
Fizjologia wykład 1 - 17.10.2025

WPROWADZENIE

Wykład obejmuje podstawowe zagadnienia fizjologii człowieka, ze szczególnym uwzględnieniem homeostazy i jej mechanizmów regulacyjnych. Omówiono organizację materii ożywionej od poziomu komórkowego po układy narządów, z naciskiem na tkankę mięśniową i nerwową. Szczegółowo przedstawiono budowę i funkcjonowanie trzech typów mięśni: szkieletowych, gładkich i sercowego, wraz z mechanizmami skurczu na poziomie molekularnym. Zaprezentowano układ przewodzący serca i jego rolę w automatyzmie pracy serca. Omówiono również podstawy fizjologii tkanki nerwowej, w tym budowę neuronów, przewodzenie impulsów nerwowych i organizację sieci neuronalnych.

NOTATKI

Homeostaza - podstawowe pojęcie fizjologii

Definicja homeostazy

Homeostaza to zdolność organizmu do zachowywania stałości własnego stanu wbrew zaburzeniom powodowanym przez środowisko. Wszystkie części organizmu - od organelli komórkowych, przez pojedyncze komórki, tkanki, aż po całe układy narządów - organizują swoją homeostazę, która jest częścią homeostazy całego organizmu.

Ważne jest zrozumienie, że żaden wskaźnik czynności organizmu nie jest bezwzględnie stały. Nawet jeśli parametr nie jest absolutnie stały, jego wahania mieszczą się w ściśle określonych granicach - mówimy o granicach normy. Te granice mogą się nieznacznie zmieniać z upływem czasu, na przykład wraz z rozwojem organizmu.

Homeoreza - homeostaza krocząca w rozwoju

Homeoreza to homeostaza charakterystyczna dla konkretnego etapu rozwoju. Niektóre parametry biochemiczne będą różne dla dziecka i osoby dorosłej. Parametry hormonalne będą inne dla kobiety w wieku rozrodczym, a zupełnie inne w okresie menopauzy. Na przykład częstość skurczów serca jest znacznie większa u noworodka niż u osoby dorosłej. Dlatego normy medyczne uwzględniają wiek pacjenta.

Zasady utrzymania homeostazy

1. Zasada współdziałania procesów przeciwnych

Polega na równoważeniu wszelkich przyływów i odpływów (wody, ciepła) w organizmie.

Przykład - utrzymanie odpowiedniej ilości wody w organizmie:

- **Przyptywy wody:**

- Wypijane płyny
- Woda w pokarmach
- Woda metaboliczna (powstająca w wyniku procesów biochemicznych, szczególnie katabolicznych)

- **Odpływy wody:**

- Mocz
- Kał
- Parujący pot
- Para wodna w wydychanym powietrzu

Stała zawartość wody w organizmie wynika z równoważenia wszystkich możliwych dopływów z wszelkimi możliwymi odpływami.

2. Zasada ujemnego sprzężenia zwrotnego

Polega na tym, że obniżenie ważnego wskaźnika wywołuje procesy, które zwiększają obniżony wskaźnik. Gdy wskaźnik rośnie, odpowiednie procesy powodują jego obniżenie.

Przykład - regulacja wydzielania kortyzolu:

- Kortyzol (hormon kory nadnerczy) jest wykorzystywany przez komórki, więc jego poziom we krwi się obniża
- Obniżony poziom kortyzolu jest sygnałem dla komórek podwzgórza
- Podwzgórze wydziela kortykoliberynę (hormon uwalniający)
- Kortykoliberyna dociera do przedniego płata przysadki mózgowej
- Przysadka wydziela ACTH (hormon adrenokortykotropowy)
- ACTH pobudza korę nadnerczy do wydzielania kortyzolu
- Stężenie kortyzolu we krwi rośnie
- Wysoki poziom kortyzolu hamuje wydzielanie kortykoliberyny przez podwzgórze

Inny przykład - regulacja poziomu glukozy:

Gdy spada poziom glukozy we krwi, następuje:

- Pobudzenie ośrodka głodu (szukamy pokarmu)
- Wydzielanie glukagonu (mobilizuje glikogen wątrobowy, podnosząc poziom glukozy)

Dodatnie sprzężenie zwrotne - rzadsze w warunkach fizjologicznych, ale występuje:

-
- Wydzielanie estrogenów w pewnych fazach cyklu miesięcznego
 - Wydzielanie enzymów w przewodzie pokarmowym

3. Zjawisko przedziałowości homeostazy

W różnych częściach ciała homeostaza może być zachowywana z różną dokładnością. Narządem najbardziej wrażliwym na wahania jest układ nerwowy, szczególnie mózgowie, które nie znosi:

- Przekłódzenia
- Przegrzania
- Niedotlenienia
- Niedoboru glukozy

Mózg niedotleniony, niedocukrzony, przegrzany lub przekłódzony może się wyłączyć, co objawia się utratą przytomności i bezbronnością organizmu.

Inne narządy (pracujące mięśnie, przewód pokarmowy) mogą znosić chwilowe niedobory lub nadmiary substancji w zdecydowanie lepszy sposób.

Przykład - białe krwinki:

Białe krwinki uczestniczące w obronie organizmu przed bakteriami, wirusami i jadami są skazane na utratę homeostazy i śmierć komórkową, lecz dzięki ich śmierci przeżywają komórki całego ciała.

Wniosek: Homeostaza w jednej części organizmu może być poświęcona, aby jej kosztem utrzymać homeostazę w części bardziej wrażliwej i ważniejszej dla przeżycia.

4. Punkt nastawienia homeostazy

Punkt nastawienia to wartość średnia, najkorzystniejsza dla organizmu, wokół której oscylują wartości parametrów fizjologicznych.

Przykłady punktów nastawienia:

- **Glukoza we krwi:** 80-100 mg/100 ml osocza
- **Temperatura w dołku pachowym:** około 36,5°C
- **Temperatura wewnętrzna ciała:** 37,2-37,6°C
- **Erytrocyty:** około 4,5 miliona w 1 mm³ krwi (wartość średnia, nie dokładna)

Czynności fizjologiczne wahają się okresowo - na przykład praca serca zwiększa się podczas biegu, uwaga słabnie w miarę zmęczenia. Wahania te zawsze odbywają się wokół wartości średniej, najczęstszej i zarazem najkorzystniejszej dla organizmu.

