

UKŁAD RUCHU

POWTÓRKA Z ZOOLOGII

- W zależności od rozmiarów ciała zwierzęta wykształciły dwa sposoby poruszania się: rzęskowy, oparty na ruchu rzęsek i wici, oraz mięśniowy, w którym biorą udział mięśnie.
- ruch u zwierząt umożliwia zdobywanie pokarmu, obronę przed napastnikiem i ewentualną ucieczkę.
- w zależności od rozmiarów ciała wyróżniamy dwa sposoby poruszania się:
 - **rzęskowy** – oparty na ruchu rzęsek i wici;
 - **mięśniowy** – oparty na skurczach komórek nabłonkowo-mięśniowych (parzydełkowce) lub mięśni (w przypadku pozostałych zwierząt).
- ruch lokomotoryczny** to czynne przemieszczanie się całego zwierzęcia w przestrzeni. Umożliwia on m.in. aktywne poszukiwanie pokarmu lub partnera czy miejsca do rozrodu, a także ucieczkę przed niebezpieczeństwem. Wyróżniamy kilka rodzajów ruchu lokomotorycznego:
 - **pełzanie** – np. ślimaki lądowe pełzają za pomocą nogi;
 - **kroczenie** – np. drapieżniki takie jak gepard, ssaki kopytne (np. antylopy) biegają.
 - **lot** – większość owadów, różne rodzaje ptaków – robią to dzięki skrzydłom.
 - **plywanie** – np. ośmiornice, parzydełkowce.
- ruch określonych** części ciała bez przemieszczania służy do komunikacji, usuwania pasożytów, a także może napędzać cząstki pożywienia lub służyć do bezpośredniego chwytania pokarmu.

FUNKCJE SZKIELETU

- **bierną częścią** układu ruchu stanowi szkielet, natomiast **aktywną** są mięśnie.
- wśród **funkcji szkieletu** wyróżnia się:
 - stanowienie **rusztowania** dla całego organizmu oraz nadawanie kształtu całemu ciału.
 - **ochronna** – np. czaszka chroni mózg, klatka piersiowa chroni narządy wewnętrzne w tym serce oraz płuca;
 - na jego poziomie występuje **szpik czerwony** odpowiedzialny za powstanie elementów morfotycznych krwi;
 - szkielet stanowi miejsce przyczepu mięśni;
 - stanowi ono magazyn wapnia.

PORÓWNANIE SZKIELETU DZIECKA I OSOBY DOROSŁEJ

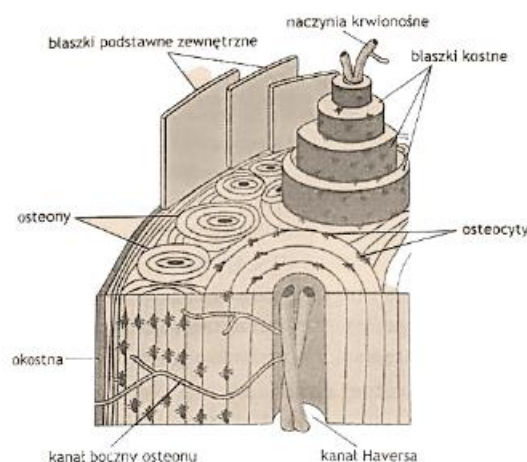
- W różnych miejscach szkieletu proces kostnienia zachodzi w różnym tempie. Liczba kości u noworodka wynosi około 270. Wraz z pojawianiem się tak zwanych wtórnych punktów kostnienia liczba kości wzrasta (u czternastolatka jest ich już 356). Nie oznacza to większej liczby odrębnych kości, gdyż wiele z nich pozostaje ze sobą funkcjonalnie powiązanych (np. w kości udowej jest aż pięć punktów kostnienia: jeden pierwotny w trzonie kości, dwa wtórne w nasadach i dwa tworzące miejsca przyczepu mięśni).
- W wieku około 25 lat (m.in. w wyniku zrastania się nasad kości z trzonem) liczba kości spada i wynosi ostatecznie około 206

BUDOWA TKANKI KOSTNEJ

- posiada liczne naczynia krwionośne i nerwy przebiegające wewnątrz kanałów Haversa;
- dojrzałe komórki = osteocyty, są zlokalizowane z jamkach kostnych i tworzą strukturę zwane blaszkami kostnymi.
- wiele koncentrycznie ułożonych blaszek kostnych – osteon (**zespół Haversa**).
- osteoblasty – komórki kościotwórcze, osteoklasty – komórki kościogubne, modelujące.
- są one zanurzone w **osseinie** – substancji międzykomórkowej zbudowanej z:
 - **części organicznej** (*białek, tłuszczów*) odpowiedzialnej za elastyczność,
 - **części nieorganicznej** (*sole mineralne, fosforany wapnia i węglany wapnia + włókna kolagenowe*) odpowiedzialne za twardość kości.
 - substancja ta tworzy **blaszki kostne**, między którymi znajdują się liczne **jamki kostne** połączone wąskimi **kanalikami kostnymi**.



OSTEOCYTY



- **trzon ma głównie osteony** (*istota zbita*, która buduje trzony kości długich, a ich wnętrze zajmuje jama szpikowa wypełniona szpikiem żółtym – im człowiek starszy, tym jest go więcej)
- tkanka gąbczasta tworzy nasady kości długich i wnętrze kości płaskich; jej blaszki tworzą beleczki o luźnym układzie; pomiędzy beleczki wnika jama szpikowa wypełniona szpikiem czerwonym.
- **nasada ma głównie istotę gąbczastą** (*beleczki kostne* – luźniejsza struktura ciasno owiniętych wokół siebie blaszek kostnych). → tam znajduje się szpik czerwony odpowiedzialny za budowę elementów morfotycznych. Im człowiek starszy, tym jest go mniej. Mimo wszystko nasady zawsze mają szpik czerwony.

istota zbita kości	istota gąbczasta kości
cechuje się zbitym ułożeniem blaszek kostnych (skoncentrowane warstwy białek i włókien kolagenowych (osseinowych), wysyconych solami mineralnymi) ułożonych koncentrycznie , tworzących struktury zwane osteonami (systemami Haversa). W środku występuje kanał Haversa, który posiada naczynia krwionośne i nerwy.	zbudowana jest z beleczek kostnych , czyli blaszek kostnych, które w tym przypadku luźno się układają, a pomiędzy nimi znajduje się szpik kostny czerwony .

- kości płaskie zachowują szpik czerwony przez całe życie.

KSZTAŁTY KOŚCI

- **kości płaskie** mają długość i szerokość większą niż grubość. Stanowią osłonę narządów i miejsce przyczepu mięśni. Wśród nich wyróżniamy m.in. **mostek**, kości **łopatki**, kości **mózgoczaszki** oraz kości **biodrowe**.
- **kości różnokształtne** tworzą nieregularne, różne bryły. Mają wyrostki i zagłębienia. Są to m.in. kości **kręgosłupa**, kosteczki **słuchowe**, kości **twarzoczaszki**.
- **kości krótkie** kształtem przypominają sześciątka, a wszystkie ich wymiary są do siebie zbliżone. Są to kości **stępu** oraz kości **nadgarstka**.
- **kości długie** to kości, których długość jest większa niż grubość i szerokość. Są to kości **palców**, kość **ramieniowa** oraz kość **udowa**.

