplazmę, zmodyfikowane końce, w połączeniu z pewnymi białkami cytoplazmatycznymi, ułatwiają przyłączenie rybosomu. Czapeczka 5' i ogon poli-A nie ulegają translacji na białka, podobnie jak regiony nieulegające translacji (UTR) na końcach 5' (5'UTR) i 3' (3'UTR). Różowe fragmenty zostaną omówione dokładniej na rycinie 17.11.

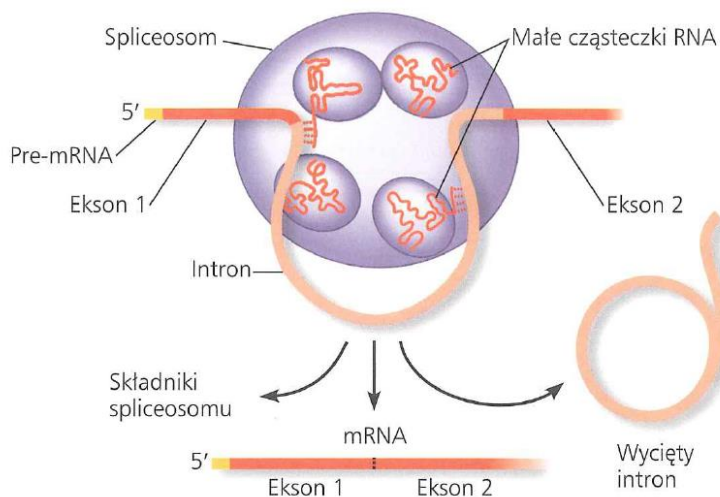
Istotnym etapem dojrzwienia RNA w jądrze eukariotycznym jest usunięcie znacznych fragmentów pierwotnie utworzonej cząsteczki RNA w procesie obejmującym wycinanie i sklejanie, zwanym **splicingiem RNA**, przypominającym montowanie nagrań wideo. Większość genów *Eukaryota* i ich transkryptów RNA ma długie niekodujące odcinki nukleotydów, a więc regiony, które nie ulegają translacji. Sekwencja nukleotydowa DNA kodujących polipeptyd eukariotyczny nie jest ciągła – jest podzielona na fragmenty. Introny (fragmenty niekodujące) występują na przemian z egzonami (fragmentami ulegającymi translacji oprócz regionów UTR<sup>18</sup>).



© Pearson Education, Inc.

**▲ Rycina 17.11 Dojrzwienie RNA: splicing RNA.** Przedstawiona tu cząsteczka RNA koduje  $\beta$ -globinę, jeden z polipeptydów hemoglobiny. Liczby pod RNA odnoszą się do kodonów.  $\beta$ -globina ma długość 146 aminokwasów. Gen  $\beta$ -globiny i jego transkrypt pre-mRNA mają trzy eksony odpowiadające sekwencjom, które opuszczają jądro pod postacią mRNA (regiony 5'UTR i 3'UTR są częścią tych eksonów, ponieważ są włączone w mRNA; jednak nie kodują one białka). Podczas dojrzwienia RNA introny są wycinane, a eksony łączone ze sobą. W wielu genach introny są dużo dłuższe niż eksony.

