

Fizjologia sem. II wykład 1 – 17.04.2026

Spis zagadnień

1. Tkanka nerwowa – budowa i klasyfikacja neuronów
2. Włókna nerwowe – klasyfikacja i znaczenie kliniczne
3. Sieci neuronalne i komórki glejowe
4. Pobudliwość komórek – potencjał spoczynkowy i czynnościowy
5. Synapsy i neuroprzekazniki
6. Podział układu nerwowego – topograficzny i czynnościowy
7. Rdzeń kręgowy – budowa, drogi nerwowe i odruchy
8. Pień mózgu, twór siatkowaty i mózdzek
9. Międzymózgowie – wzgórze i podwzgórze
10. Kresomózgowie – kora mózgowa i półkule mózgowe

1. Tkanka nerwowa – budowa i klasyfikacja neuronów

Ogólna charakterystyka neuronów

Układ nerwowy jest niezwykle złożonym systemem integrującym wszystkie funkcje organizmu – od podstawowych reakcji odruchowych po świadome decyzje i emocje. Znajomość jego fizjologii ma kluczowe znaczenie praktyczne: pozwala trafnie oceniać stan pacjenta, interpretować objawy, reagować na zmiany w funkcjonowaniu i zachowaniu chorego.

Podstawową jednostką strukturalną i czynnościową układu nerwowego jest **neuron**, czyli komórka nerwowa. W powszechnej świadomości neuron utożsamiany jest z tak zwanym **neuronem wielobiegunowym** – komórką posiadającą wiele **dendrytów** (wypustek odbierających informacje) i jeden długi **akson** (wypustkę przewodzącą informacje do kolejnych komórek lub efektorów). Jednak w obrębie układu nerwowego występuje wiele innych typów komórek nerwowych, różniących się zarówno budową, jak i lokalizacją.

Typy neuronów ze względu na budowę morfologiczną

Neurony dwubiegunowe posiadają tylko dwie wypustki: jedną stanowiącą dendryt i drugą będącą aksonem. Kierunek przewodzenia w takim neuronie jest zawsze taki sam – od dendrytu, przez ciało komórki, do zakończenia aksonu. Kierunek ten nosi nazwę **kierunku ortodromowego**. Neurony dwubiegunowe występują na przykład w siatkówce oka, gdzie stanowią jedną z jej warstw komórkowych.

Neurony pseudojednobiegunowe sprawiają wrażenie, że posiadają tylko jedną wypustkę, jednak w rzeczywistości mają dwie, które w pewnym miejscu biegną bardzo blisko siebie, tworząc pozór jednej wypustki rozdzielającej się na dwie odnogi. Stąd przedrostek „pseudo”. Takie komórki występują w **zwojach rdzeniowych** i są to neurony czuciowe pierwszego rzędu.

Neurony bezaksonowe (np. komórki amakrynowe) nie posiadają aksonu. Występują między innymi w siatkówce oka i mogą pełnić funkcję interneuronów.

Neurony wielobiegunowe – najliczniejszy i najbardziej rozpoznawalny typ, z wieloma dendrytami i jednym aksonem. Ciała tych komórek mogą przyjmować różne kształty, stąd wyróżnia się na przykład **komórki piramidowe** (ze względu na charakterystyczny pokrój ciała komórki).

Kierunek przewodzenia impulsów nerwowych

Niezależnie od typu neuronu, kierunek przewodzenia informacji nerwowej jest zawsze **ortodromowy** – od miejsca zadziałania bodźca (od dendrytu lub ciała komórki) do zakończenia aksonu. Możliwe jest co prawda przewodzenie w kierunku **antydomowym** (odwrotnym), jednak jest to zjawisko sztucznie wywoływane w warunkach laboratoryjnych i nie występuje w warunkach fizjologicznych.

Klasyfikacja czynnościowa neuronów

Z punktu widzenia funkcji wyróżnia się trzy główne grupy neuronów:

- **Neurony czuciowe (afferentne, dośrodkowe)** – przewodzą informacje od receptorów do ośrodkowego układu nerwowego. Ich dendryty połączone są z receptorami, a aksony docierają do odpowiednich ośrodków w rdzeniu kręgowym lub wyższych piętrach ośrodkowego układu nerwowego.