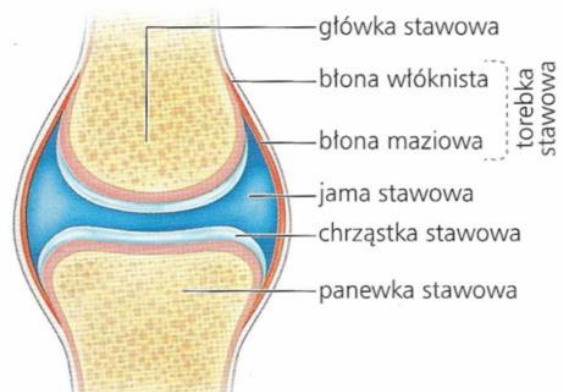
RODZAJE POŁĄCZEŃ KOŚCI

- wyróżniamy połączenia ścisłe (ciągłe) oraz połączenia ruchome (nieciągłe);
- **połączenia półściśle** powstają, gdy dwie kości zostaną trwale zespolone za pośrednictwem tkanki łącznej, a wśród nich wyróżniamy:
 - **więzozrosty włókniste**, które występują w postaci pasm tkanki łącznej włóknistej. Występują pomiędzy kośćmi przedramienia, w łukach kręgowych, odpowiadają za mocowanie zęba w zębodole, więzozrosty łączące kości sklepienia czaszki noszą nazwę szwów. Około 30 r.ż. zachodzi ich zrastanie i wytwarzanie kościorostów.
 - **chrząstkozrosty** występują w spojeniu łonowym i między częściami mostka.
- **wśród połączeń ścisłych** występują **kościorosty** – najmocniejszy typ połączenia kości; powstają późno, w wyniku kostnienia innych typów połączeń (występują pomiędzy tworzącymi miednicę kośćmi biodrową, łonową oraz kulszową).
- **połączenia nieciągłe** (wolne) nazywamy stawami.
 - **stawy jednoosiowe** – obrotowy oraz zawiasowy.
 - **staw obrotowy** – między dźwigaczem, a obrotnikiem.
 - **staw zawiasowy** – np. staw łokciowy, staw kolanowy.
 - **stawy dwuosiowe** – siodełkowy i eliptyczny (elipsoidalne).
 - **staw siodełkowy** – nadgarstkowo-śródręczny kciuka.
 - **staw eliptyczny** – np. promieniowo-nadgarstkowy
 - **stawy wieloosiowe** – kulisty, płaski:
 - **kulisty** np. biodrowy;
 - **płaski** np. między kośćmi nadgarstka i stępu.

BUDOWA STAWU

- stawy są zabezpieczone przed ścieraniem się kości:

- głowa jednej kości wchodzi w panewkę (zagłębienie) drugiej kości. Obie te płaszczyzny są pokryte chrząstką szklaną.
- wokół nich występuje torebka stawowa – budują ją dwie błony: włóknista i maziowa. Włóknista stabilizuje staw, natomiast błona maziowa tworzy:



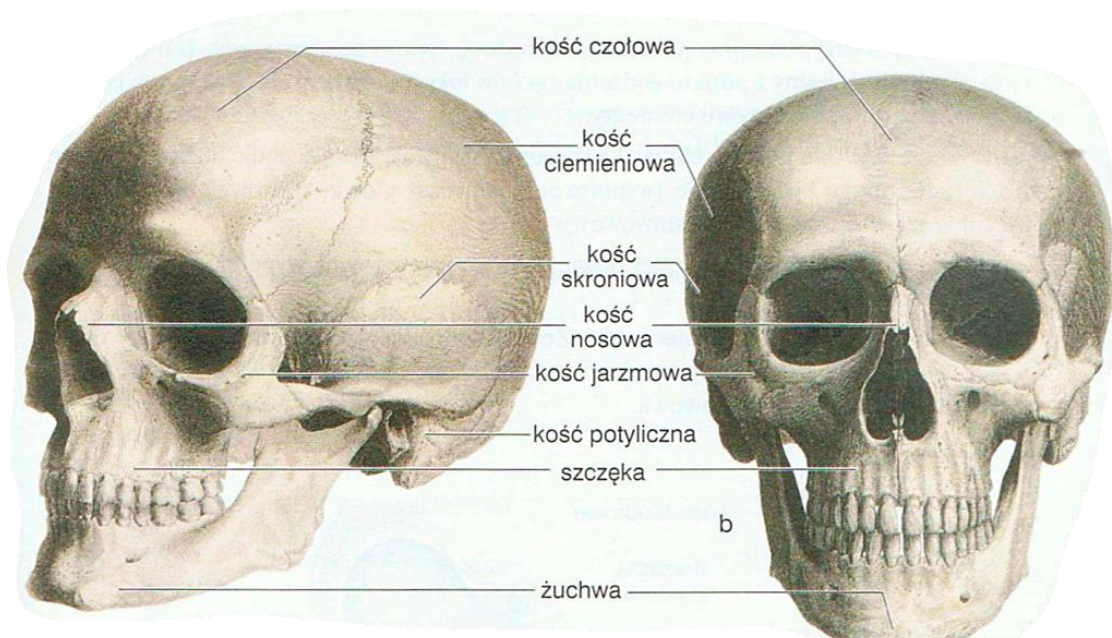
- uchyłki tworzące kaletki maziowe, które w pewnym zakresie ułatwiają funkcjonowanie więzadeł i ścięgien.
- krążki stawowe, które są chrząstkami i umożliwiają dopasowanie się powierzchni stawowych sąsiadujących kości.

SZKIELET CZŁOWIEKA

- dzielimy go na szkielet osiowy, szkielet pasa (obręczy) barkowego i miednicowego oraz szkielet kończyn;

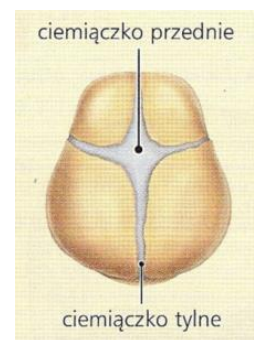
SZKIELET OSIOWY

- czaszka składa się z dwóch części: mózgowczaszki (kości płaskie) i trzewioczaszki (kości różnokształtne);
- **mózgowczaszka** odpowiedzialna jest za ochronę mózgu. Na jej poziomie wyróżniamy kości parzyste (kości ciemieniowe, kości skroniowe) oraz kości nieparzyste (kość czołowa, kość potyliczna, kość klinowa oraz kość sitowa).
- **trzewioczaszka** ma kości parzyste (kości nosowe, kości łzowe, kości podniebienne, kości jarzmowe, kości szczękowe) oraz kości nieparzyste (żuchwa, kość gnykowa).



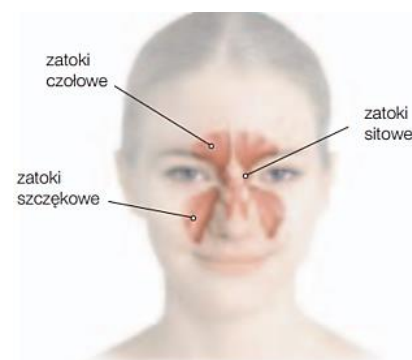
CIEMIĄCZKA

- U noworodka kości czaszki są połączone za pomocą pasm błoniastej tkanki łącznej. W miejscach zespolenia trzech lub więcej kości pojawiają się pola zwane ciemiączkami (tkanka łączna włóknista). W trakcie porodu ułatwiają one przejście czaszki dziecka przez kanał rodny.
- Ulega ona wtedy czasowej **deformacji** (staje się wydłużona). Ciemiączka pozwalają także na szybki wzrost kości czaszki w pierwszym okresie życia. Ciemiączko czołowe zarasta tkanką chrzęstną dopiero w wieku około dwóch lat.