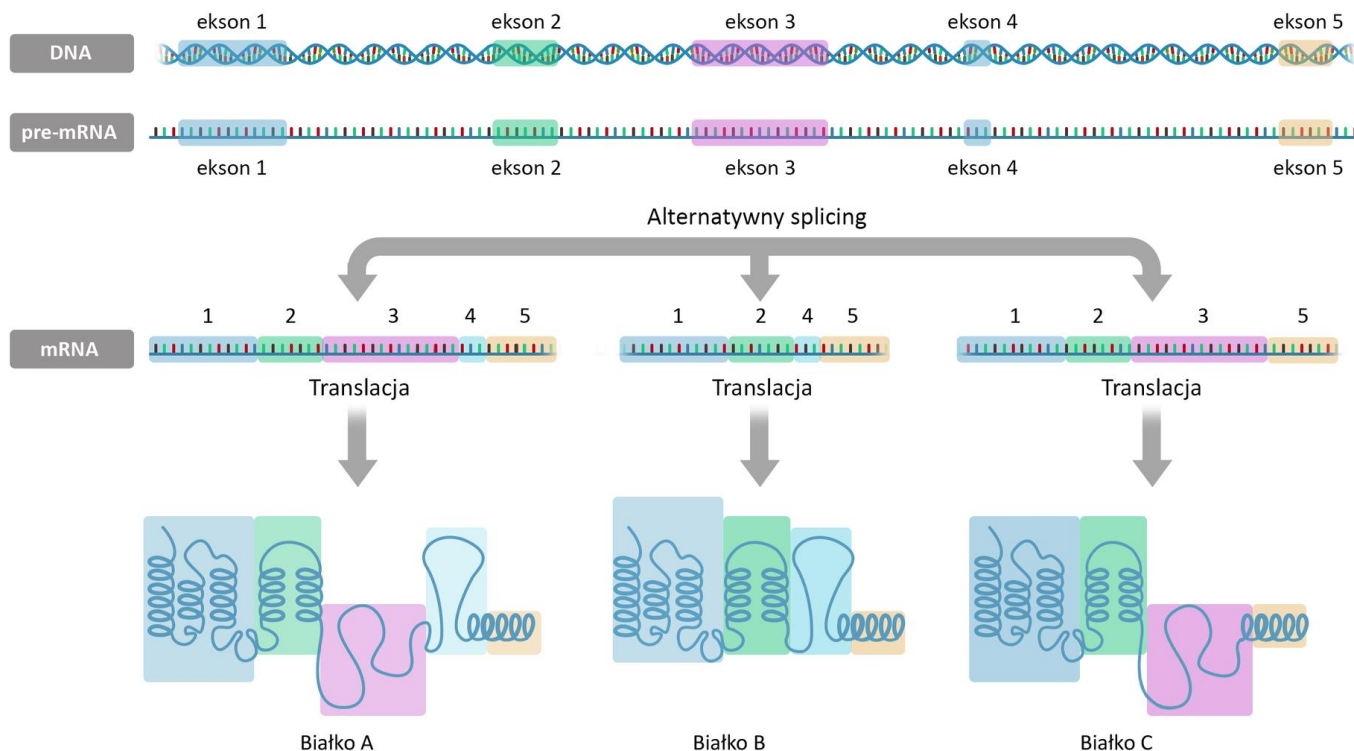
Usunięcie intronu jest przeprowadzane przez duży kompleks białek i małych, jądrowych cząsteczek RNA (snRNA), zwany **spliceosomem**. Kompleks ten wiąże się do kilku krótkich sekwencji nukleotydowych intronu, w tym do kilku kluczowych w tym procesie sekwencji na obu jego końcach. Intron jest wtedy uwalniany (i gwałtownie się rozpada), a spliceosom łączy ze sobą dwa eksony, które wcześniej oskrzydlały intron.



Schemat przedstawia fragment transkryptu pre-mRNA z intronem (kolor pomarańczowy) ograniczonym przez dwa eksony (kolor czerwony). W **spliceosomie** dochodzi do parowania zasad azotowych snRNA i specyficznych lokalizacji wzdłuż intronu. Następnie spliceosom katalizuje cięcie pre-mRNA i skleja ze sobą eksony, uwalniając **intron, który ulega szybkiej dezintegracji.**

<sup>18</sup> w dobrym guście byłoby zatem definiować egzony przez sekwencje RNA, które opuszczają jądro.

Nie zawsze wszystkie egzony danego genu są włączane do transkryptu podczas splicingu. Zjawisko to nazywa się splicingiem alternatywnym i umożliwia wytworzenie różnych białek na bazie tego samego genu. W komórkach występują specyficzne dla danego rodzaju komórki białka regulatorowe, które kontrolują wybór wycinanych intronów i eksonów z pre-mRNA. W konsekwencji wybrany odcinek pre-mRNA może w jednych komórkach zostać wycięty, podczas gdy w innych może być częścią cząsteczki mRNA. W ten sposób powstaną różne transkrypty ostateczne, a na podstawie informacji w nich zawartych zostaną utworzone **różne warianty białka (izoformy)**.



