

Nowe techniki i technologie dla medycyny

Czyność bioelektryczna Organizmu ludzkiego

Dr inż. Marta Kamińska

Zakład Biofizyki IIM

Układ nerwowy

Układ nerwowy zapewnia łączność organizmu ze światem zewnętrznym, zespala układy w jedną całość, sprawując jednocześnie nad nim kontrolę.

Układ nerwowy

Układ nerwowy człowieka łączy narządy czuciowe (receptory) z mięśniami i gruczołami (efektory). Z chwilą pobudzenia receptora następuje właściwa reakcja odpowiedniego efektora.

Układ nerwowy spełnia dwie podstawowe funkcje: przewodzenia impulsów i integrację czynności poszczególnych części ciała.

Podział układu nerwowego

Istnieją dwa podziały układu nerwowego:
topograficzny i czynnościowy

W podziale topograficznym układ nerwowy dzielimy na:

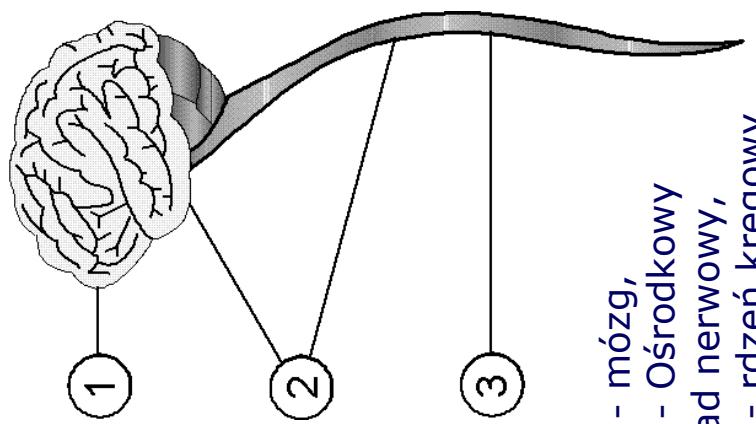
- układ nerwowy ośrodkowy
- układ nerwowy obwodowy

W podziale czynnościowym układ nerwowy dzielimy na:

- układ nerwowy somatyczny, którego efektorami są mięśnie poprzecznie prążkowane
- układ nerwowy autonomiczny, którego efektorami są mięśnie gładkie, mięsień sercowy i gruczoły

Układ nerwowy ośrodkowy

Do ośrodkowego układu nerwowego zalicza się mózgowie i rdzeń kręgowy.



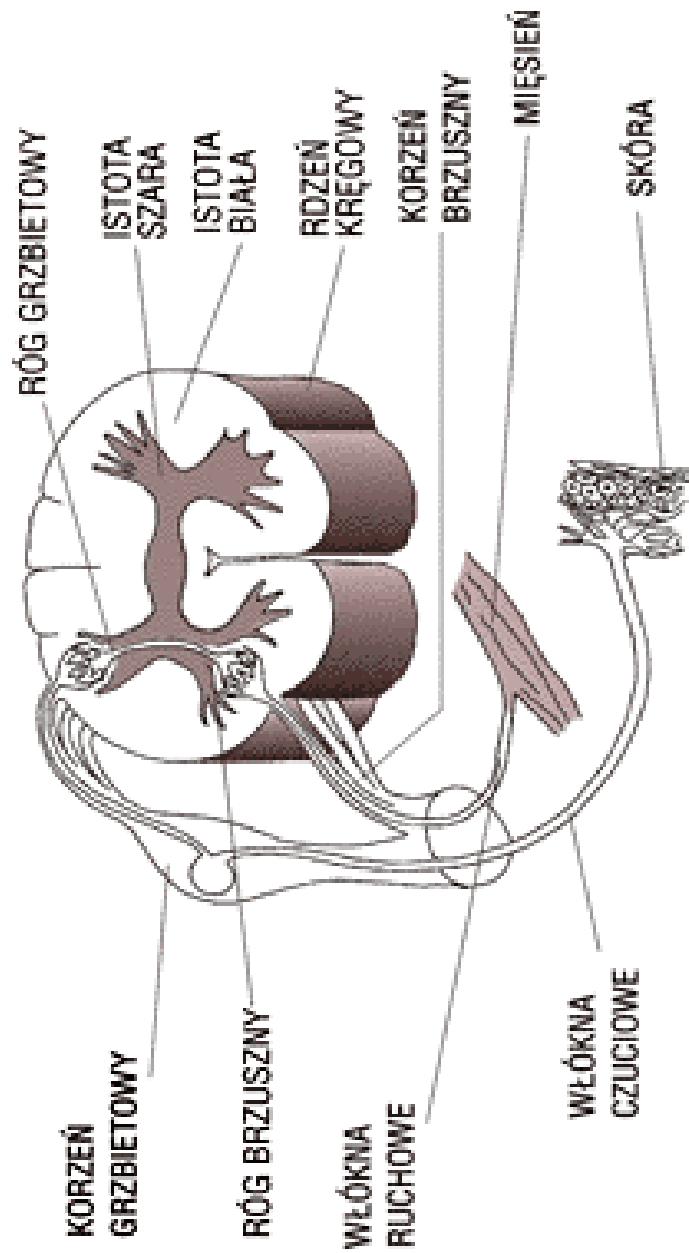
Rdzeń kręgowy jest otoczony i osłonięty przez kanał kostny łuków rdzeniowych kręgów. Spełnia dwie zasadnicze funkcje: przewodzi impulsy z mózgu i do mózgu oraz jest ośrodkiem odruchów.

Mózg jest rozszerzonym przednim końcem rdzenia. Średnia masa mózgowia u mężczyzn wynosi 1375-1405 g a u kobiet 1245-1275 g. Różnice w masie wynikają z mniejszej przeciętnej masy kobiet.

- (1) - mózg,
- (2) - Ośrodkowy układ nerwowy,
- (3) - rdzeń kręgowy.

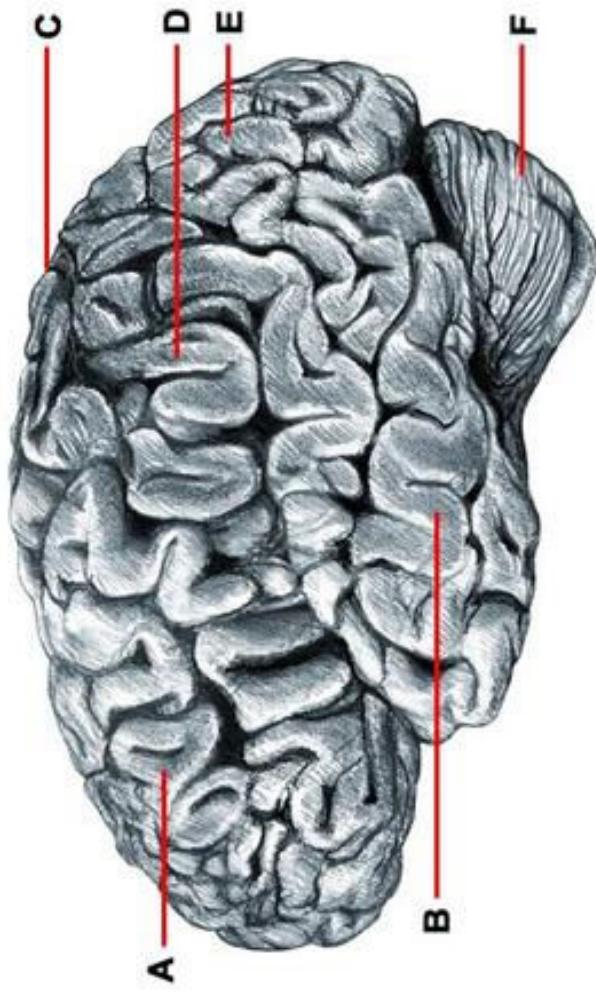
Układ nerwowy ośrodkowy

Rdzeń kręgowy



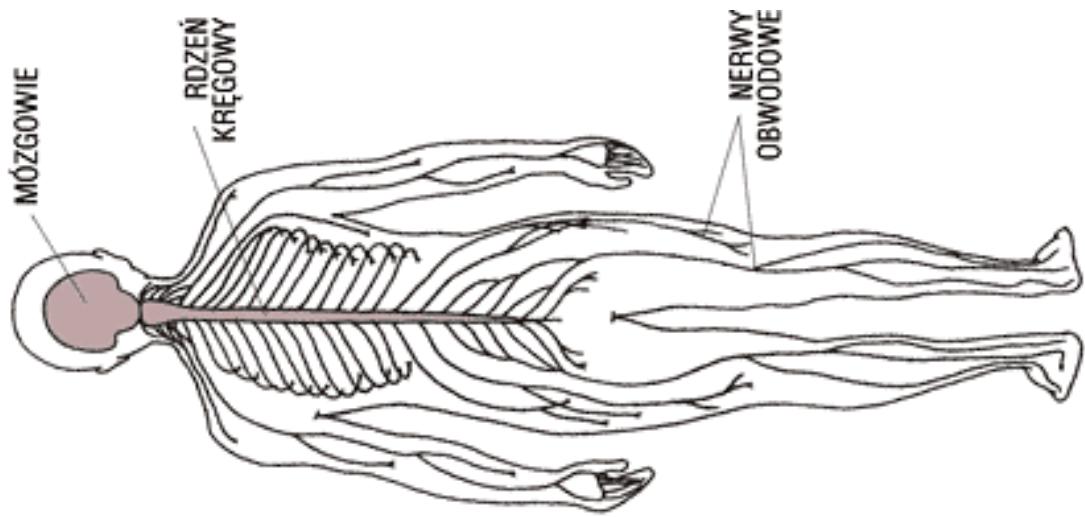
Układ nerwowy ośrodkowy

Móżgowie



A - płat czoloowy, B - płat skroniowy, C - bruzda Rolanda, D - płat ciemieniowy, E - płat potyliczny, F - mózdzek

Układ nerwowy obwodowy



Z mózgu i rdzenia wychodzą parzyste nerwy mózgowe i rdzeniowe, które łączą wszystkie рецепторы i efektorzy z mózgiem i rdzeniem tworząc **układ nerwowy obwodowy**.

Podział układu nerwowego

Istnieją dwa podziały układu nerwowego:
topograficzny i czynnościowy

W podziale topograficznym układ nerwowy dzielimy na:

- układ nerwowy ośrodkowy
- układ nerwowy obwodowy

W podziale czynnościowym układ nerwowy dzielimy na:

- układ nerwowy somatyczny, którego efektorami są mięśnie poprzecznie prążkowane
- układ nerwowy autonomiczny, którego efektorami są mięśnie gładkie, mięsień sercowy i gruczoły

Układ nerwowy somatyczny

W obrębie somatycznego układu nerwowego wyróżnia się:

- układ **piramidowy** kierujący wykonywaniem ruchów świadomych
- układ **pozapiramidowy** kierujący wykonywaniem ruchów zautomatyzowanych i regulujący napięcie mięśni. Bierze on udział w utrzymaniu prawidłowej postawy ciała.

Układ nerwowy autonomiczny

Serce, płuca, przewód pokarmowy i inne narządy wewnętrzne są umerwione przez specjalny zespół nerwów obwodowych, noszących wspólną nazwę **autonomicznego układu nerwowego**

Układ ten składa się z:

- układu **sympatycznego** (współczulnego)
- układu **parasympatycznego** (przywspółczulnego)

Układ nerwowy autonomiczny różni się od reszty układu nerwowego. Nie podlega pełnej kontroli mózgu; nie możemy bowiem dowolnie zmieniać szybkości tężna serca albo ruchów mięśni, żołądka czy jelit. Inną ważną cechą tego układu jest *podwójne umerwienie* każdego narządu wewnętrznego przez włókna sympatyczne i parasympatyczne. Oba te układy działają zwykle antagonistycznie. Jeśli jeden wzmagą aktywność to drugi zmniejsza ją.