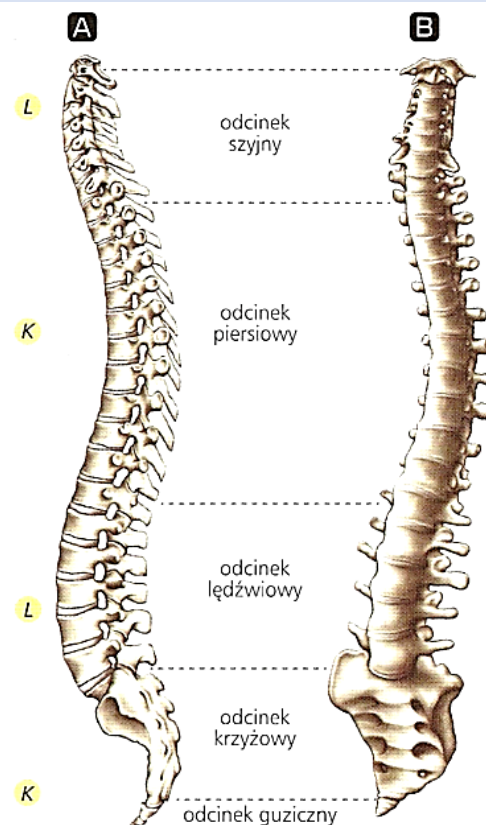
ZATOKI CZŁOWIEKA

- kości czaszki są **pneumatyczne**, tworzą zatoki przynosowe (czołowe, szczękowe i sitowe).
- ich rolą jest nawilżanie i ocieplanie wdychanego powietrza, są też rezonatorami i nadają barwę głosu.
- Zatoki są połączone z jamą nosową cienkimi kanałami, które na skutek infekcji często się zatykają. Powoduje to m.in. uczucie zatkanego nosa i utratę powonienia.



KRĘGOSŁUP

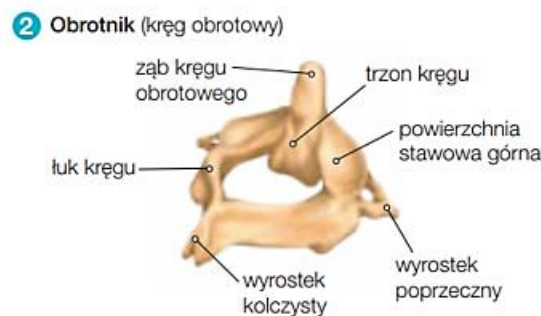
- kręgosłup człowieka **nie jest** prosty – jest esowato wygięty. Ma to znaczenie przy amortyzacji wstrząsów i przenoszeniu obciążenia ciała;
- **lordozy** to fizjologiczne wygięcia do przodu ciała – występują w odcinku szyjnym i lędźwiowym;
- **kifozy** to fizjologiczne wygięcia do tyłu ciała – występują w odcinku piersiowym i krzyżowym.
- **wyróżniamy następujące odcinki:** szyjny (ma 7 kręgów); piersiowy (ma 12 kręgów); lędźwiowy (5 kręgów); krzyżowy (5 kręgów); ogonowy (zwany guzicznym, zbudowany z 4-5 kręgów).



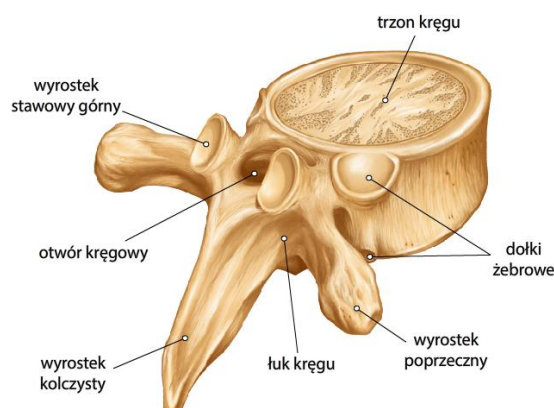
- **I kręg szyjny:** atlas (dźwigacz) nie ma w swojej budowie trzonu, posiada dwa łuki. Występuje wyrostek poprzeczny, a na tylnej części łuku przedniego leży powierzchnia stawowa służąca do połączenia z zębem kręgu obrotowego. Z obrotnikiem będzie tworzyć ruchome połączenie – staw obrotowy.



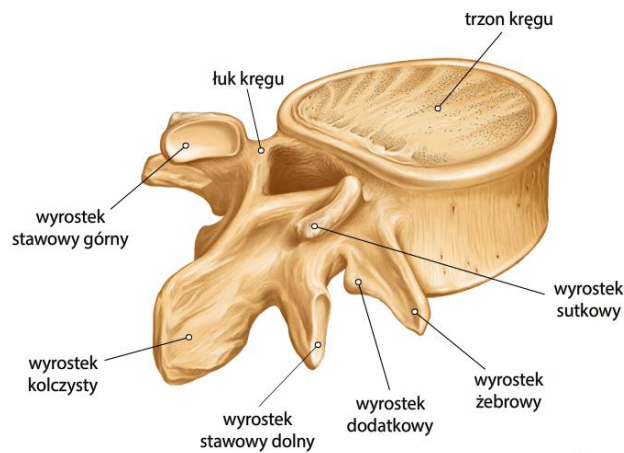
- **II kręg szyjny:** obrotnik ma charakterystyczny ząb na trzonie, który osadza atlas na swoim miejscu i umożliwia utworzenie stawu. Obecny jest łuk kręgu i wyrostki:
 - **kolczyste** – znajdujący się w linii środkowej, pojedynczy, skierowany ku tyłowi. Jest to miejsce zamocowania mięśni;
 - **dwa wyrostki poprzeczne** – jest to miejsce przyczepu mięśni i więzadeł, odchodzą w kierunku bocznym
 - **dwa wyrostki stawowe:** dwa górne zwrócone ku tyłowi i dwa dolne zwrócone ku przodowi; służą do łączenia sąsiednich kręgów.



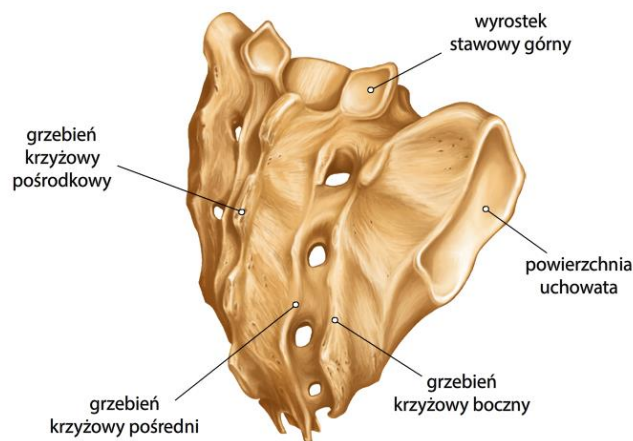
- między kręgami występują dyski międzykręgowe zbudowane z **tkanki chrzęstnej włóknistej** (tak samo jak spojenie łonowe). Nie ma tych krążków między atlasem, a obrotnikiem oraz w kości ogonowej i krzyżowej. Krążki amortyzują, ułatwiają prostowanie, wyginanie kręgosłupa. Wypadnięcie go skutkuje bólem – w łuku kręgu tworzy się **kanal kręgowy**, a tam przebiega silnie unerwiony rdzeń kręgowy, uciskany przez wypadnięty dysk.
- **pozostałe kręgi szyjne** – mają małe trzony, rozwidlone wyrostki z otworami, przez które będą przechodzić tętnice i żyły kręgowe.
- **kręgi piersiowe** są większe od kręgów szyjnych, posiadają wyrostki stawowe i powierzchnie stawowe żeber nazywane **dołkami żebrowymi** (aby je osadzić i utworzyć klatkę piersiową). Wyrostki kolczyste w odcinku piersiowym są skierowane **w dół**, aby odcinek ten nie wyginał się do tego stopnia, żeby uszkadzać narządy.