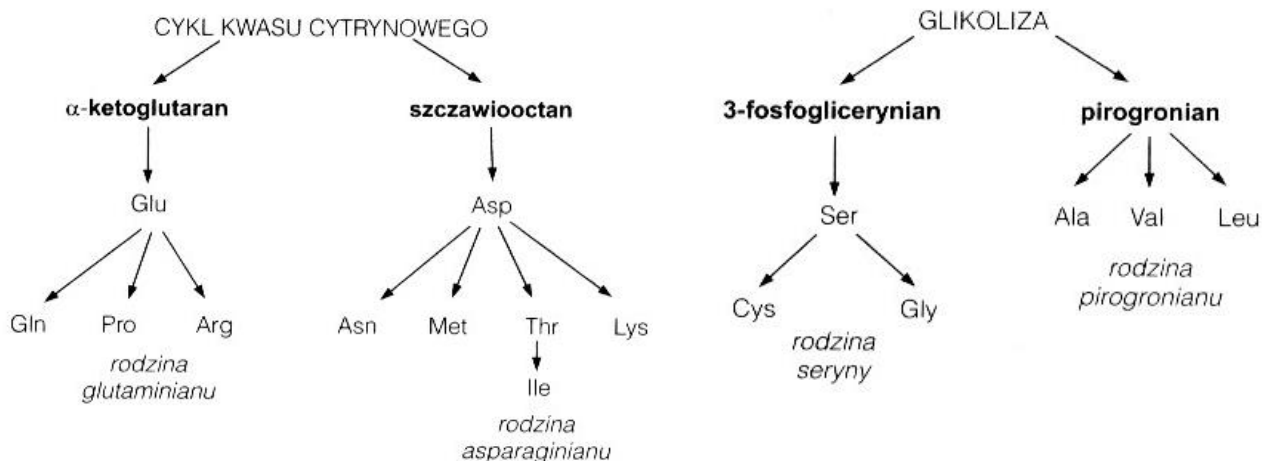
Ponad 95% ludzkich genów składających się z kilku eksonów ulega alternatywnemu splicingowi, kodując co najmniej dwie izoformy białek. Ekspresja poszczególnych form białka jest specyficzna dla różnych typów tkanek oraz etapu rozwoju organizmu, a nawet dla poszczególnych osobników czy populacji. Alternatywny splicing jest zaangażowany w regulację procesów fizjologicznych, ale także patologicznych. Prawidłowo przebiegający alternatywny splicing przyczynia się np. **do syntezy różnych wariantów przeciwciał przez komórki układu immunologicznego**. Natomiast nieprawidłowy przebieg obróbki może doprowadzić do powstania komórek nowotworowych.

Ostatnia z omawianych modyfikacji potranskrypcyjnych to **edycja RNA**, zachodząca znacznie rzadziej od pozostałych. Polega ona na usunięciu z nici pojedynczych nukleotydów, dodaniu nowych lub zamianie jednych w inne przez kompleks zwany edytosomem. Zamiana jednego nukleotydu w drugi odbywa się nie poprzez wymianę jednego na inny, ale poprzez chemiczną zmianę budowy jego cząsteczki i co za tym idzie – tworzącą z niego inny związek. Możliwym celem edycji RNA jest utworzenie dłuższych lub krótszych wersji białek, a także wpływanie na funkcjonalność protein. Biotechnolodzy badają obecnie możliwości wykorzystania edycji RNA do manipulacji sekwencją RNA, a zatem wpływania na ekspresję genów oraz jej produkty.

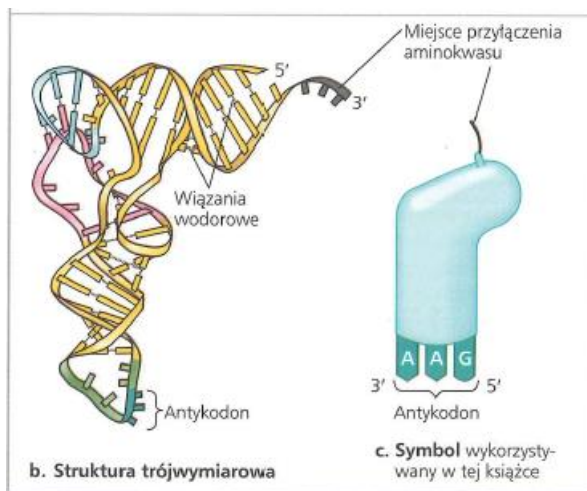
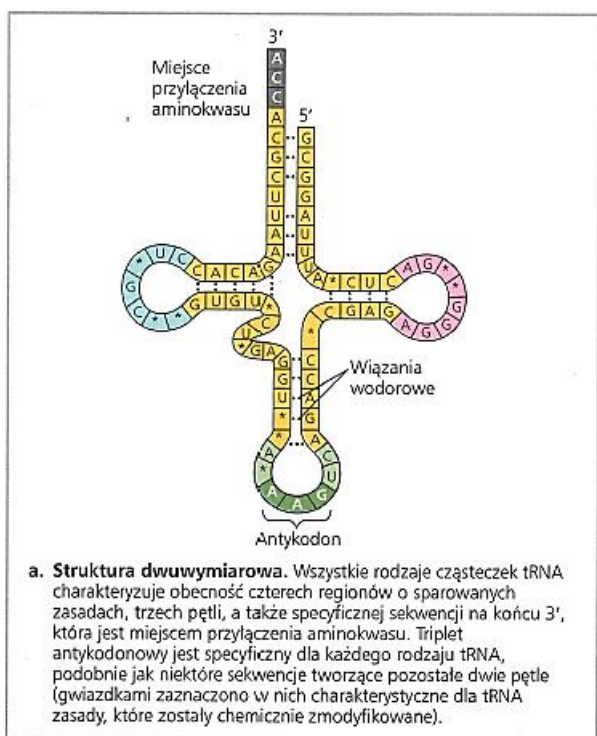
**Warto zwrócić uwagę:** obecność w genach intronów może ułatwiać ewolucję nowych i potencjalnie użytecznych białek w wyniku procesu zwanego **tasowaniem eksonów**. Obecność intronów zwiększa prawdopodobieństwo potencjalnie korzystnego *crossing-over* pomiędzy eksonami alleli – w prosty sposób, przez zwiększenie długości DNA dostępnej dla tego procesu, bez przerywania sekwencji kodujących.