- **Neurony ruchowe (eferentne, odśrodkowe)** – przewodzą informacje z ośrodkowego układu nerwowego do efektorów (mięśni, gruczołów). Są to zazwyczaj neurony mielinowe, choć nie zawsze.
- **Interneurony (neurony pośredniczące)** – łączą neurony czuciowe z ruchowymi lub pośredniczą między innymi grupami neuronów. Odpowiadają za integrację informacji nerwowej w obrębie ośrodkowego układu nerwowego.

Ostonka mielinowa i przewężenia Ranviera

Wiele włókien nerwowych pokrytych jest **ostonką mielinową** – strukturą lipidową pełniącą funkcję izolatora elektrycznego. Ostona mielinowa nie pokrywa aksonu w sposób ciągły – pomiędzy jej segmentami pozostają wolne fragmenty włókna zwane **przewężeniami Ranviera**. Dzięki temu impuls nerwowy może być przewodzony w sposób **skokowy** (od jednego przewężenia do kolejnego), co znacznie przyspiesza przewodzenie – nawet do 150 metrów na sekundę.

Włókna pozbawione ostonyki mielinowej (**włókna bezmielinowe**) przewodzą impulsy znacznie wolniej, bo informacja musi przemieszczać się wzdłuż całej długości aksonu bez możliwości „przeskakiwania”.

Synapsa – podstawy budowy

Na zakończeniu aksonu znajduje się struktura zwana **synapsą**. Synapsa składa się z:

- **elementu presynaptycznego** – należącego do neuronu nadawczego (tzw. kolbka synaptyczna zawierająca pęcherzyki synaptyczne z neuroprzekaznikiem),
- **szczeliny synaptycznej** – wąskiej przestrzeni między komórkami,
- **elementu postsynaptycznego** – należącego do komórki odbiorczej (innego neuronu, komórki mięśniowej lub gruczołowej).

Synapsy mogą tworzyć się między neuronem a innym neuronem, między neuronem a komórką mięśniową (wówczas połączenie nosi nazwę **płytki motorycznej**) oraz między neuronem a komórką gruczołową.

2. Włókna nerwowe – klasyfikacja i znaczenie kliniczne

Dwa systemy klasyfikacji włókien nerwowych

Włókna nerwowe klasyfikuje się według dwóch głównych systemów:

1. **Klasyfikacja Erlangera i Gassera** – dzieli włókna na grupy A, B, C (i podgrupy A α , A β , A γ , A δ).
2. **Klasyfikacja Lloyda i Hunta** – dzieli włókna na cztery grupy (I, II, III, IV), stosowana głównie w odniesieniu do włókien czuciowych z mięśni i ścięgien.

Obie klasyfikacje zostały zestawione w tabeli, w której poszczególne grupy wzajemnie sobie odpowiadają.

Czynniki wpływające na szybkość przewodzenia

Dwa najważniejsze czynniki determinujące szybkość przewodzenia impulsów nerwowych to:

1. Średnica włókna nerwowego

Im większa średnica aksonu, tym mniejsza oporność aksoplazmy (oporność przewodnika jest odwrotnie proporcjonalna do kwadratu jego średnicy). Mniejsza oporność oznacza większą prędkość przewodzenia. Włókna o średnicy do 20 mikrometrów mogą przewodzić z prędkością nawet do 120–150 metrów na sekundę.

2. Obecność ostonyki mielinowej

Mielina umożliwia przewodzenie skokowe (saltatoryczne), co wielokrotnie przyspiesza transmisję impulsu. Włókna mielinowe o dużej średnicy przewodzą najszybciej, natomiast cienkie włókna bezmielinowe – najwolniej (poniżej 2 metrów na sekundę).

Oba czynniki wzajemnie się uzupełniają – największą prędkość osiągają włókna jednocześnie grube i mielinowe.

Przegląd grup włókien i ich funkcje

Grupa (Erlanger-Gasser)	Średnica (μm)	Prędkość (m/s)	Mielina	Funkcja
Aα	12–20	70–120	tak	czucie głębokie, ruchy dowolne
Aβ	5–12	30–70	tak	dotyk, ucisk
Aγ	3–6	15–30	tak	unerwienie wrzecion mięśniowych
Aδ	1–5	5–30	cienka	ból ostry, temperatura
B	<3	3–15	cienka	przedzwojowe włókna autonomiczne
C	0,2–1,5	0,5–2	brak	ból przewlekły, temperatura, przedzwojowe autonomiczne

Znaczenie kliniczne znajomości włókien nerwowych

Znajomość typów włókien nerwowych ma istotne znaczenie praktyczne w kilku obszarach:

Diagnostyka chorób neurologicznych

Istnieją choroby, w których dochodzi do uszkodzenia lub zaniku osłonki mielinowej – tzw. **choroby demielinizacyjne**. Klasycznym przykładem jest **stwardnienie rozsiane (SM)**, w którym utrata mielin prowadzi do opóźnień lub całkowitego zablokowania przewodzenia impulsów nerwowych. Skutkuje to różnorodnymi objawami neurologicznymi, zależnymi od lokalizacji uszkodzenia.