Poziomy organizacji materiiżywionej

Materia żywiona organizuje się hierarchicznie:

1. **Cząsteczki biopolimerów** (poziom makromolekularny)
2. **Elementy komórkowe** (organelle)
3. **Komórki**
4. **Tkanki**
5. **Narządy**
6. **Układy narządów**
7. **Organizm**

Komórka - budowa i funkcje

Charakterystyka ogólna komórek

Komórki różnią się wielkością i kształtem, co zależy od pełnionej funkcji:

- Przeciętna wielkość: kilka mikrometrów ($1\ \mu\text{m} = 10^{-6}\ \text{m}$)
- Największa komórka u człowieka: komórka jajowa (około $100\ \mu\text{m}$)
- Rekordzista w świecie zwierząt: jajo strusie (średnica do 30 cm)

Kształty komórek są bardzo różnorodne: kuliste, prostokątne, rzecionowate, gwiaździste (jak neurony). Kształt komórki jest ściśle związany z pełnioną funkcją i miejscem występowania.

Błona komórkowa

Błona komórkowa to struktura białkowo-lipidowa, która:

- Chroni przed rozproszeniem zawartości komórki
- Jest wysoce selektywnie przepuszczalna
- Bierze udział w komunikacji (poprzez receptory na powierzchni)
- Może zmieniać przepuszczalność po bodźcu

Kanały jonowe w błonie komórkowej

Obecnie odkryto ponad 100 różnych typów kanałów jonowych. Różnią się:

- Selektywnością jonową (typ jonów, których przepływ umożliwiają)
- Typem bramkowania (warunki wpływające na otwieranie i zamykanie)

Trzy podstawowe typy kanałów:

1. Kanały bramkowane napięciem:

- Otwierają się i zamykają w zależności od potencjału błony komórkowej
- Zawierają czujniki potencjału (naładowane elektrycznie fragmenty białka)
- Reagują na zmiany pola elektrycznego w błonie
- Zmiana konformacji białka kanałowego otwiera kanał
- Umożliwiają szybki napływ jonów (np. sodu) do wnętrza komórki

- Powodują depolaryzację błony komórkowej
- Przykłady: kanały dla jonów potasu, sodu, wapnia

1. Kanały bramkowane ligandem:

- Ligand to substancja zdolna do swoistego wiązania się z receptorem
- Ligandy mogą być zewnątrzkomórkowe lub wewnątrzkomórkowe
- Receptor połączony bezpośrednio z kanałem
- Gdy ligand (pasujący jak klucz do zamka) połączy się z receptorem, kanał się otwiera
- Umożliwia wypływ lub napływ substancji
- Ligand może być agonistą (aktywuje receptor) lub antagonistą (blokuje receptor)

1. Kanały aktywowane przez stres (mechaniczne):

- Otwierają się pod wpływem pobudzenia mechanicznego
- Przykład: komórki rzęsaty w narządzie Cortiego (ucho wewnętrzne)
- Fala akustyczna (drgania mechaniczne) otwiera te kanały
- Wpływ jonów do komórek rzęsatych powoduje ich pobudzenie
- Jeśli pobudzenie przekroczy siłę bodźca progowego, rozprzestrzenia się wzdłuż nerwu słuchowego

Transport przez błony biologiczne

Transport bierny:

- Odbywa się zgodnie z gradientem stężeń lub gradientem elektrochemicznym
- Nie wymaga energii
- Typy:
 - Dyfuzja prosta (substancje lipidowe przez dwuwarstwę lipidową)
 - Transport przez kanał
 - Transport przez nośnik (ułatwiony)

Transport aktywny:

- Odbywa się wbrew gradientowi stężeń
- Wymaga energii z ATP
- Wymaga przenośnika (białka transportującego)
- Przykład: pompa sodowo-potasowa

Fagocytoza i pinocytoza

Fagocytoza (pochłanianie dużych cząstek):

- Dotyczy dużych cząstek, fragmentów komórek, drobnoustrojów
- Błona komórkowa ulega wpukleniu i zamyka substancję w pęcherzyku fagocytarnym (fagosomie)

-
- Fagosome łączy się z lizosomem (zawierającym enzymy trawienne), tworząc fagolizosom
 - Zawartość ulega strawieniu
 - Niestrawione resztki są usuwane z komórki

Znaczenie fizjologiczne fagocytozy:

- Usuwanie patogenów (bakterii, wirusów)
- Usuwanie martwych komórek
- Udział w odpowiedzi immunologicznej
- Fagocyty (np. neutrofile) rozpoznają, pochłaniają i trawią ciała obce
- Usuwanie pozostałości po apoptozie (genetycznie zaprogramowanej śmierci komórki)

Pinocytoza (pochłanianie płynów i małych cząsteczek):

- Dotyczy bardzo małych cząsteczek lub płynów
- Błona tworzy mniejsze wpuklenia
- Substancje zamykane w pęcherzykach pinocytarnych
- Zawartość może być trawiona lub transportowana do innej części komórki

Znaczenie fizjologiczne pinocytozy:

- Pobieranie składników odżywczych z płynów otaczających komórkę
- Transport immunoglobulin i białek z krwi do mleka matki w gruczole mlecznym
- Noworodek otrzymuje z mlekiem matki czynniki odpornościowe
- U niemowląt: wchłanianie całych białek (np. przeciwciał) z mleka matki przed dojrzaniem układu trawienego
- U dorosłych: pobieranie witamin, niektórych leków

Cytozol (cytoplazma podstawowa)

Cytozol to płynna zawartość komórki, w której zanurzone są organelle komórkowe:

- Półpłynna koloidalna substancja
- Zapewnia komórce odpowiednią lepkość, sztywność, wytrzymałość
- Skład:
 - Woda: około 75%
 - Białka: do 20%
 - Związki tłuszczowe
 - Związki węglowodanowe
 - Sole mineralne
 - Witaminy
 - Rozpuszczone gazy
 - Wtręty cytoplazmatyczne (pigmenty, twory krystaliczne)

-
- Substraty, enzymy, produkty przemian metabolicznych

Charakterystyczna cecha cytozolu:

Zdolność do odwracalnych zmian stanu uwodnienia. Ze względu na obecność białek, cytozol jest koloidem i może przyjmować:

- Postać płynną - **zol**
- Postać bardziej stałą - **żel**

Przemiany między stanami:

- **Koagulacja** - przejście zolu w żel
- **Peptyzacja (solwatacja)** - przejście żelu w zol
- **Denaturacja** - nieodwracalna koagulacja (stan patologiczny)

Organelle komórkowe

Jądro komórkowe

Budowa jądra:

- W komórkach człowieka zazwyczaj jedno jądro, umieszczone centralnie
- Wyjątki:
- Wiele peryferyjnych jąder: komórki mięśni szkieletowych
- Brak jądra: dojrzałe erytrocyty (utrata jądra umożliwia wypełnienie komórki hemoglobina do transportu tlenu)

Kształt jąder:

- Najczęściej kuliste lub kulistopodobne
- Soczewkowate, wydłużone (komórki mięśnia gładkiego)
- Płatowate (granulocyty)

Otoczka jądrowa:

- Podwójna błona jądrowa (błona zewnętrzna i wewnętrzna)
- Pory jądrowe umożliwiają wymianę substancji między jądrem a cytoplazmą
- Błona zewnętrzna może być szorstka (rybosomy na powierzchni)

Zawartość jądra:

- **Kariolimfa** - płyn wypełniający wnętrze jądra, zawiera białka i enzymy
- **Chromatyna** - materiał genetyczny w postaci:
- *Heterochromatyna* - wysoki stopień skondensowania, nieaktywna transkrypcyjnie
- *Euchromatyna* - luźna, zawiera odcinki kodujące, aktywna transkrypcyjnie (tu zachodzi transkrypcja)

Transkrypcja i translacja - przypomnienie:

- **Transkrypcja** - przepisywanie informacji genetycznej z DNA na mRNA (w jądrze)
- mRNA wędruje przez pory jądrowe do cytoplazmy
- **Translacja** - tłumaczenie informacji z mRNA na sekwencję aminokwasów w białku (w rybosomach)

Jąderko:

- Struktura nieobłoniona w jądrze
- Widoczna tylko w interfazie (między podziałami komórki)
- Może występować pojedynczo lub w większej liczbie (nie więcej niż liczba chromosomów z rejonami organizującymi jąderko)
- U człowieka: 5 par takich chromosomów, więc maksymalnie 10 jąderek
- Funkcja: synteza prekursorowego rybosomowego RNA (rRNA)

Mitochondria

Budowa:

- Podłużne lub okrągłe organelle
- Otoczone podwójną błoną (zewnętrzna i wewnętrzna)
- Przestrzeń międzybłonowa między błonami
- Wewnętrzna błona pofałdowana, tworzy grzebienie mitochondrialne
- Na grzebieniach: oksysomy ("grzybki mitochondrialne") - miejsca fosforylacji oksydacyjnej, gdzie powstaje ATP
- Między grzebieniami: matryks mitochondrialna (tu zachodzi cykl Krebsa)

Liczba mitochondriów zależy od rodzaju komórki:

- Najmniejsza: plemniki (24 mitochondria)
- Komórki wątroby (hepatocyty): ponad 1000
- Komórki mięśniowe, kanalików nerkowych: kilka tysięcy
- **Zasada:** Im bardziej aktywne metabolicznie komórki, tym więcej mitochondriów

Mitochondria posiadają własny DNA (DNA mitochondrialny):

- Wiele cech człowieka zależy od DNA mitochondrialnego
- Cechy te najczęściej dziedziczymy po matce

Rybosomy

Budowa:

- Kompleksy zbudowane z rybosomowego RNA (rRNA) i białek
- Składają się z dwóch podjednostek:
- Duża podjednostka: 60S (S = stała sedymentacji Svedberga)

-
- Mała podjednostka: 40S
 - (U prokariotów inne wartości)

Funkcja:

- Miejsce biosyntezy białka
- Uczestniczą w procesie translacji

Lokalizacja:

- Pojedynczo w cytozolu
- Związane z retikulum endoplazmatycznym szorstkimi (na powierzchni błon)

Retikulum endoplazmatyczne (siateczka śródplazmatyczna)

Funkcja ogólna:

- Błony tworzą rozległą sieć cystern (przedziałów)
- Umożliwiają zachodzenie różnych procesów biochemicznych w bliskim sąsiedztwie
- Stanowią barierę mechaniczną oddzielającą środowiska, dzięki czemu procesy nie zakłócają się nawzajem

Retikulum endoplazmatyczne gładkie (REG):

- Brak rybosomów na powierzchni
- Funkcje:
- Synteza i przemiana węglowodanów
- Synteza lipidów
- Synteza hormonów steroidowych
- **Detoksykacja** szkodliwych metabolitów i ksenobiotyków (substancji obcych)
- Intensywne procesy detoksykacji w komórkach wątroby
- W komórkach mięśni szkieletowych: **siateczka sarkoplazmatyczna**
- Specjalne zbiorniki gromadzące jony wapnia
- Wapń niezbędny w mechanizmie skurczu mięśniowego

Retikulum endoplazmatyczne szorstkie (RES):

- Rybosomy na powierzchni
- Funkcje:
- Intensywna biosynteza białka
- Szczególnie obfite w komórkach wytwarzających białko wydzielnicze (np. trzustka)
- Modyfikacje potranslacyjne białek (przyłączanie grup cukrowych, lipidowych)

Aparat Golgiego

Budowa:

- Układ cystern zwany **diktiosomem**
- Przypomina stos talerzy ułożonych dnem do góry
- Wokół liczne pęcherzyki
- Dwa bieguny:
 - **Strefa cis** - strefa syntezy
 - **Strefa trans** - strefa dojrzewania

Funkcje:

- Modyfikowanie struktury białek
- Segregacja białek
- Wydzielanie białek
- Synteza glikoprotein, glikolipoprotein

Proces:

1. Białka z RES wędrują w pęcherzykach do strefy cis
2. W aparacie Golgiego białka podlegają dalszej obróbce:
 - Glikozylacja
 - Segregacja
 - Zagęszczanie (usuwanie wody)
3. Produkty przechodzą do strefy trans
4. Gotowy produkt wydzielniczy odrywa się w pęcherzykach
5. Po sortowaniu jest przenoszony do innych części komórki

System szczególnie rozbudowany w komórkach sekrecyjnych (wydzielniczych).