Tkanka nerwowa

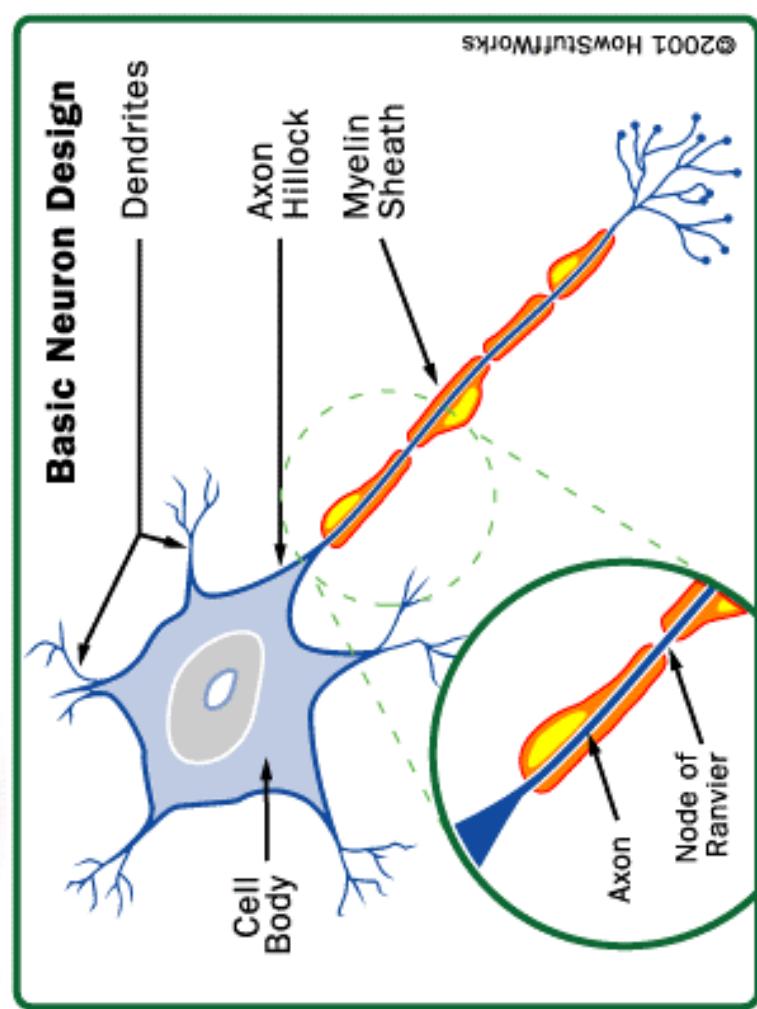
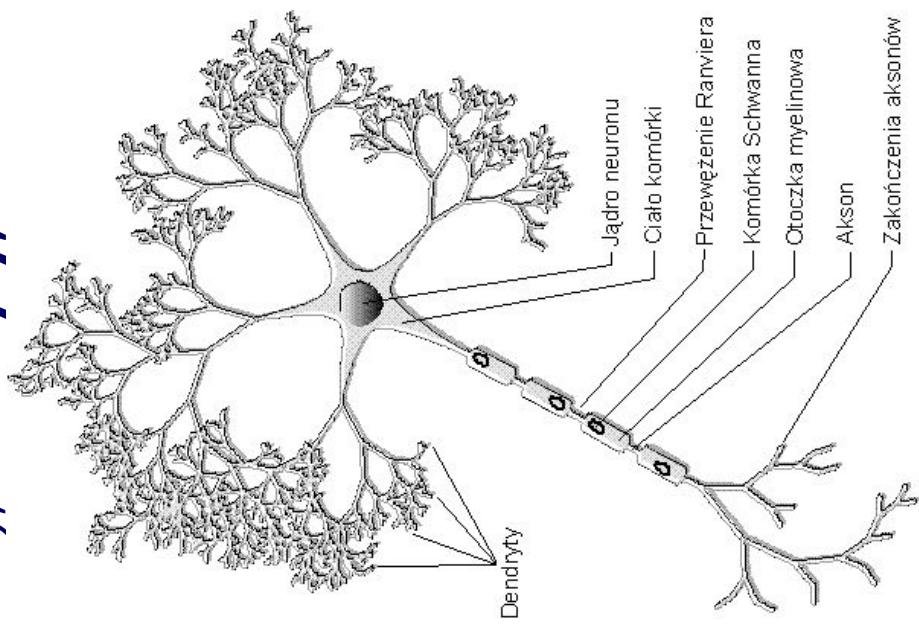
Podstawową jednostką strukturalną i funkcjonalną tkanki nerwowej jest **komórka nerwowa – neuron**.

W organizmie ludzkim występuje ok. 14-15 miliardów neuronów rozmieszczonych w ośrodkowym i obwodowym układzie nerwowym. Oprócz komórek nerwowych w skład tkanki nerwowej wchodzą:

- w ośrodkowym układzie nerwowym – komórki glejowe, wyodrębnione w oddzielnny rodzaj tkanki zwanej **tkanką glejową**,
- w obwodowym układzie nerwowym – komórki zwane **lemocytami** (komórki Schwanna) tworzące neurolemę.

Komórka nerwowa

Przeciętny neuron ma około 0,1 mm średnicy, ale może mieć długość nawet kilku metrów. Tradycyjny neuron dzieli się na trzy części: **ciało komórki** (perykarion), **dendryty, akson** (neuryt)



Komórka nerwowa



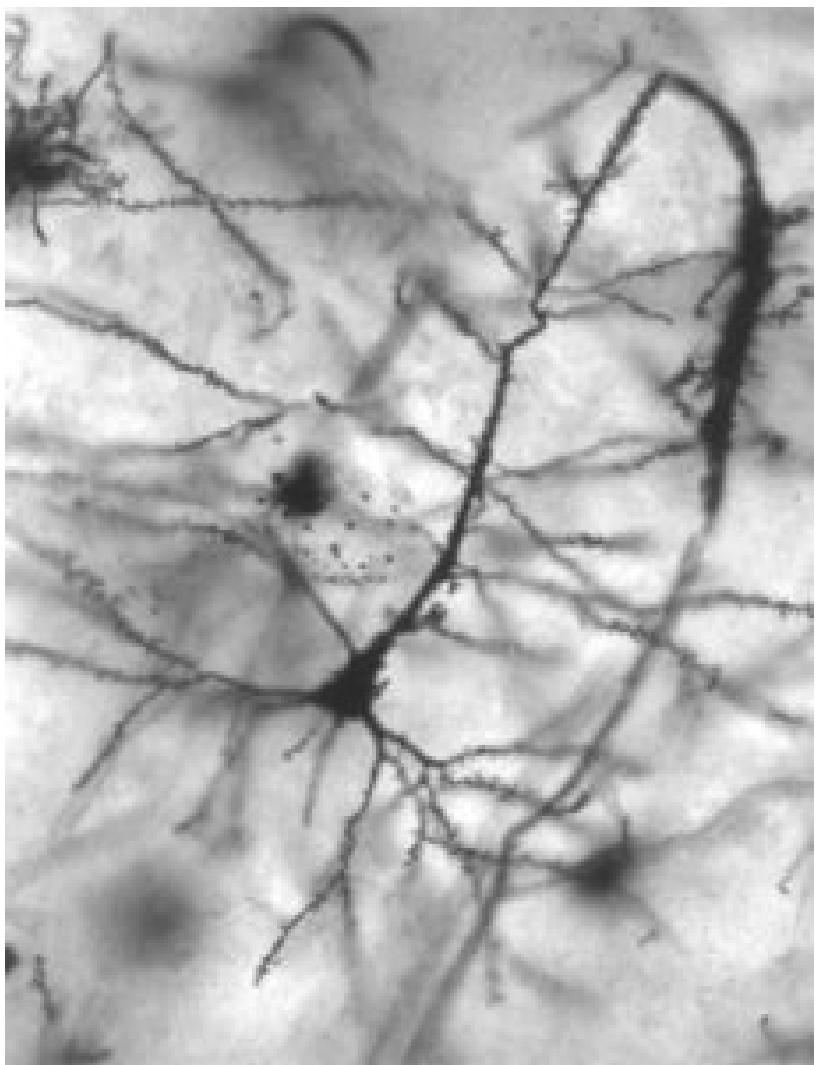
Charakterystycznymi składnikami cytoplazmy komórki nerwowej są ziarnistości zawierające RNA, zwane **tigroidem**, których ilość zmniejsza się wskutek długotrwałej prac komórki, oraz włókienka nerwowe, inaczej neurofibryle. Tworzą one w perykarium sieć a w wypustkach komórki nerwowej układają się w postaci równoległej wiązki.

Komórka nerwowa

Podział czynnościowy komórki nerwowej:

- **dendryty** odbierają bodźce ze środowiska albo od innej komórki,
- **akson** rozprawdza albo przewodzi impuls nerwowy
- **ciało komórki nerwowej** uczestniczy w metabolizmie i wzroście komórki nerwowej

Komórka nerwowa

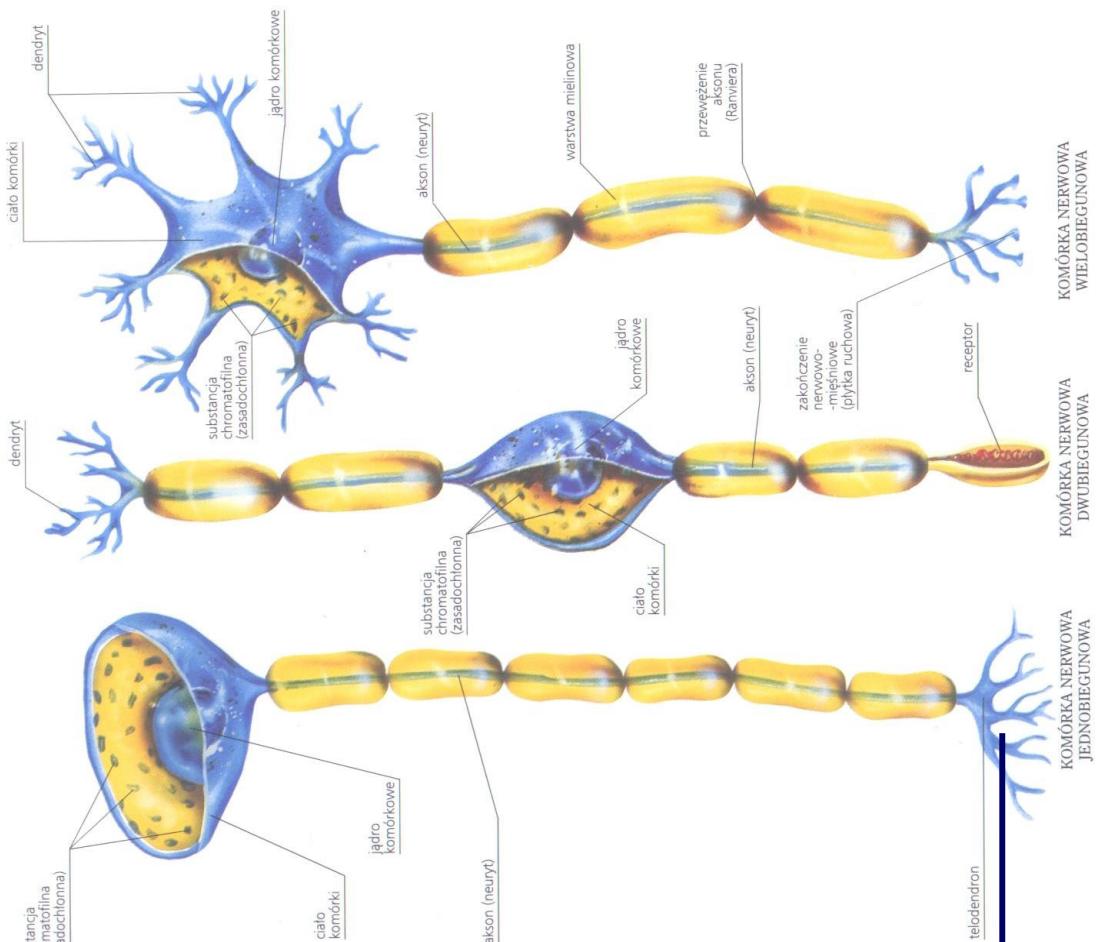


Obraz mikroskopowy. Powiększenie 40 razy

Komórka nerwowa

Ze względu na liczbę wypustek, komórki nerwowe dzielimy na:

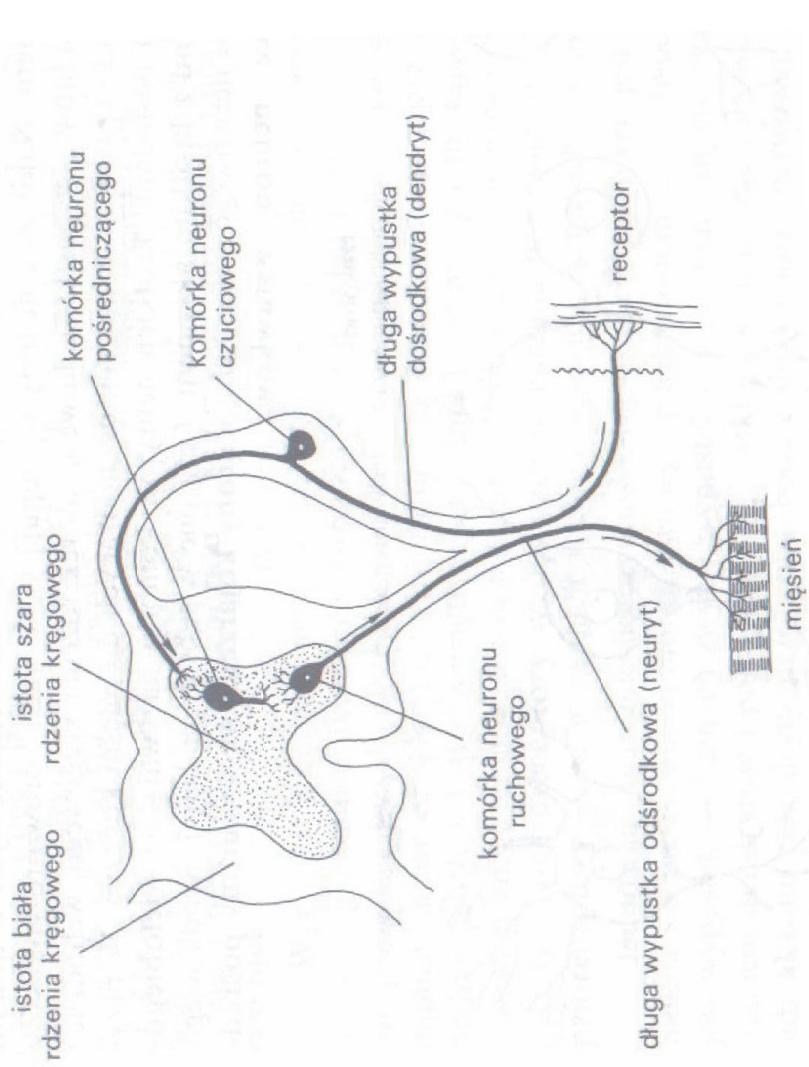
- **jednobiegunkowe** (unipolarnie) – słabo reprezentowane w organizmie; występują w części ruchowej nerwu trójdzielnego oraz w podwzgórzu
- **dububiegunkowe** (bipolarnie) – komórka ma dwie wypustki, z których jedna jest dendrytem a druga neurylem; spotyka się je m.in. w siatkówce oka
- **wielobiegunkowe** (multipolarnie) – najczęściej występujący typ komórek nerwowych; charakteryzuje się posiadaniem licznych dendrytów i jednego neurytu, m.in. stanowią wypustki ruchowe rdzenia kregowego dochodzące do mięśni kończyn.