Neuropatie obwodowe

Neuropatie obwodowe atakują najczęściej cienkie, niemielinowe włókna C i Aδ, odpowiedzialne za przewodzenie bólu i temperatury. Objawia się to zaburzeniami czucia – mrowieniem, drętwieniem, brakiem odczuwania temperatury w określonych częściach ciała.

Leczenie bólu

Różne typy włókien przewodzą różne rodzaje bólu:

- włókna **Aδ** – ból szybki, ostry, dobrze zlokalizowany (np. po ułtuciu),
- włókna **C** – ból wolny, tępy, przewlekły, trudny do zlokalizowania.

Znajomość tych różnic pozwala dobierać odpowiednie środki przeciwbólowe i metody znieczulenia. Różne leki działają selektywnie na różne typy włókien nerwowych.

Farmakologia

Środki znieczulające miejscowo blokują kanały sodowe, jednak z różną skutecznością w zależności od grubości włókna i obecności mielin. Cienkie włókna bezmielinowe są bardziej wrażliwe na znieczulenie miejscowe niż grube włókna mielinowe.

3. Sieci neuronalne i komórki glejowe

Typy połączeń między neuronami

Neurony nie funkcjonują w izolacji – tworzą rozbudowane sieci, w których informacja może być przetwarzana na różne sposoby. Wyróżnia się trzy podstawowe typy wzajemnych zależności między neuronami:

Dywergencja (rozbieżność)

Jeden neuron przekazuje impulsy do wielu innych neuronów. Informacja „rozprasza się” i dociera do wielu różnych ośrodków w ośrodkowym układzie nerwowym. Umożliwia to bardziej złożoną i szeroko rozprzestrzenioną integrację informacji nerwowej. Przykład: jeden neuron czuciowy może aktywować wiele różnych ośrodków przetwarzających informację.

Konwergencja (zbieżność)

Na jednym neuronie tworzy się wiele synaps – jeden neuron zbiera informacje z wielu innych neuronów. Dochodzi do integracji i syntezy informacji pochodzącej z różnych źródeł. Przykład: jeden neuron może jednocześnie otrzymywać sygnały z receptorów dotykowych, bólowych i wzrokowych, co pozwala na scalanie informacji z różnych części ciała.

Pętla zwrotna

Sygnał przekazywany przez neurony jest odbierany przez inne komórki nerwowe i następnie wraca do pierwotnej struktury, zamykając tzw. cykl informacyjny. Pętle zwrotne odgrywają kluczową rolę w kontroli różnych funkcji układu nerwowego. Przykład: aby utrzymać odpowiednią postawę ciała i napięcie mięśniowe, musi istnieć krążenie informacji między korą mózgową, mózdzikiem i rdzeniem kręgowym. Kora mózgowa wysyła polecenie ruchu, a informacja zwrotna z obwodu informuje ją, czy ruch został wykonany prawidłowo. Jeśli nie – kora wysyła kolejne sygnały korygujące.

Pętle zwrotne są analogiczne do mechanizmów regulacyjnych w układzie hormonalnym (sprzężenie zwrotne), co podkreśla ich fundamentalne znaczenie w utrzymaniu homeostazy.

Komórki glejowe – budowa i funkcje

Komórki glejowe stanowią drugi, obok neuronów, typ komórek tkanki nerwowej. Ich liczba w układzie nerwowym wielokrotnie przewyższa liczbę neuronów. Komórki glejowe nie przewodzą impulsów nerwowych, ale stwarzają warunki niezbędne do prawidłowego funkcjonowania neuronów.