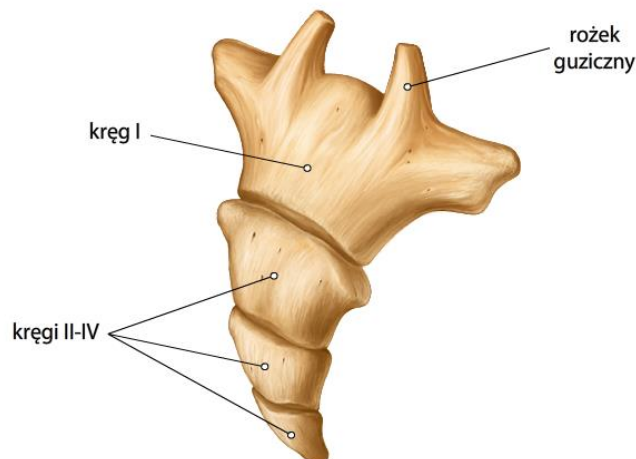
- **kręgi lędźwiowe** mają masywniejszy trzon (są największe), ponieważ muszą utrzymać ciężar górnej partii ciała. Ustawione poziomo wysokie i płaskie wyrostki kolczyste nie ograniczają odginania do tyłu. Wyrostki poprzeczne, nazywane żebrowymi, są cienkie i długie.



- **odcinek krzyżowy** tworzy kość krzyżową (zrosnięte kręgi) – występuje
 - **grzebień pośrodkowy** zbudowany z wyrostków kolczystych.
 - po bokach obecne są **dwa grzebienie boczne** zbudowane z wyrostków poprzecznych.
 - zrosnięte wyrostki stawowe tworzą **grzebień pośredni**. Obecne są powierzchnie stawowe – np. powierzchnie uchowate służą do połączenia z miednicą.

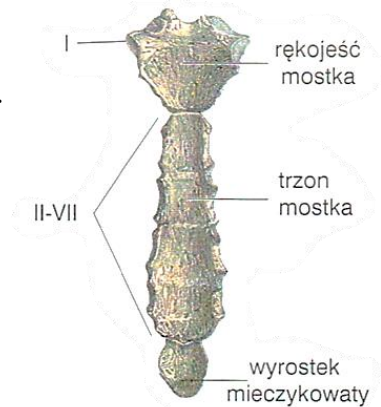
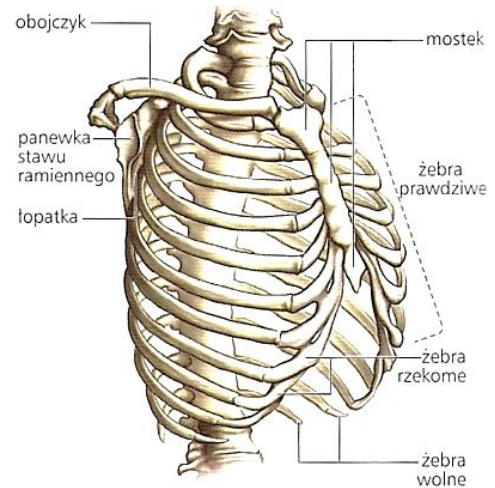


- **odcinek ogonowy** składa się z zredukowanych 4-5 kręgów, które u starszych osób mogą się zrastać w kość guziczną. Rożki guziczne umożliwiają doczepienie do kości krzyżowej. Kręgi składają się z samych trzonów.



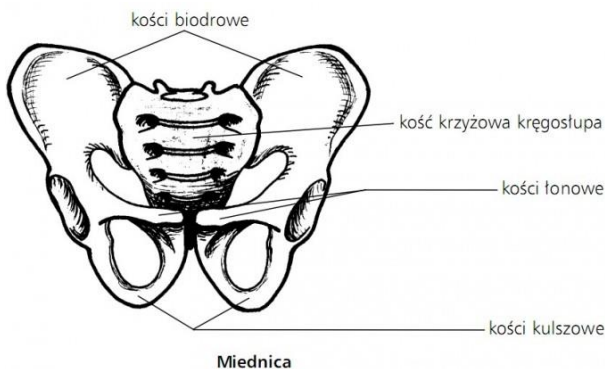
KLATKA PIERSIOWA

- klatka dotyczy odcinka piersiowego – występują w niej mostek i żebra:
 - żebra **prawdziwe** (7 par) – bezpośrednio mocują się do mostka;
 - żebra **rzekome** (3 pary) – łączą się z mostkiem przez chrząstkę siódmej pary żeber;
 - żebra **wolne** (2 pary) – nie mają połączenia z mostkiem, kończą się swobodnie w ścianach jamy brzusznej.
- chrząstka występująca przy żebrach to **chrząstka szklista** (przymostkowe części żeber). – wynika to z konieczności większego zakresu ruchu dla klatki piersiowej przy wdechu.
- mostek posiada w budowie **rękojeść**, **trzon** oraz **wyrostek mieczykowaty**.

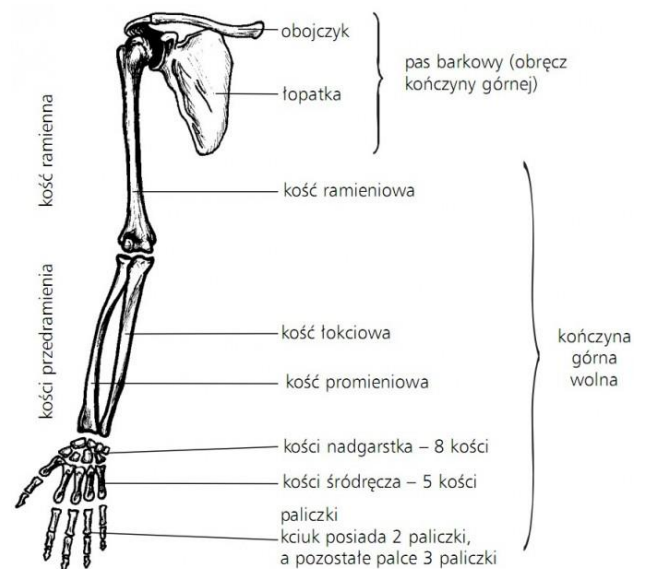


BUDOWA KOŃCZYN I OBRĘCZY

- **kończyna górna** składa się z kości ramieniowej, dwóch kości przedramienia (promieniowej i łokciowej), nadgarstka, śródreżca i palców. Połączona ze szkieletem osiowym jest poprzez obręcz (pas) barkową. Ilość jej kości jest mniejsza niż u np. gadów, bo są zredukowane kości krucze. Występują: **łopatka** (ma panewkę z głową kości ramieniowej), **obojczyk**.
- **kończyna dolna** składa się z kości udowej, dwie kości podudzia – **piszczelową** (goleniową) i **strzałkową**; kości stępu, **śródstopia** i **palców**. Pas miednicowy składa się z kości krzyżowej, guzicznej, dwóch kości miednicowych (kość biodrowa, kulszowa, łonowa) połączonych ze sobą spojeniem łonowym (**tkanka chrzęstna**