✓ opisuje proces translacji i przedstawia znaczenie modyfikacji potranslacyjnej białek;

W czasie translacji, komórka interpretuje informację genetyczną i zgodnie z nią buduje polipeptyd. Informację stanowi seria kodonów wzdłuż cząsteczki mRNA, a jej interpretator nosi nazwę **transferowego (transportującego) RNA (tRNA)**. Funkcją tRNA jest przeniesienie aminokwasu pochodzącego z cytoplazmatycznej puli aminokwasów do rybosomu. Komórka utrzymuje w swojej cytoplazmie zapas wszystkich 20 aminokwasów, zarówno w wyniku ich syntezy z innych związków, jak również dzięki ich pobieraniu z otaczającego je roztworu. **Przykładowe drogi pozyskiwania aminokwasów przedstawiono poniżej:**



Rybosom wbudowuje każdy aminokwas przekazany przez tRNA do rosnącego końca łańcucha polipeptydowego. Zasady translacji są proste, ale jej biochemia i mechanika są już skomplikowane, szczególnie w komórkach *Eukaryota*. Każda cząsteczka tRNA tłumaczy określony kodon mRNA na określony aminokwas. Jest to możliwe, gdyż tRNA na jednym swoim końcu przenosi określony aminokwas, natomiast drugi jego koniec stanowi triplet nukleotydów, który może się parować z komplementarnym kodonem mRNA.



tRNA przedstawiona w rzucie płaskim ujawnia parowanie zasad i ma wygląd liścia koniczyny. W rzeczywistości tRNA skręca się i zwiija, z grubsza przypomina literę L. Pętla znajdująca się na jednym końcu zawiera **antykodon**, który tworzy parę z określonym kodonem mRNA.

Na drugim końcu L-kształtnej cząsteczki tRNA znajduje się wysunięty koniec 3', który stanowi miejsce przyłączenia aminokwasu. Proces ten katalizowany jest przez **syntetazy aminoacylo-tRNA**. Istnieje 20 różnych syntetaz – odpowiednio każda dla jednego, odrębnego aminokwasu.

Rybosomy ułatwiają specyficzne parowanie antykodonów tRNA z kodonami mRNA podczas syntezy białka. Pojedynczy rybosom składa się z dwóch podjednostek (małej i dużej). Podjednostki rybosomu są zbudowane z białek i cząsteczek RNA, zwanych rybosomowym RNA (rRNA). U eukariontów obie podjednostki są syntetyzowane w jąderku. Leżące na chromosomowym DNA geny rRNA ulegają transkrypcji, a powstający RNA jest poddawany dojrzewaniu i łączony z białkami importowanymi z cytoplazmy.

**Struktura rybosomu bakteryjnego** została ustalona do poziomu watomowego. Struktura rybosomu znajduje odzwierciedlenie w jego funkcji łączenia mRNA z przenoszącym aminokwasy tRNA. Poza miejscem wiązania mRNA każdy rybosom ma trzy miejsca wiązania tRNA. **Miejsce P** (miejsce wiązania peptydylo-tRNA) przytrzymuje cząsteczkę tRNA połączoną z rosnącym łańcuchem polipeptydowym, natomiast **miejsce A** (miejsce wiązania aminoacylo-tRNA) przytrzymuje cząsteczkę tRNA niosącą aminokwas, który ma zostać dodany do łańcucha polipeptydowego jako następny w kolejności. Pozbawiona swojego załadunku cząsteczką tRNA opuszcza rybosom w **miejscu E** (miejscu wyjścia). Rybosom przytrzymuje tRNA i mRNA blisko siebie i nadaje pozycje aminokwasom, które mają zostać dodane do karboksylowego końca rosnącego polipeptydu. Następnie katalizuje tworzenie wiązania peptydowego. Wydłużający się polipeptyd wchodzi do kanału wyjściowego, znajdującego się w dużej podjednostce rybosomu. Po zakończeniu składania polipeptydu zostaje on uwolniony do cytozolu właśnie przez ten kanał.