Komórka nerwowa

Pod względem czynnościowym komórki nerwowe dzielimy na:

- czuciowe (dośrodkowe) – biegą od receptorów
- ruchowe (odśrodkowe) – biegą od efektora (narządu)
- pośredniczące (kojarzeniowe, wstawkowe), – występują pomiędzy neuronami czuciowymi i ruchowymi



Komórka nerwowa

Neuryty i dendryty kończące się w znacznej odległości od perykarionu, których długość u człowieka może dochodzić do 1 m, nazywamy **włóknami nerwowymi**.

Włókna nerwowe otoczone osłonką mielinową nazwane włókien **rdzennych** lub **mielinowych**, w przeciwnieństwie do włókien nie wyposażonych w mielinę, określanych jako włókna **bezrdzenne** lub **bezmielinowe**.

W ośrodkowym układzie nerwowym włókna są okryte wyłącznie słonką mielinową, tworząc jego substancję białą, oraz występują w nerwie wzrokowym. W nerwach mózgowych (z wyjątkiem nerwu wzrokowego i nerwów węchowych – ostatnie nie mają żadnych osłonek) oraz rdzeniowych włókna nerwowe są wyposażone w osłonkę mielinową a ponadto mają osłonkę utworzoną z komórek zwanych lemocytami.

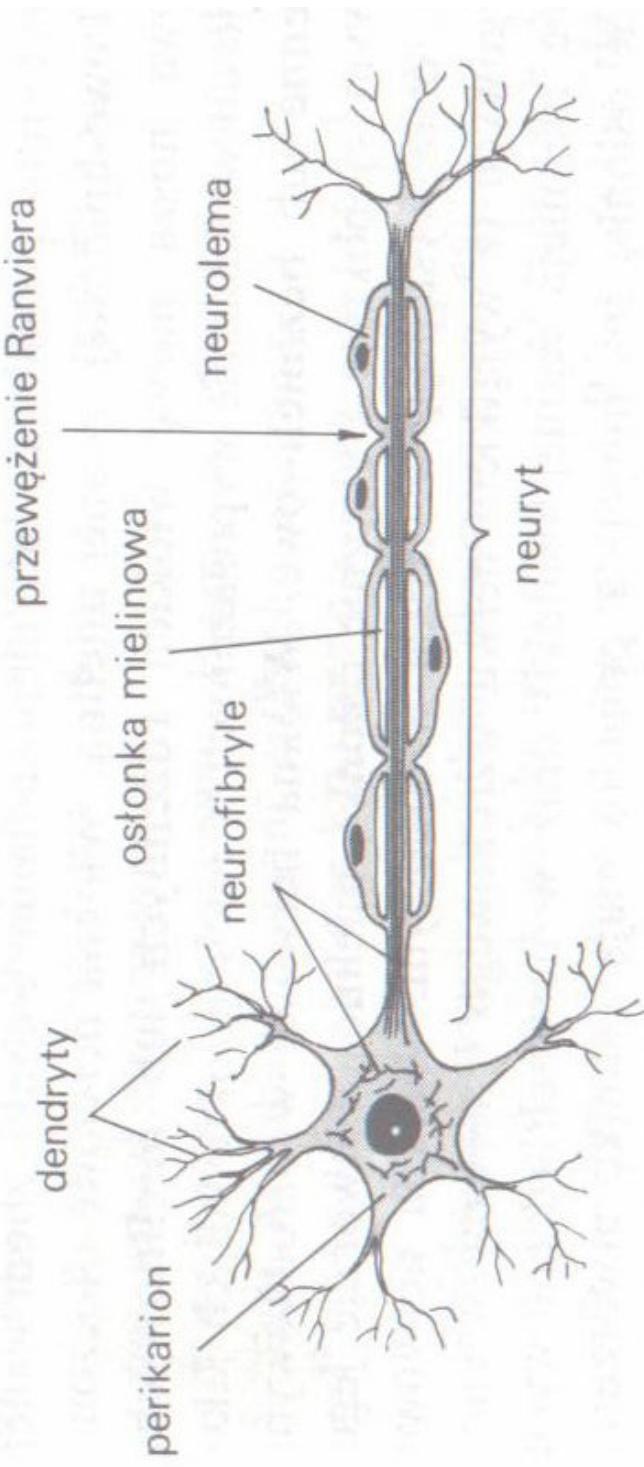
Synapsy

Synapsa (styk) jest okolicą, gdzie jedna komórka – presynaptyczna – wchodzi w bardziej lub mniej ścisłe połączenie z drugą komórką – postsynaptyczną, na którą oddziaływała.

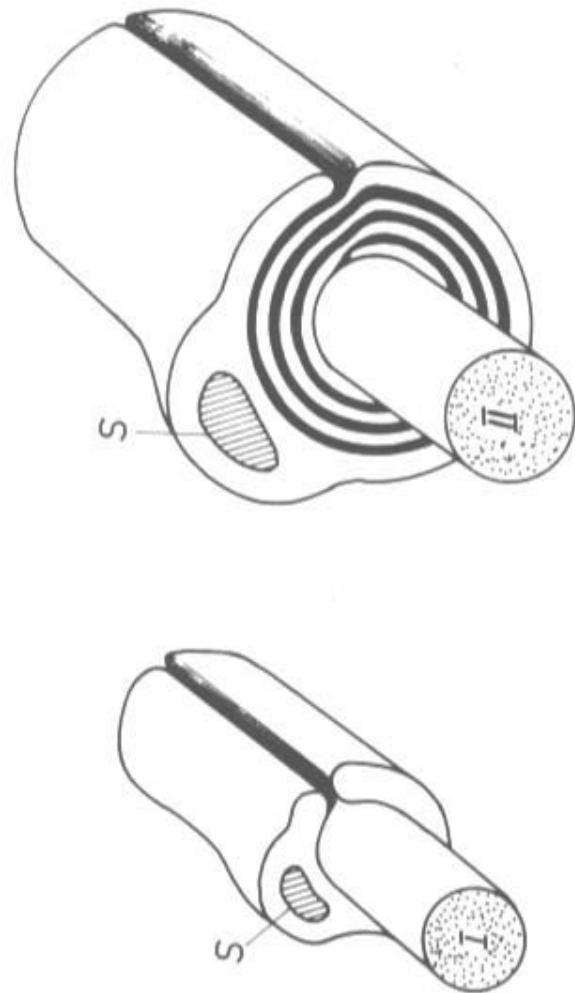
Synapsy zawierają pęcherzyki synaptyczne, w których znajduje się neurohormon – substancja uczestnicząca w przewodzeniu impulsów nerwowych. Impulsy przewodzone przez akson, docierając do synapsy, powodują uwalnianie z pęcherzyków neurohormonu do przestrzeni synaptycznej. Neurohormon pobudza błonę postsynaptyczną wywołując zmianę jej polaryzacji.

Komórka nerwowa

Niektóre aksony mogą być otoczone białkowo-lipidową substancją – mieliną, okrywającą akson segmentowo. Zewnętrznie w stosunku do mieliny znajduje się osłonka zbudowana z lemocytów (neurolemą)



Komórka nerwowa



Akson (I) bez osłonki mielinowej i akson (II) z osłonką mielinową. Jądro lemocytu czyli komórki Schwanna - s

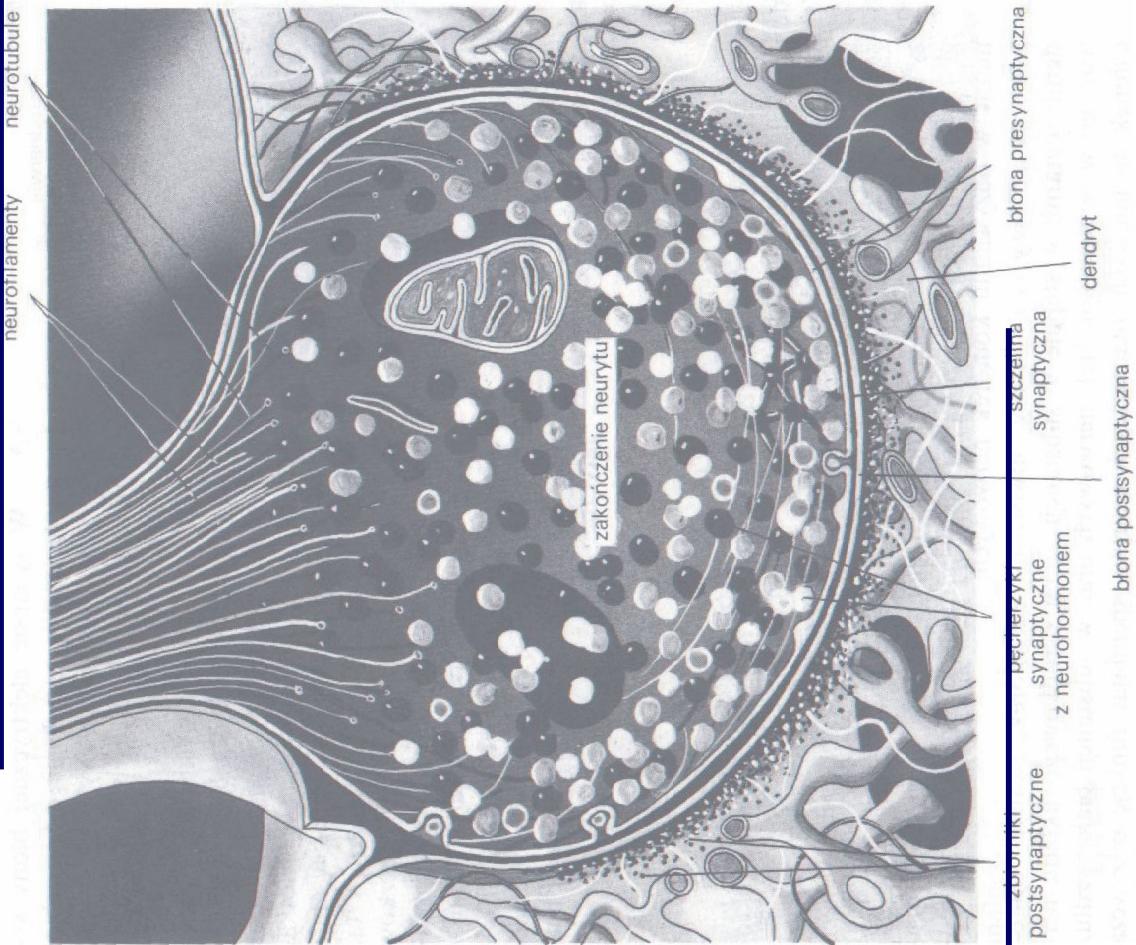
Włókna nerwowe otoczone osłonką mielinową noszą nazwę włókien **rdzennych** lub **mielinowych**, w przeciwnieństwie do włókien nie wyposażonych w mielinę, określanych jako włókna **bezrdzenne** lub **bezmielinowe**.

Synapsy

Synapsa (styk) jest okolicą, gdzie jedna komórka – presynaptyczna – wchodzi w bardziej lub mniej ścisłe połoczenie z drugą komórką – postsynaptyczną, na której oddziaływała.