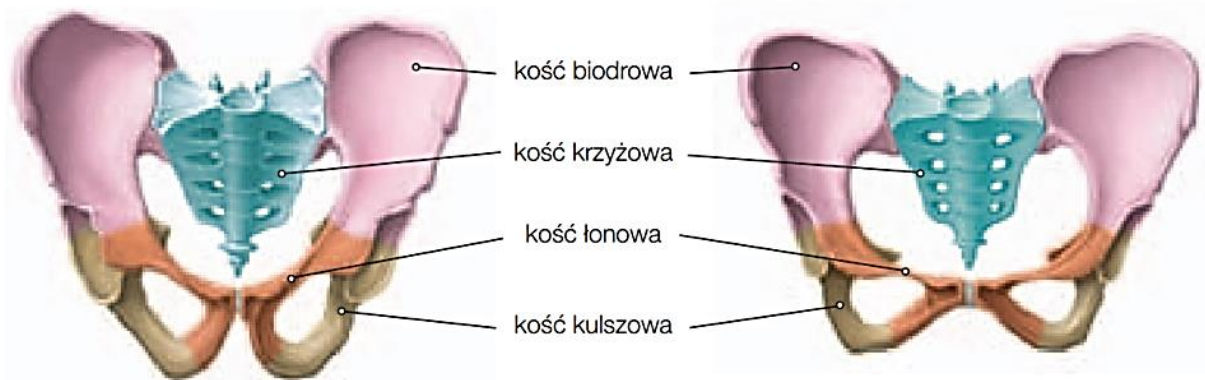
włóknista).



Pas barkowy i kończyna górna

MIEDNICA KOBIETY I MĘŻCZYZNY

- miednica **kobiety** jest niska i szeroka, kości biodrowe są mocno rozchylone na boki, jest duży i owalny otwór górny, cylindryczny kanał i rozwarty kąt między kośćmi łonowymi.
- miednica **mężczyzny** ma wąski, sercowaty otwór górny, lejkowaty kanał i ostry kąt między kośćmi łonowymi.



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

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

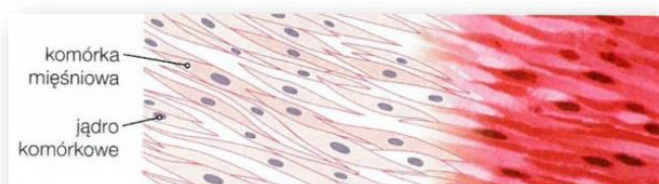
- trzeczki (np. rzepka) – w różnych miejscach ciała mogą występować drobne kostki zwane trzeczkami, włączone w ścięgna lub więzadła. Największą trzeczka człowieka jest znajdująca się w stawie kolanowym rzepka. Trzeczki występujące w ręce znajdują się najczęściej przy pierwszej kości śródreżca.

UKŁAD MIĘŚNIOWY

- wyróżniamy tkankę mięśniową poprzecznie prążkowaną serca, szkieletową i gładką.

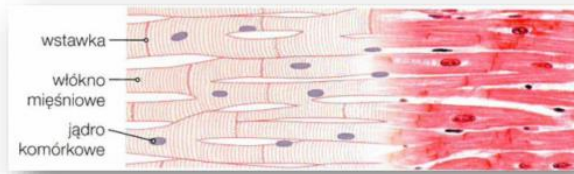
TKANKA MIĘŚNIOWA GŁADKA

- jej komórki wyścielają wewnętrzne narządy (ale nie serce, przeponę i m. międzyżebrowe);
- mają kształt wrzecionowaty i zazwyczaj jedno, centralnie położone jądro komórkowe, mogą jednak być 2 lub 3 jądra;
- obecne są dwa rodzaje filamentów:
 - o **aktynowe** – cieńsze – słabo załamują światło;
 - o **miozynowe** – grubsze – mocniej załamują światło;
- mają o wiele mniej miofilamentów w porównaniu z poprzednimi tkankami i nie są one tak regularnie rozłożone (są raczej chaotycznie rozrzucone w sarkoplazmie – nie są widoczne pod mikroskopem optycznym);
- sarkolemma* – błona komórkowa; *sarkoplazma* – cytoplazma komórki mięśniowej;
- powoli się kurczą, powoli rozkurczają – wolno się męczą;
- ich ruch jest kontrolowany przez autonomiczny (wegetatywny) układ nerwowy.



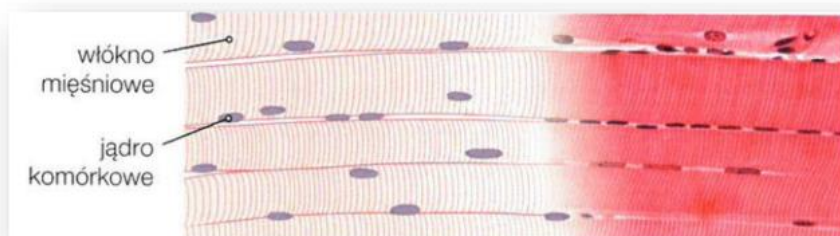
TKANKA MIĘŚNIOWA POPRZECZNIE PRĄŻKOWANA SERCA

- ❑ buduje ona mięsień sercowy, którego skurcze umożliwiają rozprowadzanie krwi po całym organizmie.
- ❑ ich komórki nazywane są **kardiomiocytami**.
- ❑ mają widlasto rozgałęzione końce i jedno lub dwa centralnie położone jądra.
- ❑ obecne są filamenty aktynowe i miozynowe;
- ❑ komórki ich przylegają do siebie, a miejsca styku są widoczne jako tzw. **wstawki**.
- ❑ szybko się kurczą, ale wolniej się męczą → skurcze są słabsze, ale dłuższe.
- ❑ kontrolowane są przez autonomiczny układ nerwowy (a więc ich praca jest niezależna od woli);



TKANKA MIĘŚNIOWA POPRZECZNIE PRĄŻKOWANA SZKIELETOWA

- ❑ jej komórki (*miocyty*) posiadają raczej cylindryczny kształt;
- ❑ z niej zbudowane są mięśnie szkieletowe – zależne od woli (ich pracę kontroluje centralny układ nerwowy);
- ❑ obecne są filamenty aktynowe i miozynowe, które są ułożone **regularnie**, co daje wrażenie prążków. Zachodzą one na siebie.
- ❑ ich komórki posiadają wiele **peryferycznie** położonych jąder (na etapie rozwoju zarodkowego powstawały włókna mięśniowe w wyniku łączenia się pojedynczych jednojądrowych komórek, zwanych mioblastami. Są one *syncytiami (zespółniami)*).
- ❑ szybko się kurczą, ale też szybko się męczą.
- ❑ przykładami są np. mięśnie międzyżebrowe, przepona, mięsień dwugłowy ramienia.



❑ tkanka mięśniowa powstała z listka mezodermalnego, a jej charakterystycznymi cechami są **pobudliwość** (zdolność reagowania na bodźce) oraz **kurczliwość**.

❑ umożliwia wykonywanie ruchów, utrzymanie postawy ciała oraz ma znaczenie termoregulacyjne przez wydzielanie ciepła podczas pracy.