Lizosomy

Budowa:

- Niewielkie struktury otoczone pojedynczą błoną
- Powstają w RES, modyfikowane w aparacie Golgiego

Typy:

- **Lizosomy pierwotne** - zawierają enzymy, ale nie wykazują aktywności hydrolitycznej
- **Lizosomy wtórne** - powstają po połączeniu lizosomu pierwotnego z materiałem do strawienia, enzymy są aktywne

Funkcje:

- Zawierają enzymy trawienne (hydrolityczne)
- Trawienie odbywa się wewnątrz lizosomu

- Enzymy nie mogą opuścić wnętrza (gdyby tak się stało → samostrawienie komórki)

Sytuacje fizjologiczne, gdy lizosomy opróżniają zawartość na zewnątrz:

- **Osteoklasty** (komórki kościogubne) - przebudowa kości podczas rozwoju
- Gojenie ran

Akrosomy - wyspecjalizowana forma lizosomów:

- Zlokalizowane w "czapeczce" plemników
- Funkcja: penetracja komórki jajowej
- Enzymy rozpuszczają błony komórki jajowej, umożliwiając zapłodnienie

Schorzenia związane z lizosomami:

- Wrodzone zaniki mięśniowe - związane z nadaktywnością lizosomów

Tkanki

Definicja tkanki:

Tkanka to zespół komórek o:

- Jednakowym pochodzeniu (z tego samego listka zarodkowego: ektoderma, endoderma, mezoderma)
- Jednakowym typie przemiany materii

Podział tkanek według kryterium strukturalno-czynnościowego:

1. Tkanki nabłonkowe
2. Tkanki łączne i podporowe
3. Tkanka mięśniowa
4. Tkanka nerwowa

Narządy:

- Części ciała zajmujące określone położenie
- Mające określony kształt
- Zbudowane z różnych tkanek
- Przystosowane do pełnienia charakterystycznych czynności

Układy narządów:

- Zespoły stanowiące całość anatomiczną i czynnościową
- Współpracują w skoordynowany sposób
- Przykład: układ pokarmowy (żołądek, wątroba, jelita, trzustka)

Tkanka nabłonkowa

Charakterystyka ogólna:

- Komórki bardzo ściśle do siebie przylegają
- Bardzo mało istoty międzykomórkowej
- Komórki mogą zachodzić na siebie
- Kontakt między komórkami przez specjalne złącza (desmosomy)

Podział nabłonków:

Ze względu na liczbę warstw:

- Nabłonki jednowarstwowe
- Nabłonki wielowarstwowe

Ze względu na kształt komórek:

- Płaskie
- Sześciennie
- Walcowate

Funkcje nabłonków:

- Transport (wydzielanie, wchłanianie)
- Ochrona

Tkanki łączne i podporowe

Charakterystyka ogólna:

- W odróżnieniu od nabłonków: **duża ilość substancji międzykomórkowej**
- W substancji międzykomórkowej: włókna (kolagenowe, elastynowe, retikulinowe)

Przykłady tkanek łącznych:

- **Krew** - klasyczny przykład tkanki łącznej
- Osocze = istota międzykomórkowa
- Elementy morfotyczne: leukocyty, erytrocyty, trombocyty
- Tkanka tłuszczowa
- Tkanka kostna
- Tkanka chrzęstna

Bardzo zróżnicowana grupa pod względem morfologicznym, ale łączy je znaczna ilość substancji międzykomórkowej.

Tkanka mięśniowa

Charakterystyka ogólna:

- Zbudowana z miocytów (komórek mięśniowych = włókien mięśniowych)
- Tkanka kurczliwa - reaguje pobudzeniem na działające bodźce
- Zazwyczaj kurczy się pod wpływem pobudzenia z układu nerwowego
- Wyjątek: układ przewodzący serca (automatyzm serca)

Podział tkanki mięśniowej:

1. Tkanka mięśniowa poprzecznie prążkowana szkieletowa
2. Tkanka mięśniowa poprzecznie prążkowana serca
3. Tkanka mięśniowa gładka

Poprzeczne prążkowanie:

- Widoczne dopiero pod mikroskopem
- Wynika ze specjalnego układu białek (miozyna i aktyna)
- Białka różnie załamują światło → jasne i ciemne prążki
- Mięśnie gładkie nie mają regularnego układu białek → brak prążkowania

Mięśnie szkieletowe

Budowa komórek:

- Wydłużone, cylindryczne komórki
- Liczne jądra na obwodzie (komórki wielojądrzaste)
- Wnętrze wypełnia sarkoplazma
- Zawierają miofibrylle (elementy kurczliwe)

Sarkomer - podstawowa jednostka strukturalno-czynnościowa:

Budowa sarkomeru:

- Sarkomer = fragment między dwiema liniami Z
- Dwa podstawowe białka:
 - **Miozyna** (kolor czerwony na schematach) - białko wielkocząsteczkowe
 - **Aktyna** (kolor ciemniejszy) - białko niskocząsteczkowe
- Nitki aktyny i miozyny ułożone równolegle do siebie i do długiej osi włókna
- Każdą nitkę miozyny otacza 6 nitek aktyny (układ heksagonalny)

Prążki w sarkomerze:

- **Prążek A (anizotropowy)** - ciemny, podwójnie załamuje światło
- Zawiera miozynę
- Miejsca, gdzie aktyna zachodzi na miozynę (najciemniejsze)

- Środek: sama miozyna (nieco jaśniejszy)
- **Prążek I (izotropowy)** - jasny, pojedynczo załamuje światło
- Zawiera tylko aktyne
- **Strefa H** - środek sarkomeru, tylko miozyna (bez zachodzenia aktyny)

Białka regulacyjne:

- **Troponina** - składa się z trzech podjednostek:
- Podjednostka I - łączy się z aktyną
- Podjednostka C - łączy się z jonami wapnia (bardzo ważna!)
- Podjednostka T - łączy się z tropomiozyną
- **Tropomiozyna** - oplata aktyne jak sznurek

Mechanizm skurczu mięśnia szkieletowego (teoria skurczu ślizgowego):

Stan spoczynkowy:

- Tropomiozyna blokuje miejsca uchwytu między miozyną a aktyną
- Skurcz niemożliwy

Proces skurczu:

1. Jony wapnia (z siateczki sarkoplazmatycznej) pojawiają się w otoczeniu sarkomeru
2. Wapń łączy się z podjednostką C troponiny
3. Następuje zmiana konformacji tropomiozyny
4. Tropomiozyna przesuwa się, odsłaniając miejsca wiązania
5. Głowy miozyny (mające aktywność ATPazową) chwytają aktyne
6. Rozkład ATP dostarcza energii
7. Nitki aktyny wsuwają się między nitki miozyny
8. Sarkomer się skraca

Zmiany w sarkomerze podczas skurczu:

- Szerokość prążka A - **nie zmienia się**
- Szerokość prążka I - **zmniejsza się**
- Szerokość strefy H - **zmniejsza się**

Te zmiany dowodzą wsuwania się nitek aktyny między nitki miozyny.

Sprężenie elektromechaniczne:

Proces łączący pobudzenie elektryczne z mechanicznym skurczem mięśnia.