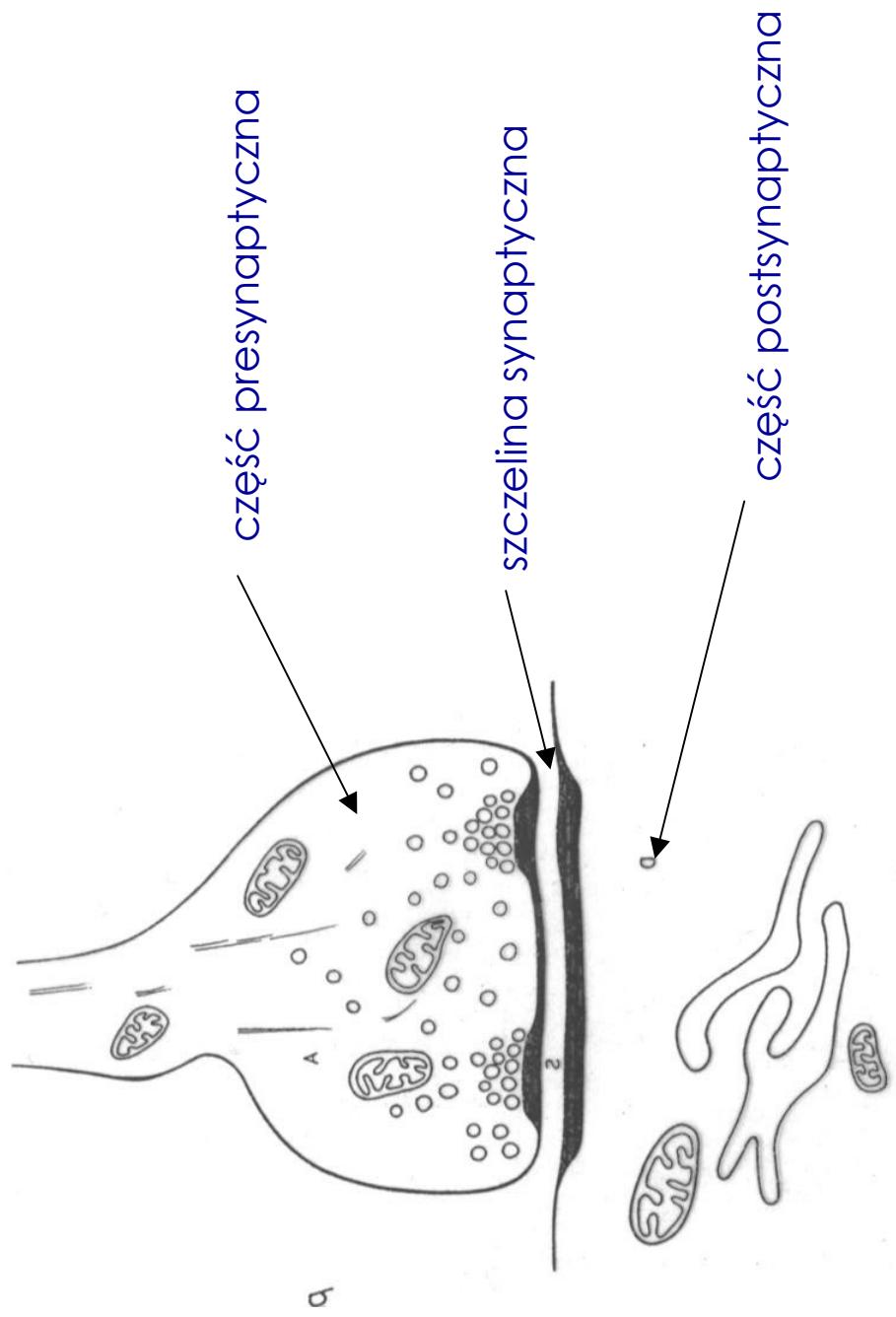
Synapsy zawierają pęcherzyki synaptyczne, w których znajduje się neurohormon – substancja uczestnicząca w przewodzeniu impulsów nerwowych. Impulsy przewodzone przez akson, docierając do synapsy, powodują uwalnianie z pęcherzyków neurohormonu do przestrzeni synaptycznej. Neurohormon pobudza białonę postsynaptyczną, wywołując zmianę jej polaryzacji.

Synapsy

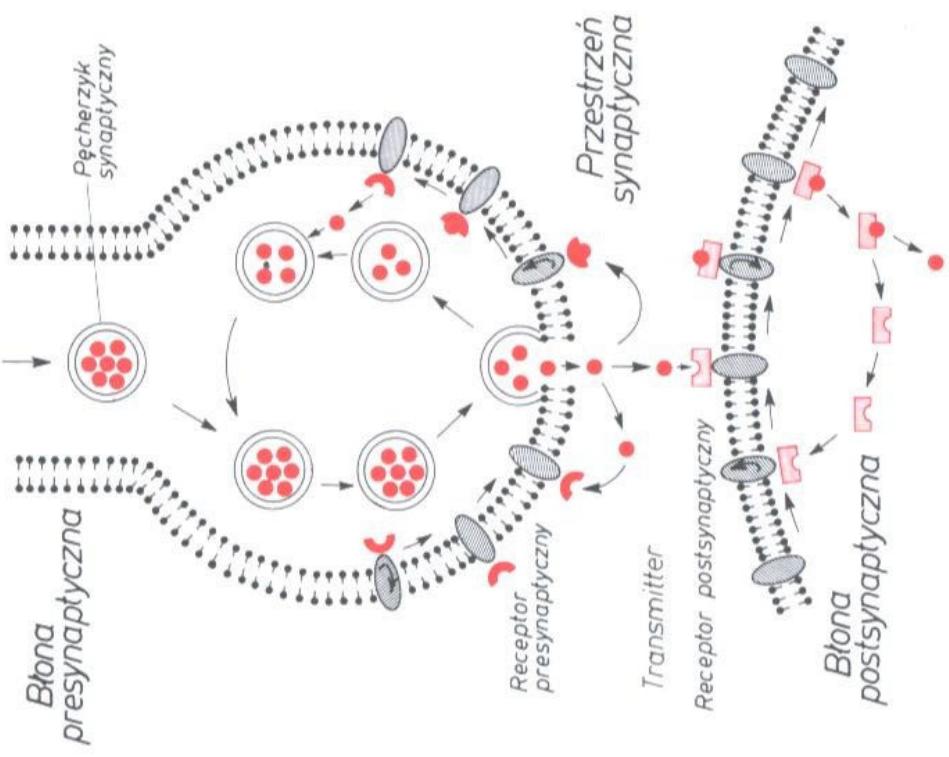


Zakład Biofizyki III

Synapsy



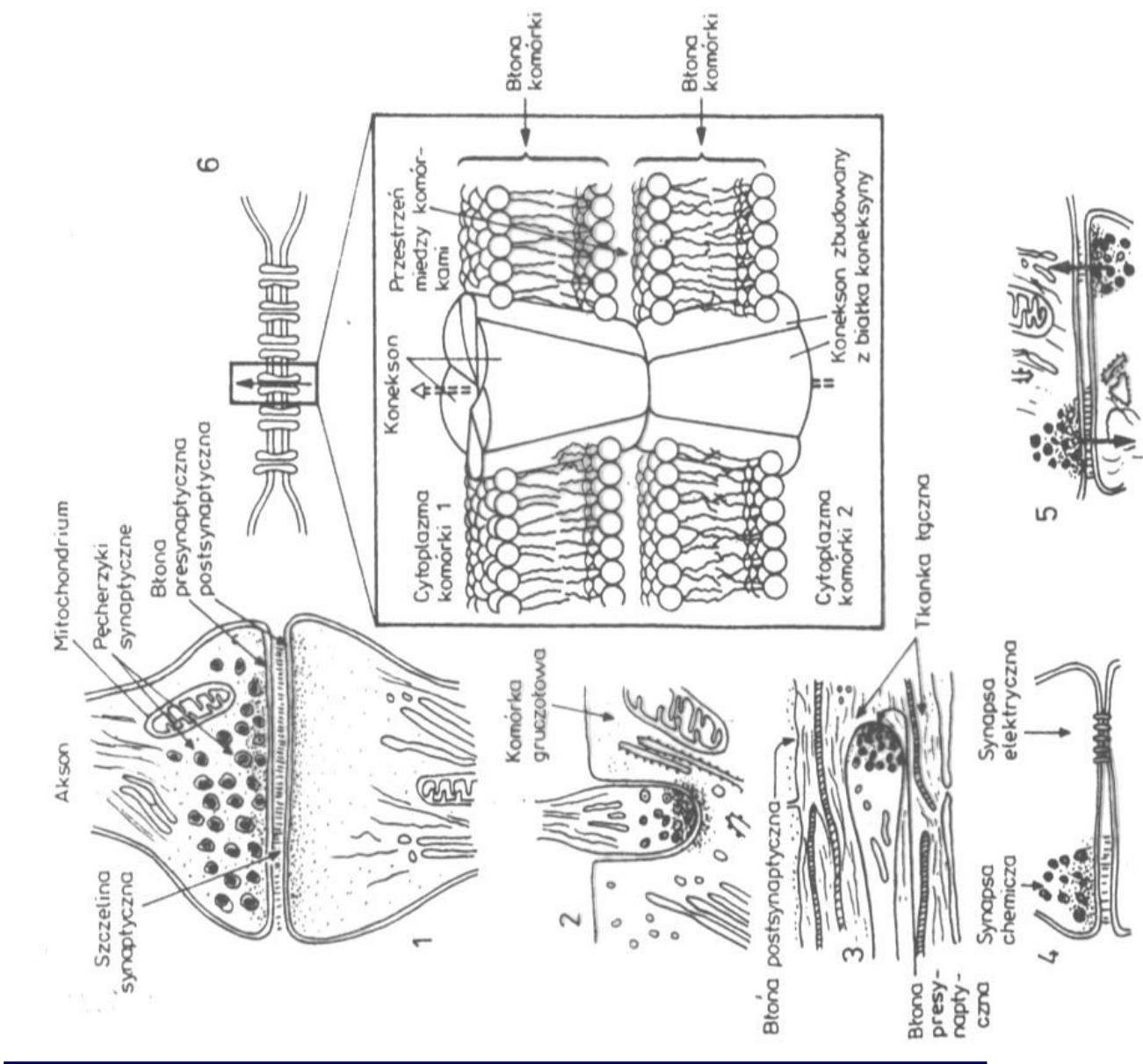
Synapsy



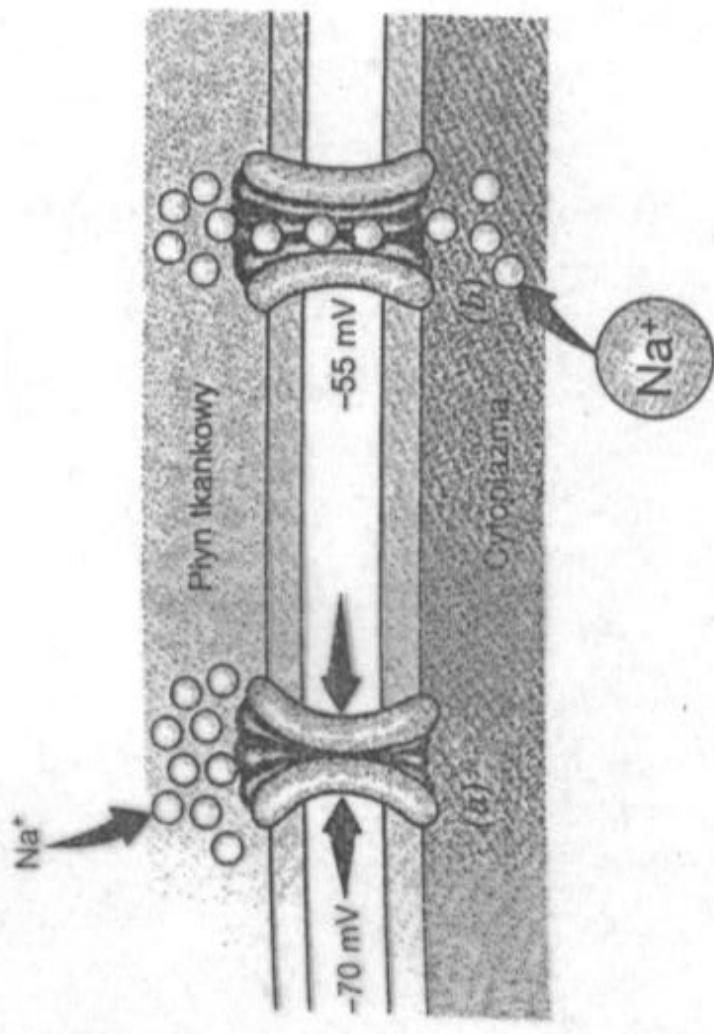
Synapsy

Schemat budowy różnych rodzajów synaps:

1. Typowa synapsa chemiczna akson-akson
2. Synapsa chemiczna włókno nerwowe
3. Synapsa chemiczna „na odległość”
4. Synapsa mieszana
5. Synapsa odwrótcona
6. Synapsa elektryczna