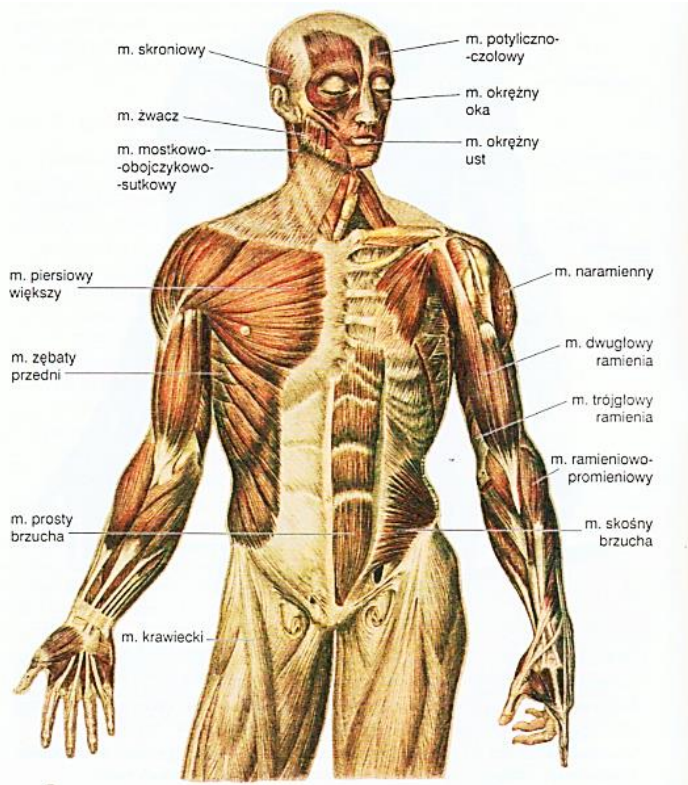
❑ cytoszkielet miocytów zbudowany jest z białek:

o **aktyny** – miofilamenty cienkie,

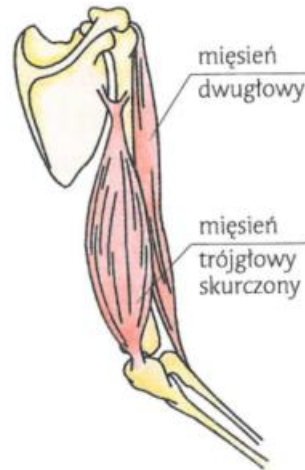
o **miozyny** – miofilamenty grube

PODZIAŁ MIĘŚNI

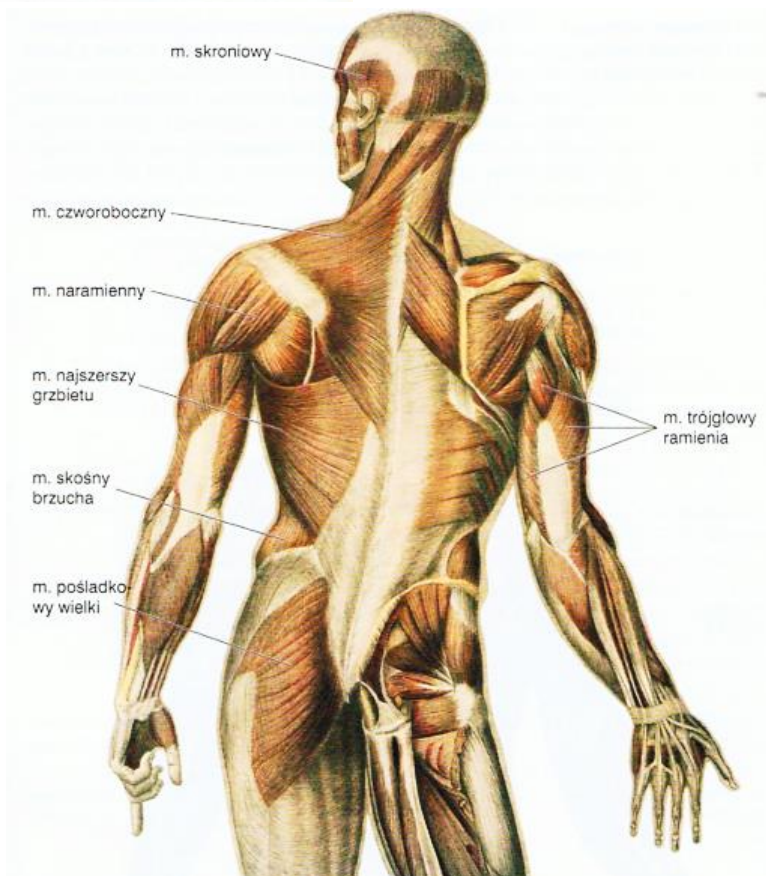
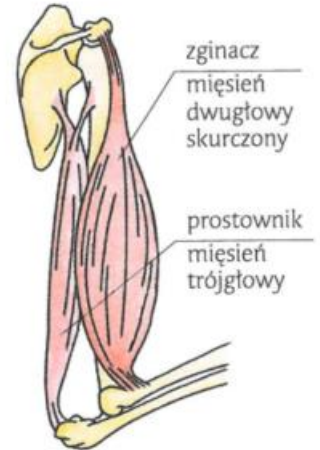
- **ze względu na miejsce występowania** - mięśnie głowy, szyi, klatki piersiowej, brzucha, grzbietu, kończyny górnej i kończyny dolnej.
- **ze względu na kształt:** długie (charakterystyczne dla kończyn), krótkie (np. w kręgosłupie), szerokie (mięśnie brzucha), mieszane (mięśnie okrężne ust).
- **ze względu na funkcje** – zginacze, prostowniki, przywodziciele, odwodziciele, dźwigacze, obniżacze.