Źródło jonów wapnia w mięśniach szkieletowych:

- Wyłącznie z siateczki sarkoplazmatycznej (magazyny wewnątrzkomórkowe)

-
- W odróżnieniu od mięśni gładkich i sercowego, gdzie wapń pochodzi też z zewnątrz komórki

Typy włókien mięśniowych według metabolizmu:

1. Włókna ST (Slow Twitch) - wolnokurczliwe, czerwone:

- Praca w warunkach tlenowych
- Procesy utleniania w mitochondriach (fosforylacja oksydacyjna)
- Bardzo dobrze zaopatrzone w mitochondria
- Mała szybkość skurczu
- **Bardzo mała podatność na zmęczenie - wytrzymałe**
- Bogate w mioglobinę (magazyn tlenu, zawiera żelazo Fe^{2+})
- Dobre unaczynienie → ciemniejsze zabarwienie

1. Włókna FTB (Fast Twitch B) - szybkokurczliwe, białe:

- Praca w warunkach beztlenowych
- Oparta na glikolizie
- Mniej mitochondriów
- Mniej mioglobiny
- Słabsze unaczynienie → jaśniejsze zabarwienie
- Duża szybkość skurczu
- **Duża podatność na zmęczenie**

1. Włókna FTA (Fast Twitch A) - przejściowe, czerwone:

- Możliwe procesy tlenowe i beztlenowe
- Średnia podatność na zmęczenie
- Średnia siła i szybkość skurczu

Jednostka motoryczna:

Jednostka motoryczna = jeden neuron ruchowy + wszystkie włókna mięśniowe przez niego unerwione

Rozbudowanie jednostek motorycznych:

- **Mięśnie siłowe** (np. mięśnie grzbietu, utrzymujące postawę):
 - 1 neuron unerwia około 200 komórek mięśniowych
 - Mniej precyzyjne, ale silne
- **Mięśnie precyzyjne** (np. mięśnie gałki ocznej):
 - 1 neuron unerwia około 10 komórek mięśniowych
 - Więcej jednostek motorycznych, ale mniej rozbudowanych
 - Bardzo precyzyjna kontrola

Zasada: Mięśnie pracujące precyzyjnie kontrolowane są przez znaczną liczbę komórek nerwowych, a jednostki motoryczne są mniej rozbudowane.

Czynniki wpływające na siłę skurczu mięśniowego:

1. Stopień wstępnego rozciągnięcia komórek mięśniowych

- Im bardziej rozciągnięte, tym większa siła skurczu

1. Częstotliwość pobudzeń nerwowych

- Im większa częstość impulsacji, tym większa siła skurczu

1. Liczba zrekrutowanych jednostek motorycznych

- Im więcej jednostek motorycznych zaangażowanych, tym większa siła skurczu

Rodzaje skurczu według sumowania:

1. Skurcze pojedyncze:

- Skurcz → rozkurcz → przerwa → skurcz → rozkurcz
- W warunkach fizjologicznych tylko w mięśniu sercowym
- W mięśniach szkieletowych niemożliwe do wykonania wysiłku

1. Skurcze tężcowe niezupełne:

- Kolejne pobudzenie trafia w fazie rozkurczu
- Mięsień nie rozkurcza się całkowicie
- Pojawia się "korona" na wykresie
- **Charakter fizjologiczny - tak pracują mięśnie szkieletowe przez większość czasu**

1. Skurcze tężcowe zupełne:

- Kolejne pobudzenie trafia przed rozpoczęciem rozkurczu
- Brak fazy rozkurczu
- Prosta linia na wykresie
- Bardzo wymagające energetycznie
- Szybko prowadzą do zmęczenia
- W warunkach naturalnych bardzo rzadkie

Sytuacje ze skurczami tężcowymi zupełnymi:

Fizjologiczne (rzadkie):

- Utrzymywanie postawy przez długi czas (mięśnie posturalne)
- Intensywne dźwiganie bardzo dużych ciężarów (maksymalny wysiłek)
- Silny stres, ekstremalne pobudzenie (mięśnie karku, barków → ból, sztywność)

Patologiczne:

-
- **Tężec** (infekcja Clostridium tetani)
 - Neurotoksyna: tetanospazmina
 - Blokuje neuroprzekaźniki hamujące (GABA - kwas gamma-aminomasłowy)
 - Objawy:
 - Szczękościsk (bolesny skurcz mięśni żuchwy, niemożność otwarcia ust)
 - "Uśmiech sardoniczny" (nienaturalny skurcz mięśni twarzy)
 - Skurcze mięśni całego ciała
 - Problemy z oddychaniem
 - Profilaktyka: szczepionka przeciwężcowa
 - **Stężenie pośmiertne (rigor mortis):**
 - Związane z wyczerpaniem ATP w komórkach mięśniowych
 - Pojawia się 2-6 godzin po śmierci
 - Szczyt po około 12 godzinach
 - Ustępuje po 3-4 dniach
 - Znaczenie w medycynie sądowej:
 - Ustalanie czasu śmierci
 - Temperatura wpływa na szybkość (chłód - wolniej, ciepło - szybciej)
 - Weryfikacja pozycji ciała (czy było przenoszone)

Rodzaje skurczu według zmian długości i napięcia:

1. Skurcz izotoniczny (iso = stały, tonus = napięcie):

- Stałe napięcie, zmienia się długość włókien

a) Koncentryczny:

- Mięsień się skraca, przyczepy zbliżają się
- Przykłady:
- Wstawanie z krzesła (mięśnie czworogłowe uda)
- Skok w górę (mięśnie łydek)

b) Ekscentryczny:

- Mięsień się wydłuża, ale pozostaje napięty
- Przykłady:
- Schodzenie po schodach (kontrola zginania kolan, hamowanie grawitacji)
- Lądowanie po skoku (amortyzacja uderzenia)

1. Skurcz izometryczny:

- Zwiększenie napięcia bez zmiany długości
- Przykłady:
- Utrzymywanie pozycji ciała

-
- Trzymanie ciężaru na określonej wysokości

1. **Skurcz auksotoniczny (mieszany):**

- Ma komponent izotoniczny i izometryczny
- **W praktyce większość wysiłków fizycznych to skurcze auksotoniczne**
- Nie ma czystych skurczów izometrycznych ani czysto izotonicznych w warunkach naturalnych

Skutki długotrwałego unieruchomienia mięśni:

Przyczyny:

- Unieruchomienie kończyny w gipsie
- Długie leżenie w łóżku
- Brak aktywności fizycznej

Konsekwencje:

1. **Zanik mięśni (atrofia):**

- Zmniejszenie syntezy białek mięśniowych
- Mięśnie stają się mniejsze i słabsze
- Najszybciej zanikają włókna wolnokurczliwe (odpowiedzialne za wytrzymałość)
- Spadek siły i wytrzymałości
- Utrata masy: 3-5% na tydzień
- Po kilku tygodniach osłabienie nawet o 50%

1. **Zaburzenia w układzie nerwowo-mięśniowym:**

- Osłabienie połączeń nerwowo-mięśniowych
- Utrudnienie skurczów

1. **Zmniejszenie elastyczności:**

- Sztywność mięśni
- Zmniejszenie ilości płynu stawowego
- Przykurcze
- Problemy z poruszaniem się

1. **Zmniejszenie gęstości kości:**

- Brak obciążenia mięśni
- Zwiększone ryzyko osteoporozy i złamań

Przeciwdziałanie:

- Rehabilitacja, terapia ruchowa
- Wczesna mobilizacja (jeśli stan pacjenta pozwala)
- Dieta bogata w białko, witaminę D, wapń, kwasy omega-3

- Masaże
- Elektrostymulacja mięśniowa (impulsy elektryczne stymulują mięśnie, zmniejszają zanik)

Mięśnie gładkie

Budowa komórek:

- Kształt wrzecionowaty
- Jedno jądro umieszczone centralnie
- Brak poprzecznego prążkowania (nazwa: mięśnie "gładkie")
- Układ białek (miozyna i aktyna) mniej regularny
- Zawartość białek kurczliwych: tylko 10% (w porównaniu z mięśniami poprzecznie prążkowanymi)
- Mniej miozyny niż w mięśniach poprzecznie prążkowanych
- Zamiast linii Z: **ciałka gęste**
- **Brak troponiny** - w zamian występuje **kalmodulina** (białko wiążące jony wapnia)

Podział mięśni gładkich:

Według lokalizacji:

- Mięśnie naczyniowe (ściany naczyń krwionośnych)
- Mięśnie pokarmowe (przewód pokarmowy, pęcherzyk żółciowy)
- Mięśnie moczowe (pęcherz, moczowody)
- Mięśnie oddechowe (drogi oddechowe)
- Mięśnie rozrodcze (macica i inne struktury)
- Mięśnie oczne (gałka oczna)

Według wzorca skurczu:

1. Mięśnie fazowe:

- Kurczą się i rozkurczają tylko okresowo, gdy jest potrzeba
- Przykład: mięśnie przełyku (pracują tylko podczas przełykania)

1. Mięśnie toniczne:

- Zawsze utrzymują pewien stan napięcia mięśniowego
- Przykłady: zwieracze (przełyku, pęcherza moczowego, odbytnicy)
- Pozostają pod toniczną kontrolą układu nerwowego
- Zwiększają napięcie po pobudzeniu

Według komunikacji między komórkami:

1. Mięśnie gładkie jednostkowe:

- Wszystkie włókna pracują jak jedna całość
- Elektrycznie połączone przez złącza szczelinowe
- Pobudzenie łatwo przenosi się z komórki na komórkę
- Kurczą się jako skoordynowana jednostka
- Przykład: większość mięśni trzewnych (przewód pokarmowy)
- Cały narząd pracuje synchronicznie
- Siła skurczu zależy od ilości wapnia napływającego do komórki (nie od rekrutacji jednostek)

1. Mięśnie gładkie wielojednostkowe:

- Komórki nie są elektrycznie połączone
- Każda komórka musi być pobudzana niezależnie
- Większy udział układu autonomicznego (więcej zakończeń nerwowych)
- Przykłady: mięśnie tęczówki, mięśnie włosów

1. Mięśnie pośrednie:

- Występują w małych i średnich naczyniach krwionośnych
- Mają cechy obu typów

Przykład przemiany typu mięśnia - macica:

- Przez większość czasu: mięsień wielojednostkowy
- Ostatni etap ciąży: staje się mięśniem jednostkowym
- Mechanizm:
- Pod wpływem hormonów następuje synteza białek złączy szczelinowych
- Powstają połączenia między komórkami
- Synchronizacja sygnałów elektrycznych
- Bardziej efektywne kurczenie się podczas porodu
- Nasilone skurcze umożliwiają poród

Mechanizm skurczu mięśnia gładkiego:

Źródła jonów wapnia:

- Siateczka sarkoplazmatyczna (magazyny wewnątrzkomórkowe)
- **Środowisko zewnątrzkomórkowe** (przez kanały wapniowe w błonie) - różnica od mięśni szkieletowych!

Proces skurczu:

1. Po pobudzeniu jony wapnia dostają się do cytoplazmy
2. Wapń łączy się z **kalmoduliną** (nie z troponiną!)
3. Powstaje kompleks wapń-kalmodulina

4. Kompleks uaktywnia interakcję między miozyną a aktyną
5. Przesuwanie się nitek aktyny względem miozyny (mniej regularne niż w sarkomerach)
6. Skurcz mięśnia

Rozkurcz:

- Wapń jest wyłapywany z powrotem
- Połączenia między aktyną i miozyną zanikają
- Mięsień wraca do stanu spoczynkowego

Kontrola mięśni gładkich:

- Praca niezależna od woli
- Kontrola przez układ autonomiczny (współczulny i przywspółczulny)

Mięsień sercowy

Budowa komórek:

- Komórki mają poprzeczne prążkowanie (jak mięśnie szkieletowe)
- Jedno jądro umieszczone centralnie (jak mięśnie gładkie)
- **Wstawki** - pozazębiane błonki między komórkami
- Zawierają desmosomy (ściśle złącza międzykomórkowe)
- Umożliwiają łatwe przenoszenie pobudzenia z komórki na komórkę
- Pobudzenie obejmuje wszystkie komórki mięśnia sercowego

Charakterystyka pracy:

- Najbardziej obciążony pracą mięsień organizmu
- Rozpoczyna pracę w okresie prenatalnym
- Kończy w chwili śmierci
- Działa bez odpoczynku
- Pracuje na bazie **skurczów pojedynczych** (skurcz → rozkurcz → przerwa)

Układ przewodzący serca:

Specjalna tkanka odpowiedzialna za automatyzm serca (zdolność do samodzielnego generowania pobudzeń).