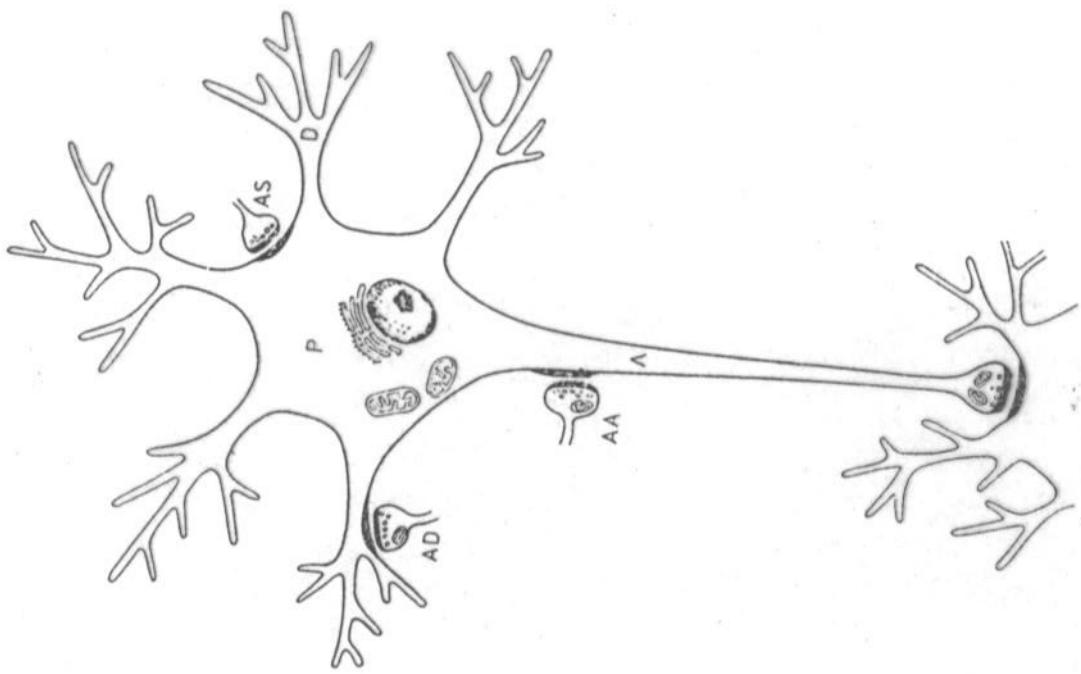
Synapsy



Budowa synapsy elektrycznej

Synapsy

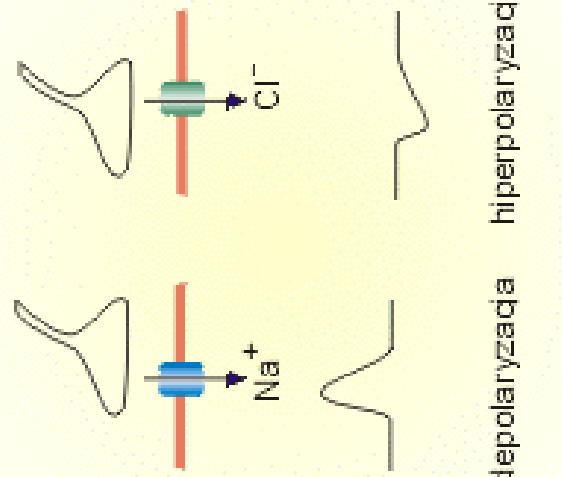
Schemat neuronu z różnego typu zakończeniami synaptycznymi: AD-synapsa aksono-dendryczna; AS-synapsa aksono-somatyczna; AA-synapsa aksono-aksonalna; P-perykarion komórki; D-dendryt; A-akson



Synapsy pobudzające i hamujące

W **synapsach pobudzających** sygnał chemiczny przenoszony przez szczelinę synaptyczną powoduje depolaryzację błony postsynaptycznej, czyli pobudza komórkę do generowania potencjału czynnościowego. Takie działanie synapsy wynika z tego, że sygnał chemiczny otwiera kanały kationo-selektywne – wpuszczające dodatnie jony do wnętrza komórki i powodujące tym samym wzrost potencjału błonowego.

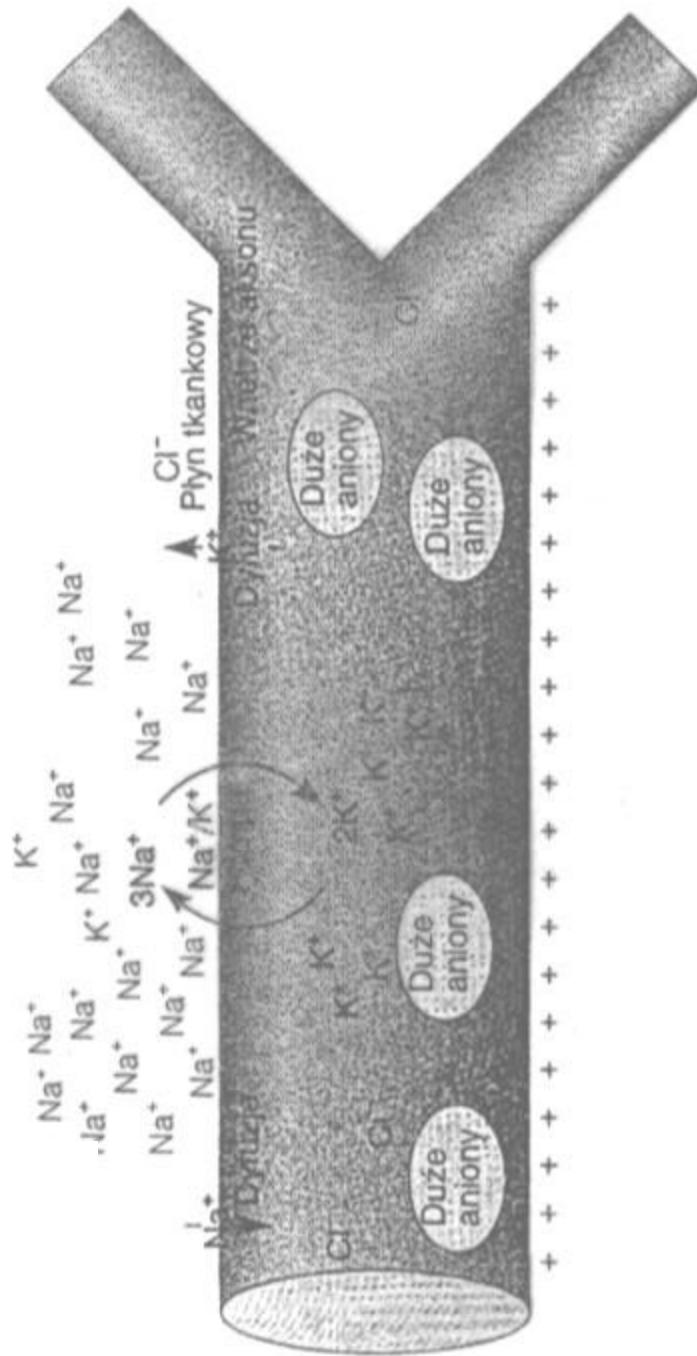
W **synapsach hamujących** pojawienie się transmittera w szczelinie synaptycznej powoduje otwieranie się kanałów aniono-selektywnych (chlorkowych). Po otwarciu przepuszczają one jony chlorkowe do wnętrza komórki postsynaptycznej powodując tym samym jej hiperpolaryzację. Obniżenie potencjału błonowego utrudnia pobudzenie komórki, bowiem osiągnięcie w tym stanie progu pobudzenia wymaga podniesienia potencjału błonowego o wartość większą niż wówczas, gdy komórka jest w stanie spoczynku.



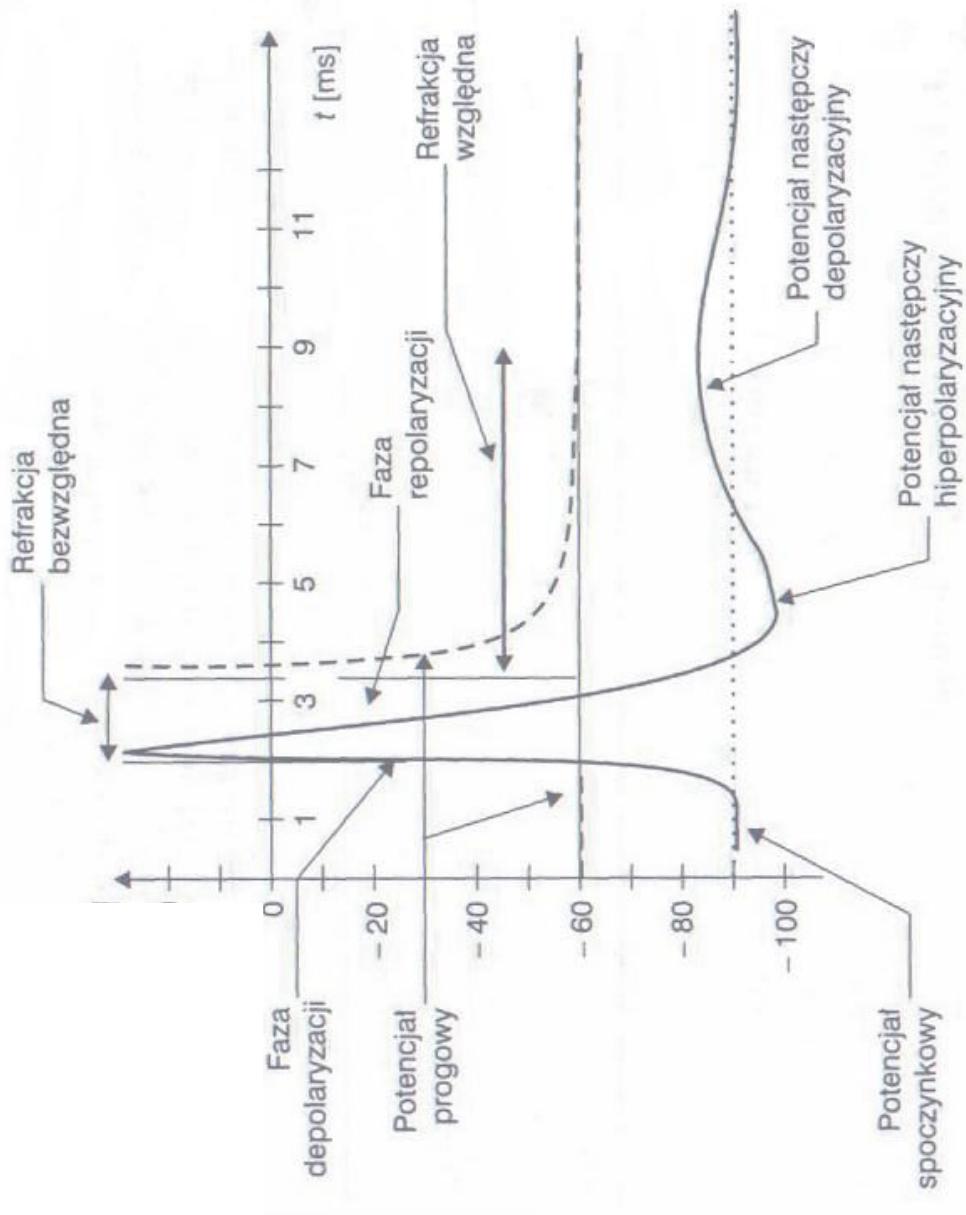
Impuls nerwowy

Bodziec działający na błone komórkową neuronu zmienia jej właściwości, co wywołuje potencjał czynnościowy. Do wnętrza neuronu napływają jony Na^+ . Zjawisko to określa się jako depolaryzacja błony komórkowej. Jony Na^+ początkowo wnikają w miejsce działania bodźca. W momencie wyrównania ładunków elektrycznych depolaryzacja zaczyna przesuwać się na sąsiednie odcinki błony komórkowej aż do zakończenia aksonu. **Impulsem nerwowym jest więc przesuwanie się fali depolaryzacji** od miejsca zadziałania bodźca na błonę komórkową do zakończeń neuronu.

Pompa sodowo-potasowa



Potencjał czynnościowy



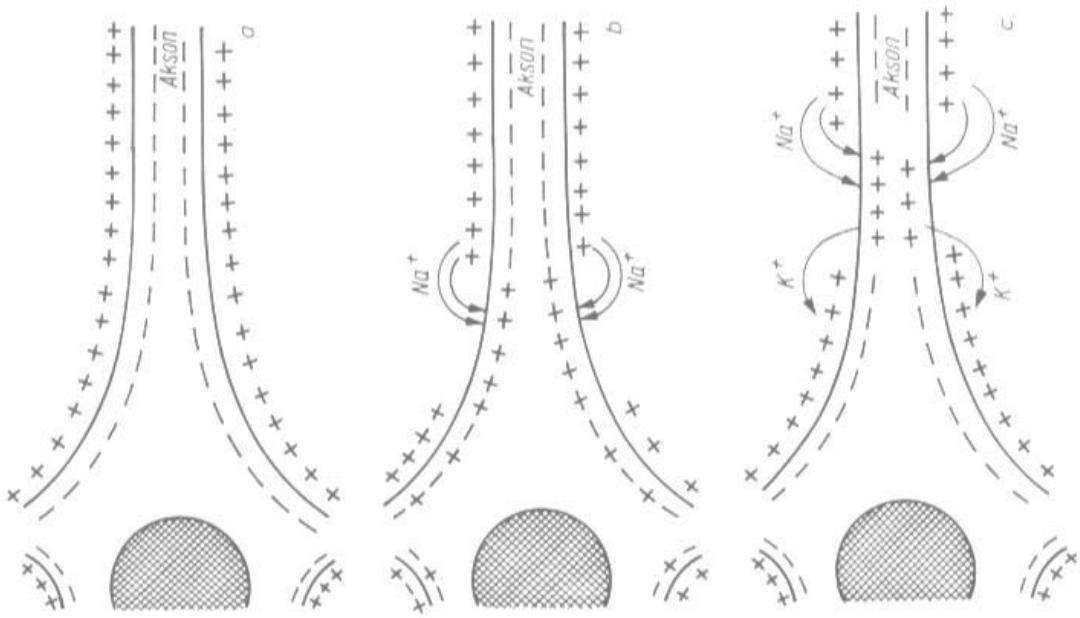
Potencjał czynnościowy

W powstawaniu i przebiegu potencjału czynnościowego zasadnicze znaczenie ma transport jonów Na^+ i K^+ przez błonę komórkową. Odbiera się o zgodnie z gradientem stężen.

Osiągnięcie przez błonę potencjału progowego powoduje otwarcie szybkich kanałów sodowych w błonie komórkowej. Napływ jonów Na^+ odpowiada za fazę depolaryzacji. Z chwilą osiągnięcia potencjału iglicowego stopniowo zamkują się kanały sodowe a otwierają kanały potasowe. Następuje odpływ dodatniego ładunku z komórki co powoduje repolaryzację błony komórkowej.