a) wyprostowana kończyna górna

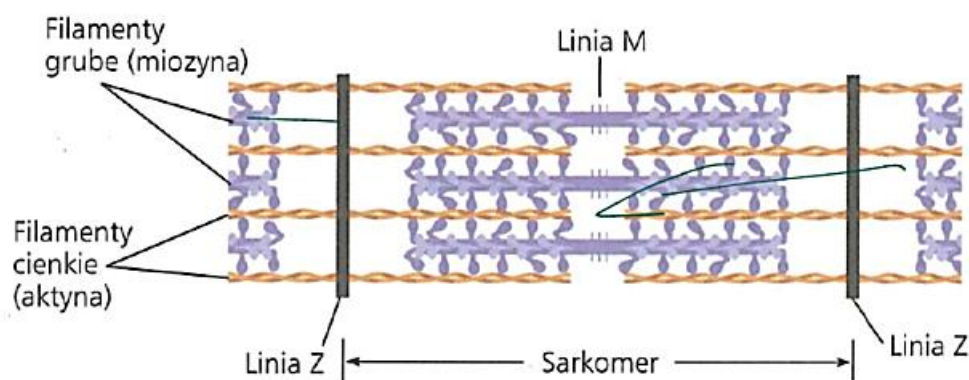


b) zgięta kończyna górna



BUDOWA MIĘŚNIA

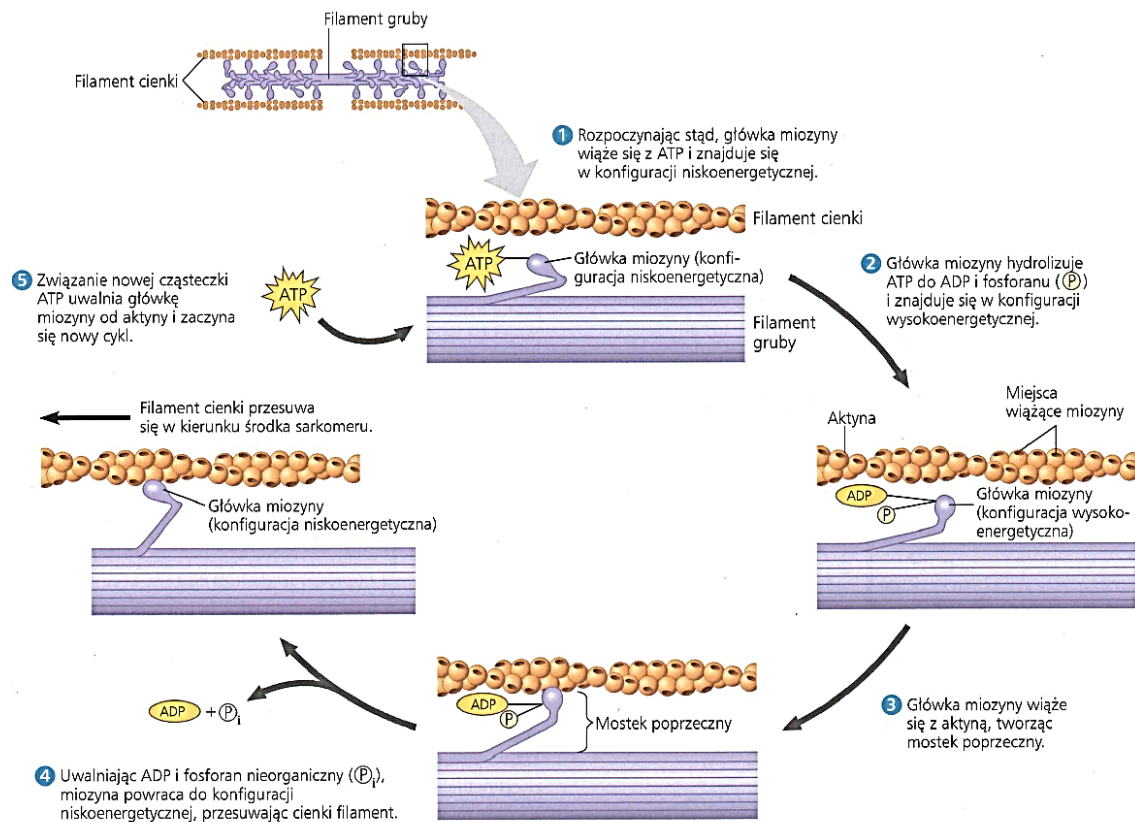
- w budowie mięśnia wyróżniamy ścięgna łączące mięsień ze szkieletem (tkanka łączna włóknista) i brzusiec lub brzuśce (skupienie włókien mięśniowych)
- na poziomie brzuśca mogą znajdować się **głowy** (stąd mięśnie dwugłowe, trójgłowe etc.). Wyróżniamy też mięśnie **dwubrzuścowe** (np. potyliczno-czołowy) połączone ścięgnem pośrednim.
- błona budująca włókna mięśniowe (sarkolemma) tworzy wpuklenia (zwane kanalikami T), pod którymi występuje siateczka sarkoplazmatyczna (gładka).
- podstawową jednostką kurczliwą jest **sarkomer**, znajdujący się między dwoma miejscami **Z**.
 - **sarkomer** obejmuje linię Z (miejsce przyczepu **aktyny**), linię M (miejsce przyczepu **miozyny**). W jego skład wchodzi również prążki jasne (połówki nazywane prążkami I – izotropowymi – słabo załamującymi światło), a prążki ciemne nazywamy prążki **A** (anizotropowymi, które mocno załamują światło).
 - **smuga H** – miejsce niezachodzenia włókien aktynowych na miozynowe.
 - podczas skurczu zmienia się szerokość prążka **I** oraz smugi **H**.



MECHANIZM SKURCZU (OGÓLNY)

- wszystko dzieje się na poziomie synapsy nerwowo-mięśniowej i sarkomerów.
- w wyniku impulsu nerwowego dochodzi do uwolnienia **acetylocholin**y z pęcherzyków (występują synapsy **chemiczne**).
- **acetylocholina** trafia do szczeliny synaptycznej i na receptory znajdujące się na powierzchni błony komórki mięśniowej (sarkolemy).
- **kanalik T** przekazuje impuls nerwowy po włóknie mięśniowej. Następuje uwolnienie jonów Ca^{2+} z siateczki **sarkoplazmatycznej**, co prowadzi do skurczu sarkomeru.

MOLEKULARNY MECHANIZM SKURCZU



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

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.

SKURCZ MIĘŚNIA GŁADKIEGO

- zamiast kanalików T występują jamki; zamiast linii Z są ciała gęste (bo nie ma prążków); brak troponiny – jego odpowiednikiem jest kalmodulina, która fosforylowana aktywuje enzym kinazę MLCK).
- skurcz inicjowany jest przez napływ jonów wapnia do wnętrza komórki, które następnie łączą się z białkiem kalmoduliną
- kompleks **wapń-kalmodulina** łączy się i aktywuje kinazę lekkich łańcuchów miozyny
- kinaza lekkich łańcuchów miozyny dokonuje **fosforylacji lekkich łańcuchów miozyny**, przez co zmienia ich konfigurację przestrzenną, umożliwiając przyłączenia się filamentów aktynowych; następuje skurcz.

PRZEMIANY BIOCHEMICZNE W MIĘŚNIU

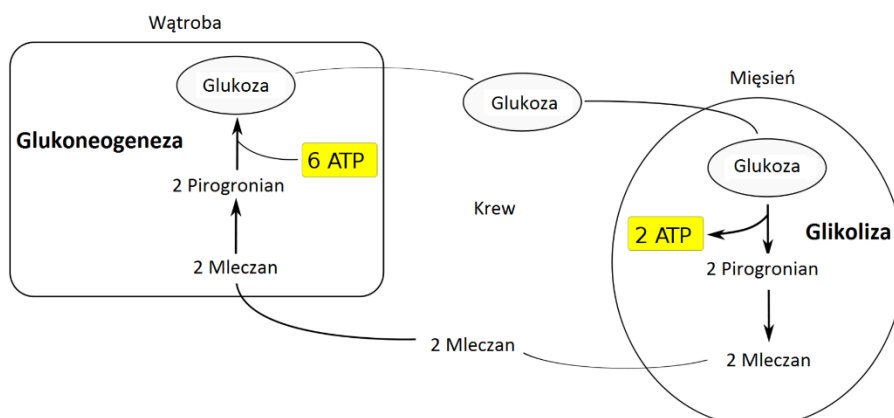
Przemiany biochemiczne zachodzące podczas długotrwałej pracy mięśni

Cecha	Przemiana	Czas pracy mięśnia
Źródła bezpośrednie	1. $\text{ATP} \rightarrow \text{ADP} + \text{Pi} + \text{energia}$	ułamek sekundy
	2. $\text{fosfokreatyna} + \text{ADP} \rightarrow \text{kreatyna} + \text{ATP}$	2–4 s
	3. $\text{glukoza} + \text{ADP} + \text{Pi} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{ATP}$	do kilkunastu minut
Rezerwy	4. $\text{glikogen} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{glukoza}$	do 40 min
	5. $\text{tłuszcze} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{glicerol} + \text{kwasy tłuszczowe}$	do kilku godzin
Zaciąganie długu tlenowego	6. $\text{glukoza} + \text{ADP} + \text{Pi} \rightarrow \text{kwas mlekowy} + \text{ATP}$	po wyczerpaniu zapasów fosfokreatyny i przy niedoborze tlenu