Elementy układu przewodzącego:

1. Węzeł zatokowo-przedsionkowy (SA):

- Leży przy ujściu żyły głównej górnej do prawego przedsionka
- **Pierwszorzędowy ośrodek automatyzmu** (rozrusznik serca)
- Komórki pobudzają się z największą częstotliwością

-
- Rytm: 60-120/min (w spoczynku około 72/min)
 - Narzuca rytm całemu sercu

1. Węzeł przedsionkowo-komorowy (AV):

- Leży między przedsionkami a komorami
- **Drugorzędowy ośrodek automatyzmu**
- Komórki pobudzają się z mniejszą częstotliwością niż węzeł SA

1. Pęczek przedsionkowo-komorowy (pęczek Hisa):

- **Trzeciorzędowy ośrodek automatyzmu**
- Dzieli się na prawą i lewą odnogę
- Odnogi przekazują pobudzenie do prawej i lewej komory
- Włókna Purkinjego - końcowe rozgałęzienia przewodzące pobudzenie do mięśnia roboczego komór

Potencjał czynnościowy mięśnia komór (komórek roboczych):

Fazy potencjału czynnościowego:

- **Potencjał spoczynkowy:** -90 mV
- **Wartość progowa:** -65 mV

Faza 0 - Depolaryzacja:

- Otwarcie kanałów sodowych
- Szybki napływ jonów Na^+ do wnętrza komórki
- Wnętrze staje się elektrododatnie
- Szczyt potencjału: wartości dodatnie

Faza 1 - Wstępna repolaryzacja:

- Zamknięcie kanałów sodowych
- Częściowa repolaryzacja do około 0 mV
- Trwa kilka milisekund

Faza 2 - Plateau (faza plateau):

- Otwarcie kanałów wapniowych
- Napływ jonów Ca^{2+} do komórki
- Kanały potasowe jeszcze zamknięte
- Utrzymanie depolaryzacji na stałym poziomie
- Charakterystyczna dla mięśnia sercowego

Faza 3 - Repolaryzacja:

- Zamknięcie kanałów wapniowych

- Otwarcie kanałów potasowych
- Wypływ jonów K^+ z komórki
- Powrót do wartości ujemnych

Faza 4 - Potencjał spoczynkowy:

- Przywrócenie rozkładu jonów
- Pompa sodowo-potasowa:
- Wyrzuca Na^+ na zewnątrz (wymaga ATP)
- Wprowadza K^+ do środka
- Przywrócenie stanu spoczynkowego (-90 mV)

Potencjał czynnościowy węzła zatokowo-przedsionkowego:

Kluczowa różnica: **brak stałej wartości potencjału spoczynkowego**

Powolna spoczynkowa depolaryzacja:

- Po repolaryzacji pojawia się linia wznosząca (nie płaska)
- Powolny napływ jonów Ca^{2+} do komórki
- Stopniowa depolaryzacja
- Po osiągnięciu wartości progowej → automatyczne wyzwolenie kolejnego pobudzenia
- **To jest podstawa automatyzmu serca**
- Nie wymaga pobudzenia z zewnątrz

Sekwencja pobudzenia w sercu:

1. Węzeł SA generuje pobudzenie (powolna spoczynkowa depolaryzacja)
2. Pobudzenie rozprzestrzenia się w przedsionkach
3. Dociera do węzła AV drogami międzywęzłowymi
4. Przechodzi przez pęczek Hisa
5. Odnogi pęczka Hisa przewodzą do komór
6. Włókna Purkiniego rozprzestrzeniają pobudzenie w komorach
7. Fala depolaryzacji rozprzestrzenia się od koniuszka ku górze

Źródła jonów wapnia w mięśniu sercowym:

- Siateczka sarkoplazmatyczna (magazyny wewnątrzkomórkowe)
- **Środowisko zewnątrzkomórkowe** (przez kanały wapniowe)
- Podobnie jak w mięśniach gładkich, inaczej niż w szkieletowych

Usuwanie wapnia po skurczu:

- Wapń wewnątrzkomórkowy → wyłapywany do siateczki sarkoplazmatycznej
- Wapń zewnątrzkomórkowy → wyrzucany na zewnątrz przez antyport Na^+/Ca^{2+}

-
- Wapń na zewnątrz, sód do środka
 - Sód następnie wyrzucany przez pompę sodowo-potasową (Na^+/K^+ -ATPaza)
 - Potas wprowadzany do środka

Mechanizm skurczu:

- Podobny do mięśni szkieletowych
- Sarkomery zbudowane z aktyny i miozyny
- Troponina (nie kalmodulina jak w mięśniach gładkich)
- Teoria skurczu ślizgowego
- Wapń wiąże się z troponiną C
- Odślonięcie miejsc wiązania na aktynie
- Wsuwanie nitek aktyny między nitki miozyny

Zapis EKG a potencjały czynnościowe:

- Załamek P - depolaryzacja przedsionków (skurcz przedsionków)
- Zespół QRS - depolaryzacja komór (skurcz komór)
- Załamek T - repolaryzacja komór (rozkurcz komór)

Porównanie trzech typów mięśni:

Szybkość skurczu i rozkurczu:

- Najwolniej: mięśnie gładkie (np. żołądek, jelita)
- Średnio: mięsień sercowy
- Najszybciej: mięśnie szkieletowe

Tkanka nerwowa

Budowa tkanki nerwowej:

- Komórki nerwowe (neurony)
- Komórki glejowe (wspomagające)

Typy neuronów według liczby wypustek:

1. Neurony jednobiegunowe (unipolarne):

- Jedna wypustka (akson)
- Brak dendrytów
- Występują głównie w zarodkach

1. Neurony dwubiegunowe (bipolarne):

- Dwie wypustki: jeden dendryt i jeden akson
- Przykład: komórki w siatkówce oka

1. Neurony pseudounipolarne (rzekomo jednobiegunowe):

- Wygląda jakby jedna wypustka
- W pewnej odległości od ciała rozdziela się na dwie:
- Dendryt (prowadzi do ciała komórki)
- Akson (prowadzi od ciała komórki)
- Przykład: zwoje międzykręgowe u człowieka

1. Neurony wielobiegunowe (multipolarne):

- Wiele dendrytów
- Jeden długi akson
- Najbardziej typowe dla układu nerwowego

Kierunek przewodzenia informacji:

Kierunek ortodromowy (prawidłowy):

- Od dendrytów → przez ciało komórki → do zakończenia aksonu
- Zawsze w tym kierunku w warunkach fizjologicznych

Budowa neuronu:

- **Dendryty** - krótkie wypustki odbierające sygnały
- **Ciało komórki** - zawiera jądro i organelle
- **Akson** - długa wypustka przewodząca sygnały
- **Oślonka mielinowa** - izolator na aksonie
- Nie pokrywa ciągle
- **Przewężenia Ranviera** - miejsca bez osłonki
- Impuls "przeskakuje" z przewężenia do przewężenia
- Bardzo szybkie przewodzenie (do 150 m/s)
- **Zakończenie aksonu** - buławkowato rozszerzone
- Tworzą się tu synapsy (miejsca styku z innymi komórkami)
- Pęcherzyki synaptyczne zawierające neuroprzekazniki