Rozchodzenie się impulsów

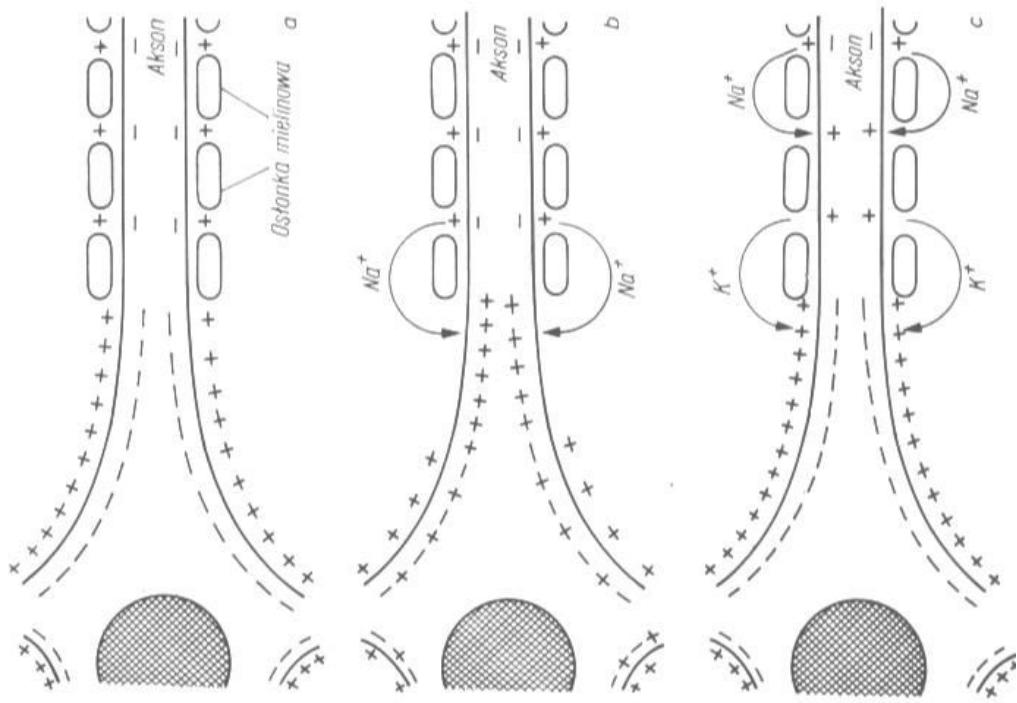
Przekazywanie impulsów w włóknach nagich odbywa się poprzez ciągłą depolaryzację, która rozchodzi się z małą prędkością 0,5-2,0 m/s



Błona komórkowa ciała neuronu i odcinka poczatkowego aksonu: I – w spoczynku, II – w czasie depolaryzacji ciała neuronu, III – w czasie przewodzenia depolaryzacji wzdłuż aksonu bez osłonki mielinowej

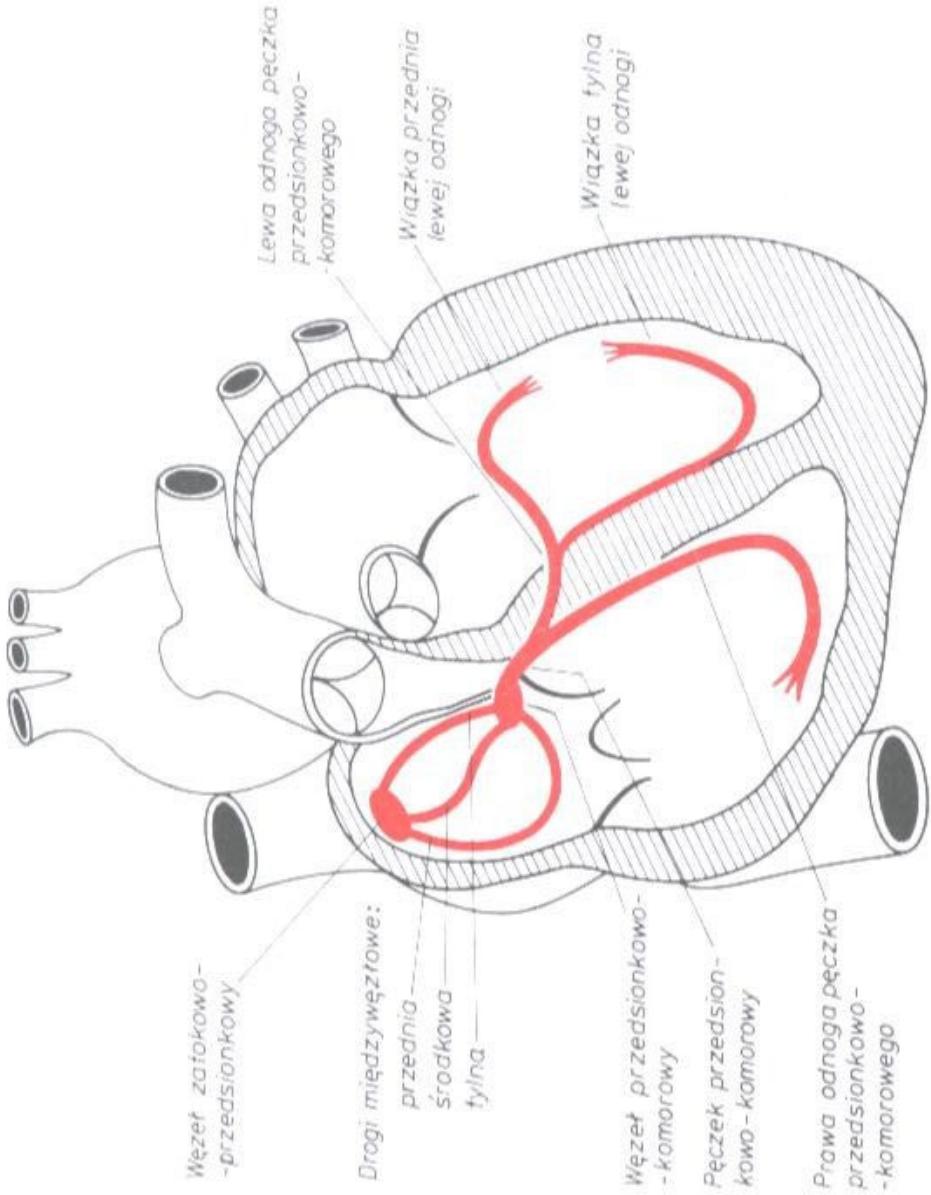
Rozchodzenie się impulsów

W aksonach okrytych mieliną i neuroolemą impuls rozchodzi się skokowo i dzięki temu szybciej – od kilkunastu do 120 m/s

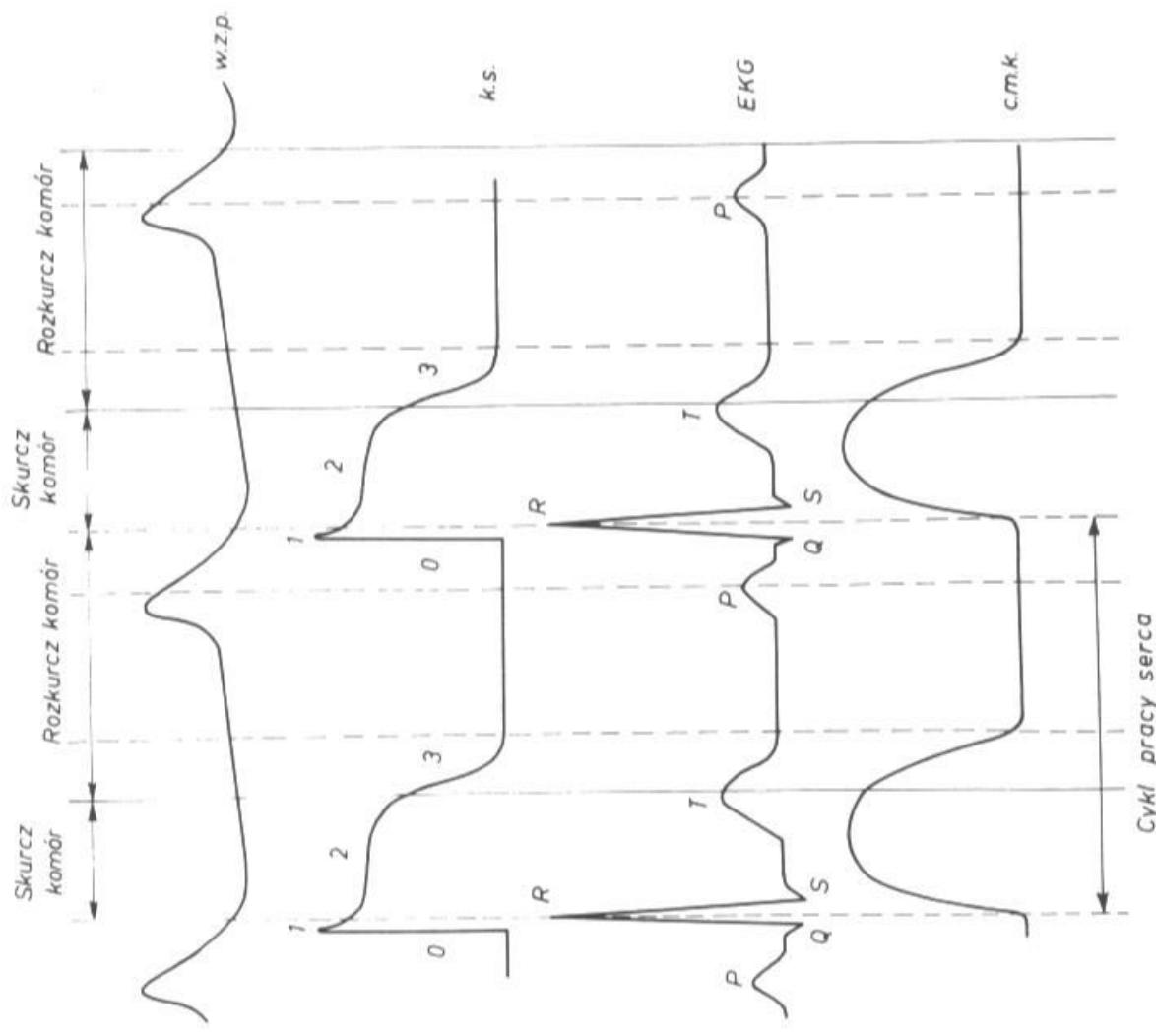


Błona komórkowa ciała neuronu i odcinka początkowego aksonu: I – w spoczynku, II – w czasie depolaryzacji ciała neuronu, III – w czasie przewodzenia skokowego depolaryzacji wzdułuż aksonu z osłonką mielinową

Czynność bioelektryczna serca EKG



Potencjały czynnościowe serca



Czynności bioelektryczne i mechaniczne mięśnia sercowego.
Potencjał wewnętrzkomórkowy

komórki węzła zatokowo – przedsionkowego (w.z.p.);

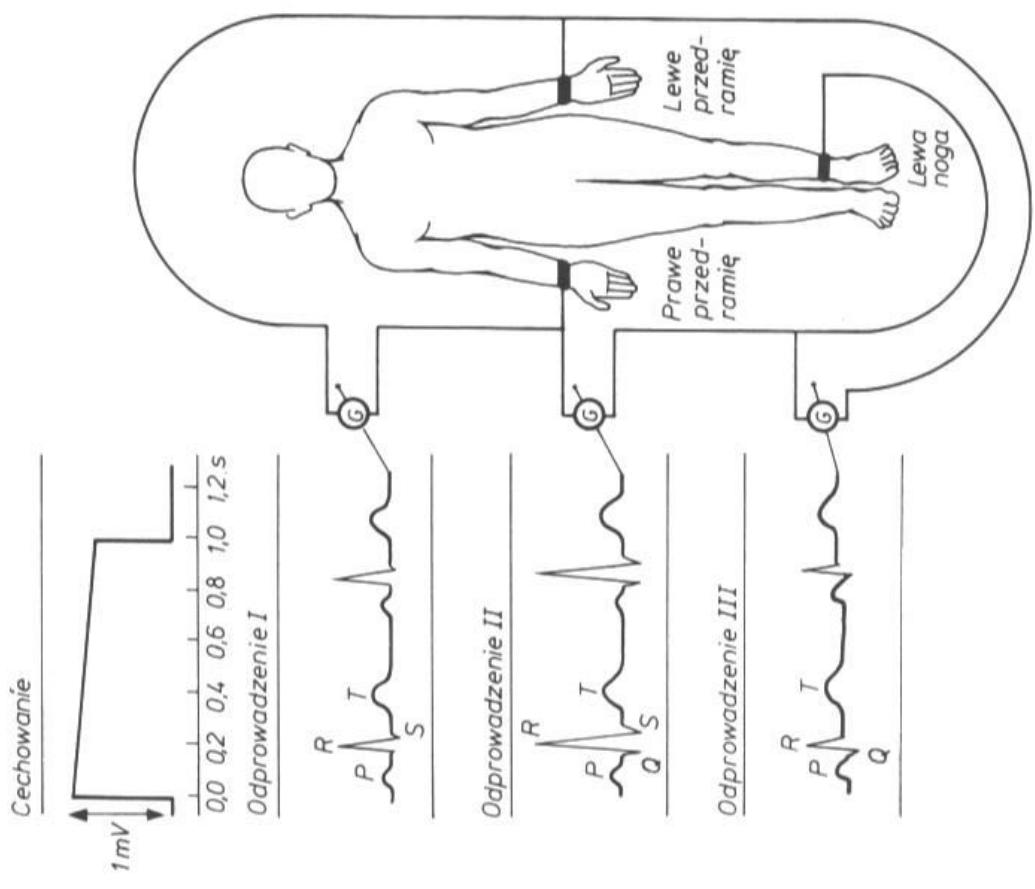
komórki mięśnia komór sercowych (k.s.) – faza repolaryzacji: 0, 1, 2, 3 i elektrokardiogram (EKG) – załamki P, Q, R, S, T

i czynność mechaniczna komór (c.m.k.)