- ☐ Energia potrzebna do wykonania skurczu jest uwalniana w procesie oddychania tlenowego, a w długo i intensywnie pracujących mięśniach – także fermentacji. Głównymi substratami energetycznymi oddychania są:
- **glukoza** – dostarczona z krwią lub pochodząca z rozkładu zmagazynowanego w mięśniach glikogenu.
 - **wolne kwasy tłuszczowe** – wychwytywane z krwi.
- ☐ Krew przynosi także niezbędny tlen, którego część zostaje wykorzystana w procesach oddychania komórkowego, a część, związana przez mioglobinę, stanowi rezerwę tlenową mięśnia. Mimo tego w czasie intensywnej pracy mięśni może wystąpić niedobór tlenu, określany mianem **długu tlenowego**. Wyczerpują się także **zapasy fosfokreatyny**. W warunkach deficytu tlenowego ATP powstaje w procesie fermentacji mlekowej. Wówczas gromadzący się w mięśniach kwas mlekowy **obniża ich pH** (oraz pH sarkoplazmy), co powoduje zmęczenie i ból (*mikrouszkodzenia mięśni zwane zakwasami*). Dług tlenowy zostaje spłacony, gdy mięśnie ponownie otrzymają dostateczną ilość tlenu. W jego obecności ok. 1/5 wytworzonego kwasu ulega rozkładowi do dwutlenku węgla i wody. W procesie tym powstaje również energia, która służy do przekształcenia pozostałych 4/5 kwasu mlekowego w glukozę, a ta z kolei stanowi substrat umożliwiający **odtworzenie rezerw glikogenu**.

CYKL CORICH

- ☐ Cykl Corich (nazywany również cyklem Cori lub cyklem kwasu mlekowego) jest szlakiem przemian metabolicznych polegającym na wykorzystaniu mleczanu (wytworzonego przez mięśnie szkieletowe i eryocyty) do syntezy glukozy w wątrobie, a następnie pobraniu go przez produkujące go komórki.



TYPY WŁÓKIEN MIĘŚNIOWYCH

- ❑ warunkiem prawidłowego funkcjonowania mięśni są ciągłe dostawy cząsteczek ATP. W zależności od sposobu regeneracji tego związku można wyróżnić trzy typy włókien mięśniowych: czerwone, białe i pośrednie.
- ❑ jest to cecha osobnicza oraz zmienia się wraz z aktywnością fizyczną danego człowieka.
- ❑ **włókna czerwone** uzyskują ATP w procesie **oddychania tlenowego**, które zawierają **więcej mioglobiny**. Charakteryzują się powolnym narastaniem siły skurczu i dużą odpornością na zmęczenie (dlatego np. maratończycy mają ich więcej).
- ❑ **włókna białe** uzyskują ATP na drodze **beztlenowej**, zawierają **mniej mioglobiny**, dlatego przyjmują jaśniejszą barwę. Kurczą się szybciej i silniej, ale są od nich mniej wytrzymałe.
- ❑ **włókna pośrednie** mają niektóre cechy przypisywane włóknom czerwonym, a inne włóknom białym.

Porównanie włókien mięśniowych

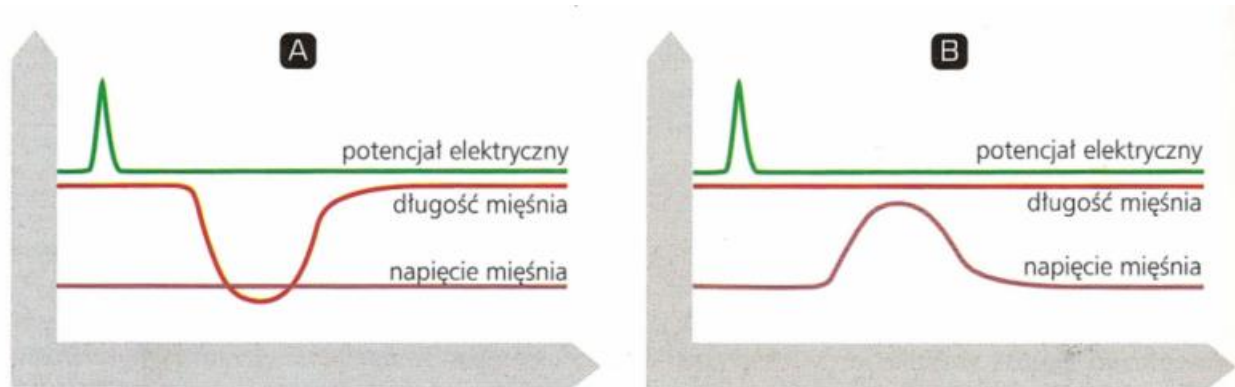
Porównywana cecha	Włókna czerwone (typ I)	Włókna pośrednie (typ II A)	Włókna białe (typ II B)
Pobudzenie przez neurony	stałe	częste	przy maksymalnym wysiłku
Sposób uzyskiwania energii	oddychanie tlenowe	oddychanie tlenowe	procesy beztlenowe
Zawartość mioglobiny	duża	pośrednia	mała
Zawartość glikogenu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

DZIAŁANIE MIĘŚNI

- ❑ **jednostkę motoryczną** stanowi jednostka włókien mięśniowych stymulowanych przez działanie jednego neuronu.
- ❑ **pojedynczy impuls nerwowy inicjuje pojedynczy skurcz włókna mięśniowego**
- ❑ w organizmie w jednej chwili występują skurcze wielu włókien mięśniowych, które nakładają się aż do uzyskania trwałego skurczu tężcowego, który może być:
 - **zupelny** – (stan chorobowy) - bodźce inicjują **skurcz zanim nastąpi jego rozkurcz**, co daje stan ciągłego skurczu.
 - **niezupelny** – (stan fizjologiczny) – bodźce inicjują **skurcz podczas jego rozkurczu**.
- ❑ skurcze mięśni powodują **skracanie mięśni** lub **zwiększenie ich napięcia**, w wyniku czego można wyróżnić:
 - **skurcz izotoniczny (praca dynamiczna)** - skurcz mięśnia, w którym dochodzi do **skrócenia mięśnia**.
 - **skurcz izometryczny (praca statyczna)** – skurcz mięśnia, w którym dochodzi do **zmiany napięcia mięśniowego**.
 - **skurcz auksotoniczny** - skurcz mięśnia, w którym dochodzi do skrócenia mięśnia oraz
 - do zmiany jego napięcia mięśniowego

NAPIĘCIE MIĘŚNI I TONUS

- ❑ Wszystkie mięśnie szkieletowe trwają w stanie ciągłego "pogotowia skurczowego", nazywanego **napięciem stałym** (lub tonusem). Jego utrzymanie jest możliwe dzięki słabym impulsom nerwowym, docierającym do mięśnia za pośrednictwem synaps nerwowo-efektorowych. Tonus ustaje całkowicie w fazie snu REM, w czasie pełnego znieczulenia (np. w trakcie operacji) oraz po śmierci.



26.8. Charakterystyczne cechy skurczu izotonicznego (A) oraz izometrycznego (B) mięśni szkieletowych



Porównaj skurcz izotoniczny i izometryczny mięśnia szkieletowego.