Produkcja i transport neuroprzekazników:

- Neuroprzekazniki i neuromodulatory produkowane w ciele komórki
- Organelle zaangażowane: rybosomy, RES, aparat Golgiego
- Transport wzdłuż aksonu do zakończenia
- Magazynowanie w pęcherzykach synaptycznych
- Uwalnianie do szczeliny synaptycznej po dotarciu impulsu

Klasyfikacja czynnościowa neuronów:

1. Neurony czuciowe (afferentne, dośrodkowe):

-
- Przewodzą informację od receptorów do ośrodkowego układu nerwowego
 - Receptory mogą być:
 - We wnętrzu ciała (proprioreceptory, interoreceptory)
 - W powłokach skórnych (eksteroreceptory)
 - Niektóre mają osłonkę mielinową (szybkie), inne nie (wolne)

1. **Neurony ruchowe (eferentne, odśrodkowe):**

- Przewodzą informację od ośrodków w OUN do efektorów
- Efektory:
- Mięśnie poprzecznie prążkowane
- Mięśnie gładkie
- Mięsień sercowy

1. **Interneurony (neurony pośredniczące, wstawkowe):**

- Między neuronami czuciowymi a ruchowymi
- Bardzo szeroka gama typów
- Różnorodne kształty
- Różny stopień rozbudowania dendrytów

Pule neuronalne:

- Neurony funkcjonują w wielkich zespołach
- Tysiące lub miliony interneuronów zaangażowanych w określoną funkcję
- Przykłady funkcji:
- Regulacja siły skurczu mięśnia
- Kontrola lokomocji
- Kontrola rytmu oddechowego
- Odbiór wrażeń wzrokowych, słuchowych, węchowych

Organizacja sieci neuronalnych:

1. **Dywergencja (rozbieżność):**

- Informacja od jednego neuronu rozprzestrzenia się na wiele innych
- Jeden neuron → wiele zakończeń aksonu → wiele komórek docelowych
- Te komórki przekazują dalej → dalsze rozprzestrzenianie

Znaczenie dywergencji:

- **Wzmocnienie sygnału** - jeden impuls aktywuje wiele neuronów
- **Całościowa reakcja organizmu** - aktywacja różnych ośrodków jednocześnie
- Przykład: reakcja walki lub ucieczki (aktywacja wielu efektorów)
- **Równoczesne odczuwanie i reagowanie** - możemy czuć bodziec i jednocześnie na niego odpowiadać

-
- **Plastyczność neuronalna** - tworzenie nowych połączeń, podstawa uczenia się i zapamiętywania

1. **Konwergencja (zbieżność):**

- Informacja z wielu neuronów zbierana na jednym neuronie
- Wiele neuronów → jeden neuron docelowy

Znaczenie konwergencji:

- **Integracja informacji sensorycznych** - scalanie sygnałów z różnych receptorów
- Przykład: neurony w korze mózgowej otrzymują sygnały czuciowe, wzrokowe, słuchowe
- **Skoordynowana reakcja na wielozmysłowe bodźce**
- Lepsza orientacja w przestrzeni (widzimy i słyszymy jednocześnie)

1. **Pętla zwrotna:**

- Sygnał przekazywany przez neurony wraca do pierwotnej struktury
- Niekoniecznie tą samą drogą
- Podobne do ujemnego sprzężenia zwrotnego (ale w kontekście neuronalnym)

Przykład - kontrola ruchu przez mózdzek:

- Kora mózgowa wysyła instrukcje ruchu do:
- Rdzenia kręgowego → mięśnie
- Mózdżku (szczegóły planowanego ruchu)
- Rdzeń otrzymuje informację z mięśni o wykonanym ruchu
- Rdzeń przekazuje do mózdzku informację o faktycznym ruchu
- **Mózdzek jako komparator:**
- Porównuje ruch zadany z ruchem wykonanym
- Wysyła zwrótnie informacje do kory mózgowej
- Jeśli ruch wymaga korekcji → kora wysyła nowe instrukcje
- Pętla zwrotna umożliwia precyzyjną kontrolę i korektę ruchów

Podział włókien nerwowych według szybkości przewodzenia:

Dwa systemy klasyfikacji:

1. Erlanger i Gasser (nagroda Nobla 1944)
2. Lloyd i Hunt

Czynniki wpływające na szybkość przewodzenia:

1. **Średnica włókna:**

- Większa średnica → mniejsza oporność aksooplazmy → szybsze przewodzenie

- Zakres: 0,3-20 μm
- Zależność proporcjonalna: większa średnica = większa szybkość

1. Obecność mieliny:

- Włókna mielinowe przewodzą skokowo (od przewężenia do przewężenia)
- Włókna niemyelinowe przewodzą wolniej
- Efekty się sumują: duża średnica + mielina = bardzo szybkie przewodzenie

Klasyfikacja Erlangera i Gassera:

Włókna typu A (mielinowe, duża średnica):

- Podtypy: A α , A β , A γ , A δ
- Średnica: 1-20 μm
- Szybkość: 5-120 m/s (maksymalnie do 150 m/s)
- Funkcja: głównie czuciowe i ruchowe
- Wrażliwość na niedotlenienie: duża (++++)
- Wrażliwość na znieczulenie: różna w podtypach

Włókna typu B (mielinowe, średnia średnica):

- Średnica: 1-3 μm
- Szybkość: 3-15 m/s
- Funkcja: autonomiczne przedzwojowe
- Średnia wrażliwość na niedotlenienie

Włókna typu C (niemyelinowe, mała średnica):

- Podtypy: C (somatyczne) i C (autonomiczne)
- Średnica: 0,3-1,3 μm
- Szybkość: 0,5-2 m/s (bardzo wolno!)
- Funkcja: czucie bólu, temperatury; włókna autonomiczne pozazwojowe
- Mniejsza wrażliwość na niedotlenienie niż typ A
- Różna wrażliwość na znieczulenie

Wnioski praktyczne:

- Włókna mielinowe o dużej średnicy: bardzo szybkie, ale bardzo wrażliwe na niedotlenienie
- Włókna niemyelinowe o małej średnicy: bardzo wolne, mniej wrażliwe na niedotlenienie
- Różna wrażliwość na środki znieczulające - znaczenie w anestezjologii
- Różne włókna przewodzą różne rodzaje czucia (dotyk, ból, temperatura, propriocepcja)