Odprowadzenia EKG

Umieszczając elektrody na kończynach i rejestrując różnice potencjału pomiędzy elektrodami, odbiera się czynność bioelektryczną mięśnia sercowego, czyli elektrokardiogram – EKG, za pomocą tzw. **odprowadzeń końcowych**

Odpowiadzenia EKG



Odpowiadzenie kończynowe dwubiegunowe stosowane w ekekstrokardiografii. G – galwanometr. Załamki EKG: P, Q, R, S, T.

Elektrokardiogram

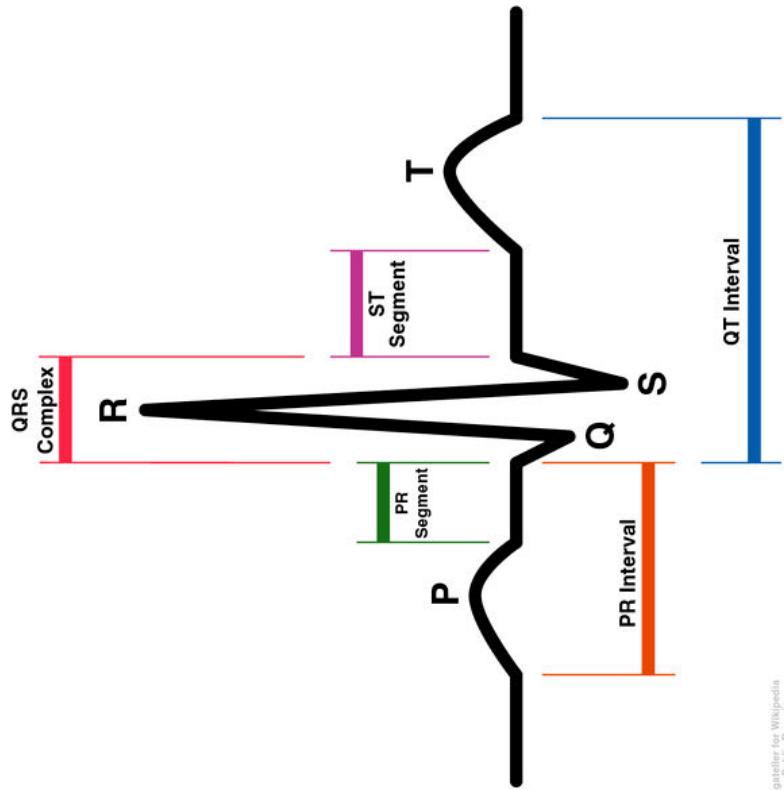
Na wykresie EKG analizujemy:

- **linia izoelektryczna** - linia pozioma zarejestrowana w czasie, gdy w sercu nie stwierdza się żadnych pobudzeń (aktywności). Najłatwiej wyznaczyć ją według odcinka PQ. Stanowi ona punkt odniesienia poniższych zmian
- **załamki** - wychylenia od linii izoelektrycznej (dodatni, gdy wychylony w górę; ujemny, gdy wychylony w dół)
- **odcinki** - czas trwania linii izoelektrycznej pomiędzy załamkami
- **odstępy** - łączny czas trwania odcinków i sąsiadującego załamka

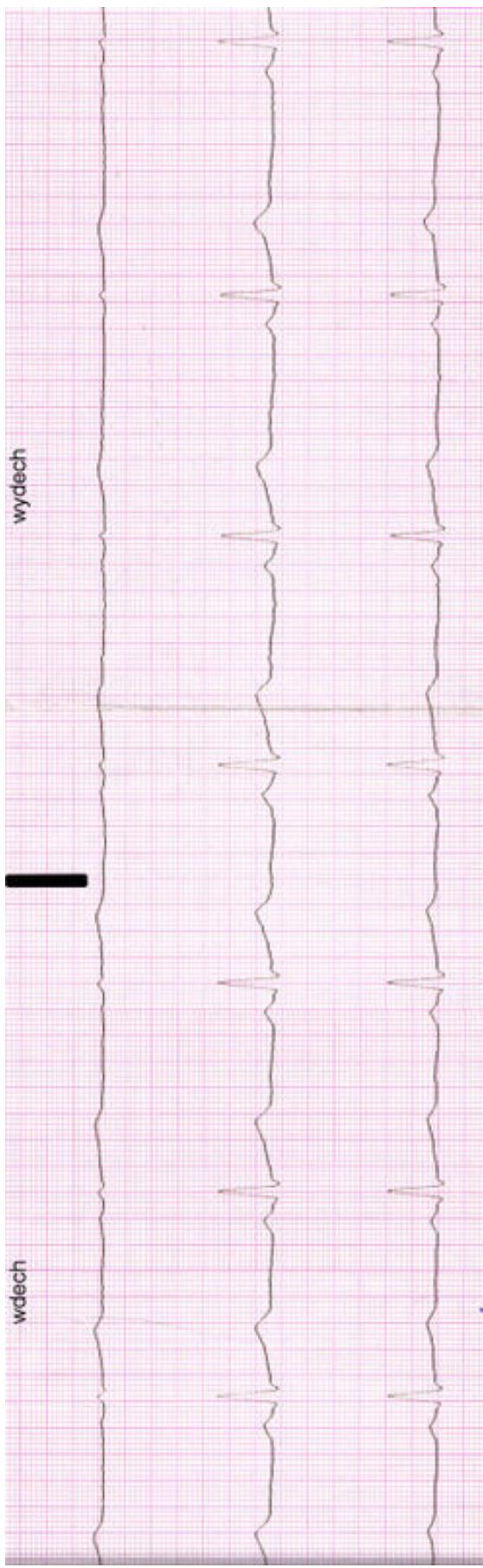
Elektrokardiogram

Załamki

Załamek P - jest wyrazem **depolaryzacji** mięśnia **przedsięnków** (dodatni we wszystkich 11 odprowadzeniach, poza aVR, tamże ujemny) zespół QRS - odpowiada **depolaryzacji** mięśnia **komór**
załamek T - odpowiada repolaryzacji komór czasem też **załamek U**



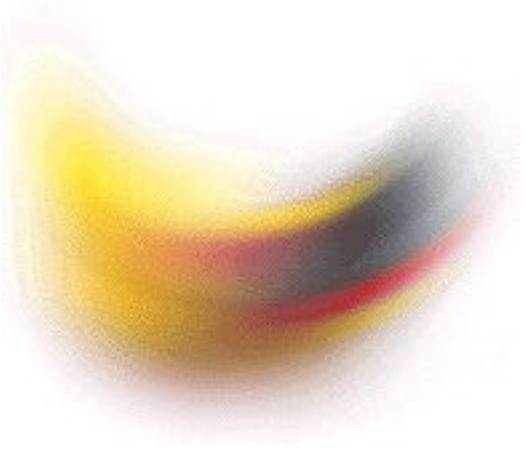
Elektrokardiogram



Elektrokardiogram zdrowego, 21 letniego mężczyzny.

Elektromiografia

EMG (Elektromiografia) – badanie mięśni, - skurczów w odpowiedzi na bodziec elektryczny. EMG pozwala ocenić zdolność mięśni do pracy.

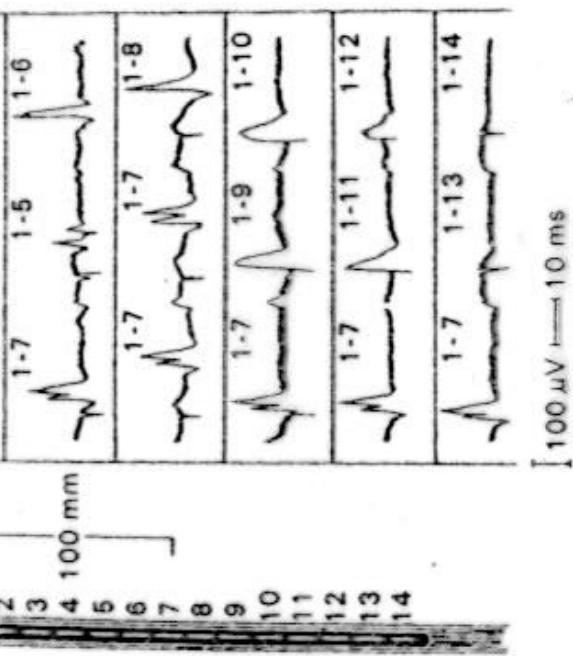


Elektromiografia

Wskazania do wykonania badania

- różnicowanie niedowładów pochodzenia mięśniowego.
- wykrywanie i różnicowanie niedowładów wywołanych uszkodzeniem nerwu obwodowego.
- ocena funkcji mięśni po urazach.
- zanik mięśni o nieznanej etiologii (przyczynie).

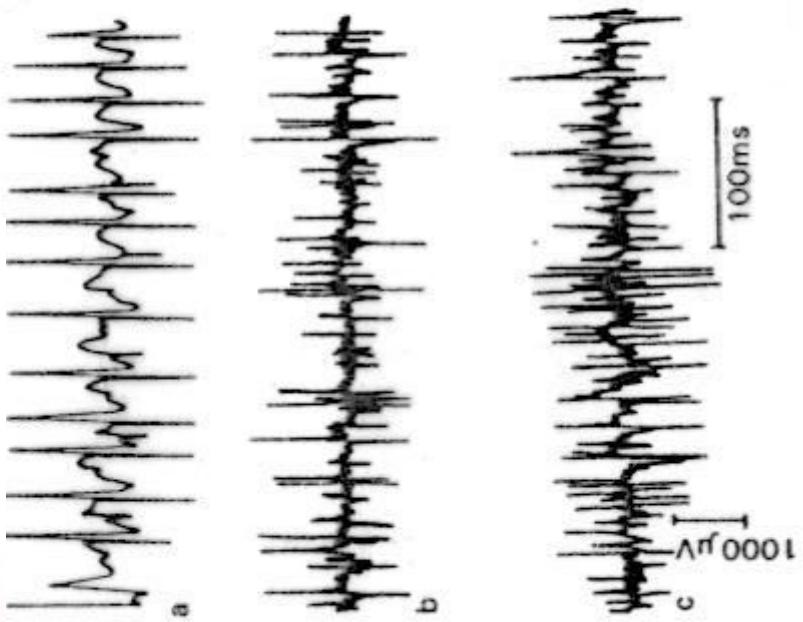
Elektromiografia



Jednopunktowa elektroda igłowa używana do rejestracji potencjałów czynnościowych mięśnia.

Elektroda wielopunktowa oraz potencjały czynnościowe jednostek motorycznych mięśnia rejestrowane poprzez odprowadzenia pomiędzy poszczególnymi punktami.

Elektromiografia

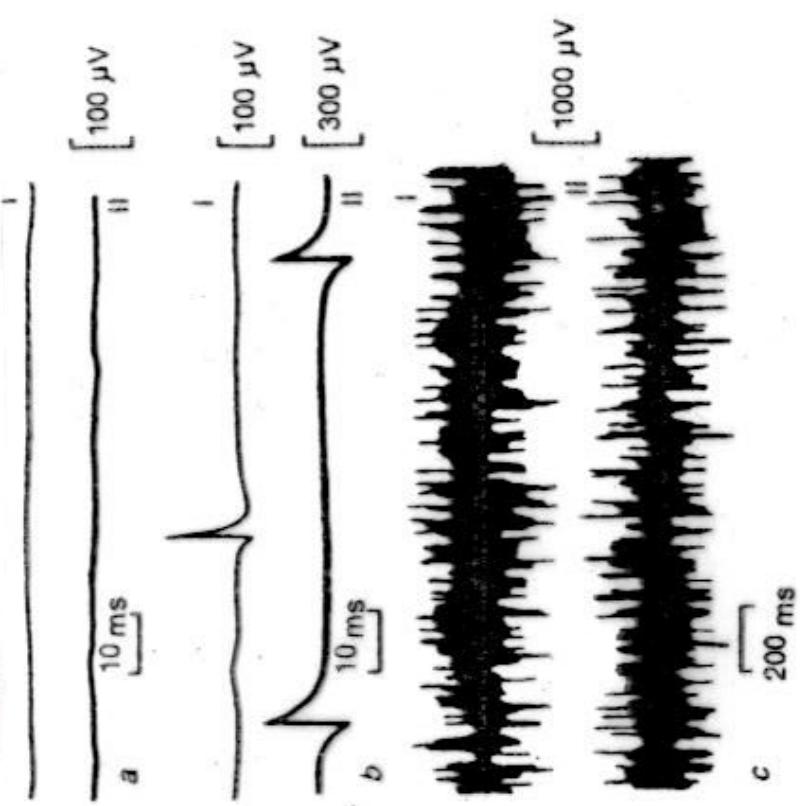


Zwiększenie częstotliwości wyładowań rejestrowanych jednobiaiegową elektrodą wewnętrznośmieszową w miarę zwiększenia siły skurczu.

a – pojedyncze potencjały jednostki motorycznej

b,c – potencjały interferencyjne wielu jednostek motorycznych

Elektromiografia



Obrazy potencjałów czynnościowych w badaniu elektromiograficznym:

a – mięsień pozostający w rozkurczu;

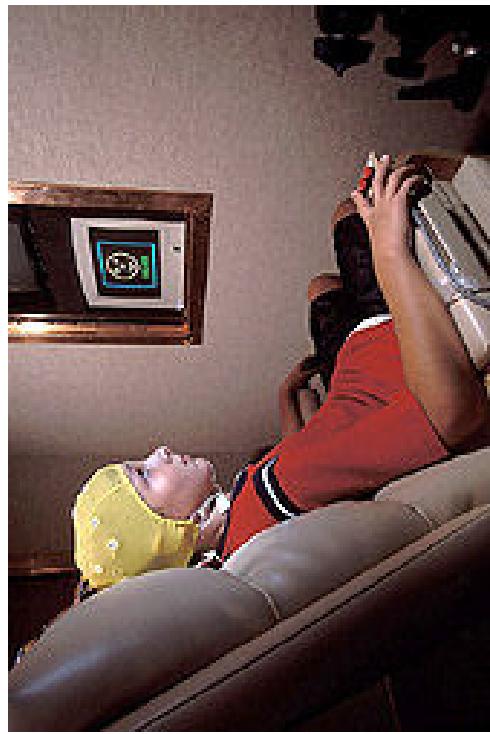
b – pojedyncze mimowolne skurcze włókna mięśniowego;

c – maksymalny skurcz mięśnia

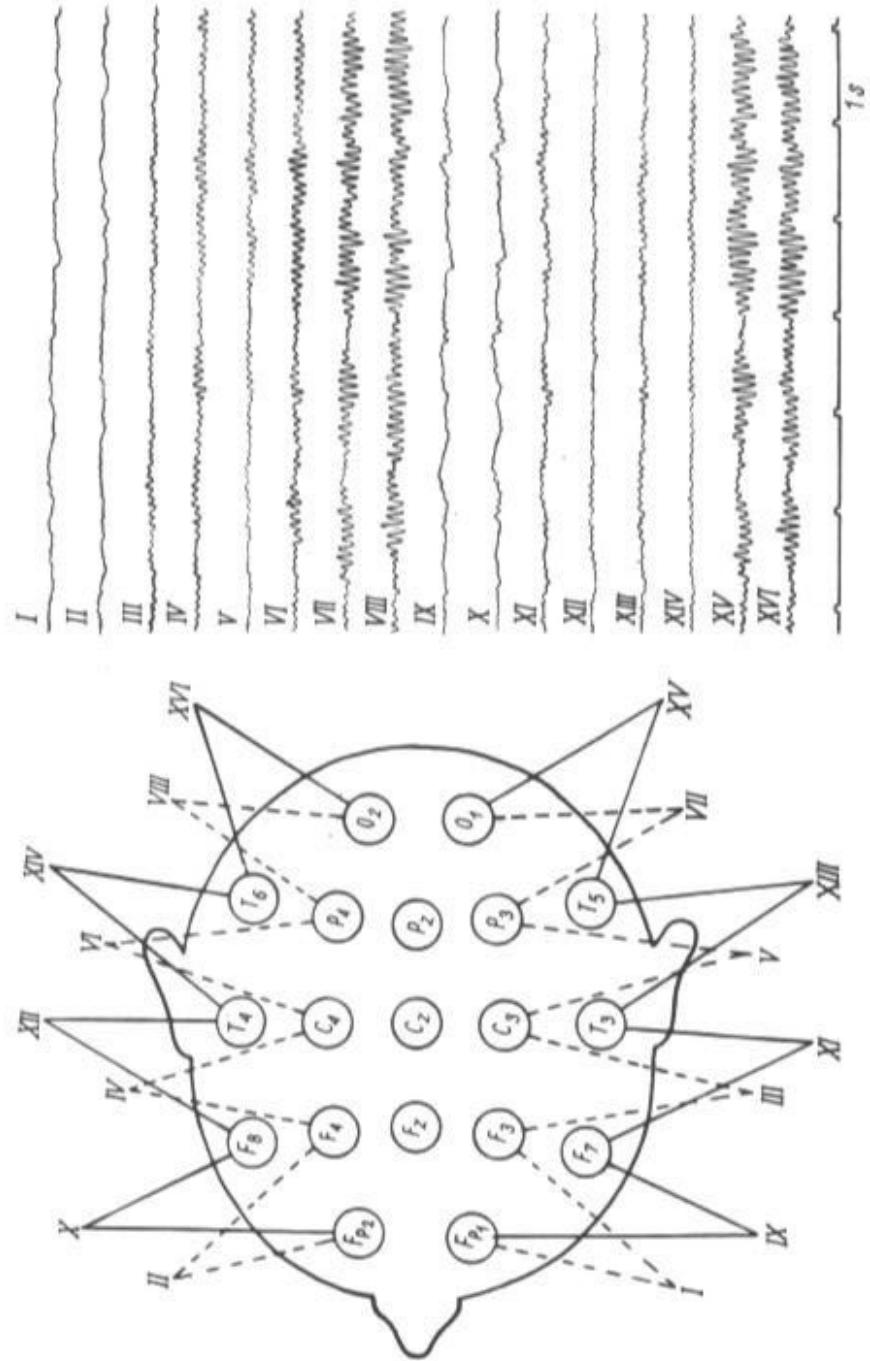
Elektroencefalografia

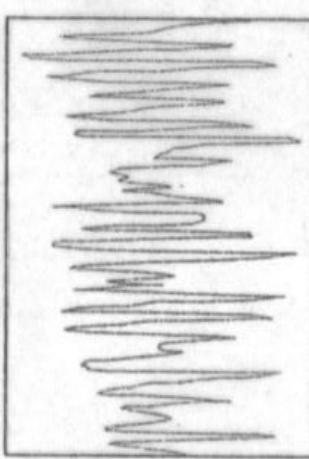
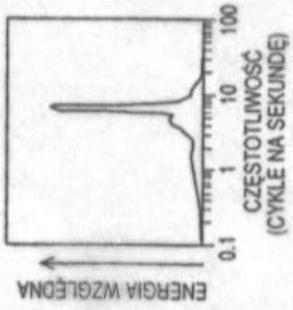
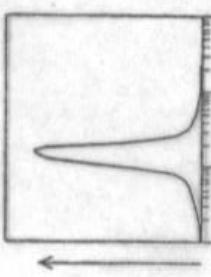
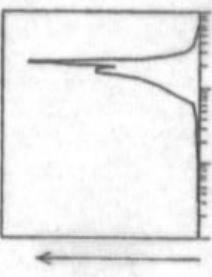
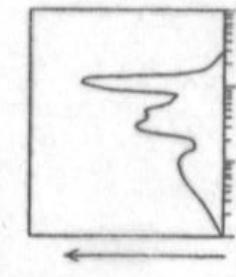
Elektroencefalografia (EEG) - nieinwazyjna metoda diagnostyczna służąca do badania bioelektrycznej czynności mózgu.

Badanie przeprowadza się poprzez umieszczenie elektrod na skórze głowy. Zarejestrowane zmiany potencjałów to **elektroencefalogram (EEG)**. Jeśli elektrody umieści się bezpośrednio na korze mózgu (np. podczas operacji) badanie nosi nazwę **elektrokortyografię (ECOG)**.



Elektroencefalografia





FAŁE ALFA
wywoływanie rozproszonym uwagi mają stosunkowo dużą amplitudę i umiarkowaną częstotliwość.

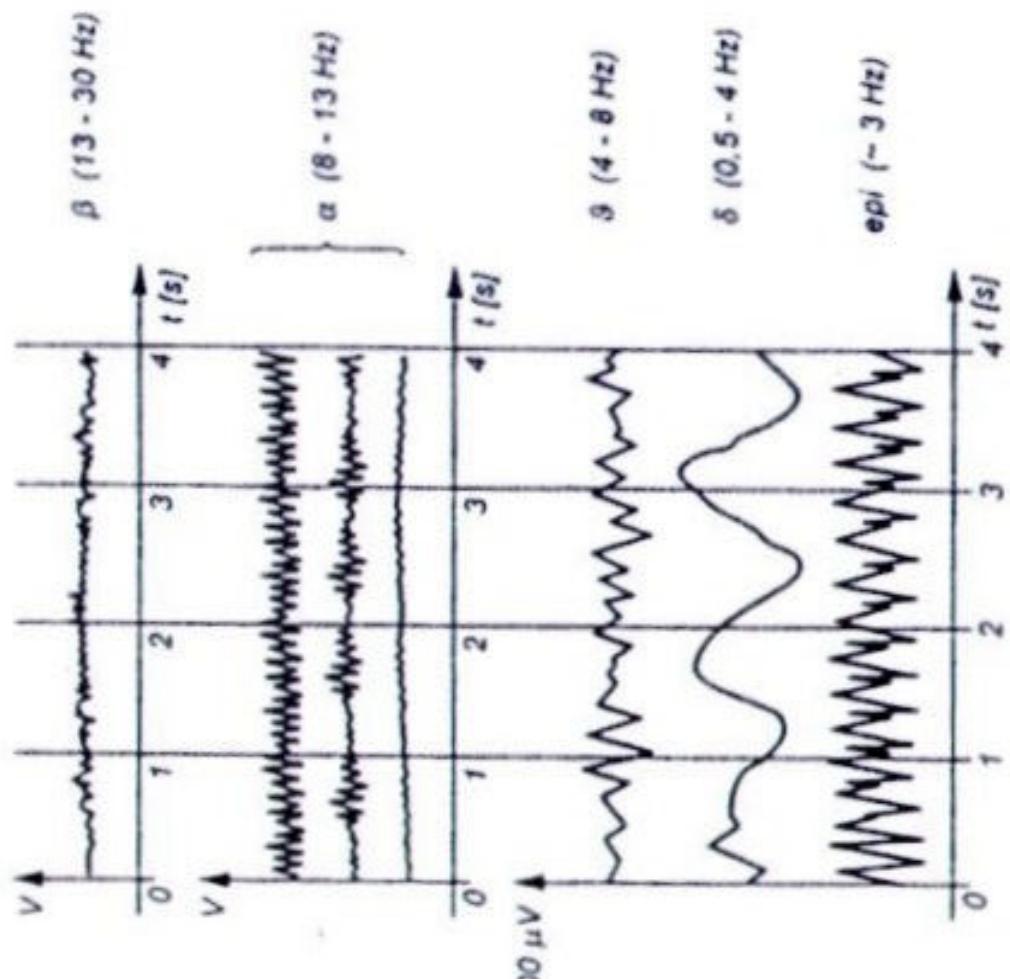
FAŁE BETA
powstające w wyniku nasilonej aktywności umysłowej charakteryzują się szybką oscylacją i niską amplitudą.
FAŁE TETA
twarzyszące odczuciu stresu emocjonalnego charakteryzują się umiarkowaniem niskimi częstotliwościami.

FAŁE DELTA
powstają jako skutek oscylacji o niezwykle niskiej częstotliwości towarzyszących okresom głębokiego snu.

FAŁE MI
w zapisie przypominające bramki do krokieta związane są z ruchem lub zamiarem wykonania ruchu.

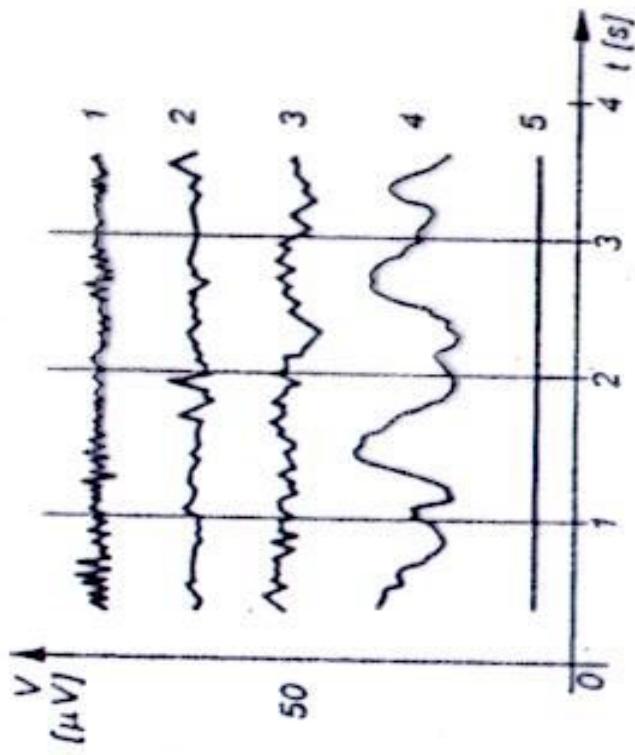


Elektroencefalografia



Elektroencefalogram. Przykłady fal normalnych osób zdrowych:
beta – rejestrowanych z okolic skroniowych i czołowych,
alfa – z okolicy potylicznej,
theta – występujących u dzieci i śpiących osób dorosłych,
delta – występujących u płodów, dzieci i osób dorosłych śpiących. U dołu przedstawiono fale i ostre piki przebiegów charakterystycznych dla epilepsji.

Elektroencefalografia



Wpływ poziomu świadomości na przebieg elektroencefalogramu: po przebudzeniu (1), lekki sen (2), sen paradoksalny z towarzyszeniem szybkich ruchów gałek ocznych (typu REM) i marzeniami (3), głęboki sen (4), śmierć mózgowa (5)