Komórki glejowe w ośrodkowym układzie nerwowym:

- **Astrocyty** – komórki podporowe, stanowiące rusztowanie dla neuronów. Biorą udział w odżywianiu komórek nerwowych, regulacji składu płynu zewnątrzkomórkowego, tworzeniu **bariery krew-mózg** oraz naprawie tkanki nerwowej po uszkodzeniu.
- **Oligodendrocyty** – odpowiedzialne za tworzenie **osłonek mielinowych** w ośrodkowym układzie nerwowym. Jeden oligodendrocyt może mielinizować fragmenty wielu różnych aksonów jednocześnie. Biorą też udział w odżywianiu komórek nerwowych.
- **Mikroglej (komórki gleju drobnokomórkowego)** – komórki o zdolności do poruszania się (migracji). Pełnią funkcje **immunologiczne** – działają jako komórki żerne (fagocyty), usuwając obumarłe komórki, patogeny i produkty przemiany materii. Stanowią element układu odpornościowego ośrodkowego układu nerwowego.
- **Ependymocyty** – komórki przypominające nabłonek, ściśle ze sobą połączone. Wyścielają komory mózgu i kanał centralny rdzenia kręgowego. Biorą udział w wytwarzaniu i transporcie płynu mózgowo-rdzeniowego oraz w przekazywaniu substancji chemicznych między komórkami.

Komórki glejowe w obwodowym układzie nerwowym:

- **Komórki Schwanna** – odpowiednik oligodendrocytów w obwodowym układzie nerwowym. Tworzą osłonki mielinowe wokół aksonów nerwów obwodowych. W odróżnieniu od oligodendrocytów, jedna komórka Schwanna mielinizuje tylko jeden odcinek jednego aksonu.
- **Komórki satelitarne** – otaczają ciała komórek nerwowych w zwojach obwodowych, pełniąc funkcję podporową i odżywczą.

Wiele komórek glejowych, niezależnie od lokalizacji, wydziela **czynniki neurotroficzne** (np. BDNF, NGF), które wspomagają rozwój, przeżycie i prawidłowe funkcjonowanie neuronów.

4. Pobudliwość komórek – potencjał spoczynkowy i czynnościowy

Definicja pobudliwości

Pobudliwość jest cechą wyłącznie komórek żywych. Dzięki pobudliwości bodźce wywołują reakcje organizmu będące odwracalnymi i nieszkodliwymi zmianami stanu organizmu. Pobudliwość oznacza zdolność komórki do odbierania bodźców i adekwatnego reagowania na nie. Na poziomie całego organizmu odbiór bodźców odbywa się za pośrednictwem receptorów (zarówno zewnętrznych – eksteroreceptorów, jak i wewnętrznych – interoreceptorów). Na poziomie komórkowym miejscem odbioru bodźców jest **błona komórkowa**.

Właściwości błony komórkowej warunkujące pobudliwość

Błona komórkowa posiada trzy kluczowe cechy:

1. **Selektywna przepuszczalność** – nie każdy związek przechodzi przez błonę swobodnie; przepuszczalność zależy m.in. od rozmiaru cząsteczek i obecności odpowiednich kanałów.
2. **Aktywny transport** – w błonie obecne są pompy, wymienniki, nośniki i kanały jonowe, które umożliwiają aktywny transport substancji wbrew gradientowi stężeń.
3. **Zmiana przepuszczalności po zadziałaniu bodźca** – pod wpływem bodźca otwierają się określone kanały jonowe, co prowadzi do zmian elektrycznych w błonie.

Bodziec progowy i próg pobudliwości

Bodziec progowy to minimalna siła bodźca, która jest w stanie wywołać odpowiedź komórki w postaci **potencjału czynnościowego**. Jest to punkt graniczny, po przekroczeniu którego komórka zaczyna reagować.

Bodźce słabsze od progowego (**bodźce podprogowe**) wywołują jedynie niewielkie, lokalne zmiany w błonie komórkowej, które nie mają zdolności do rozprzestrzeniania się. Pompa sodowo-potasowa szybko przywraca stan wyjściowy.

Dopiero osiągnięcie lub przekroczenie wartości progowej uruchamia gwałtowną depolaryzację błony i powstanie potencjału czynnościowego.

Miara pobudliwości: bardziej pobudliwa jest ta tkanka, która ma **niższy próg pobudliwości** – czyli ta, którą pobudza słabszy bodziec. Tkanka nerwowa jest bardziej pobudliwa niż tkanka mięśniowa.

W neuronie:

- wartość **potencjału spoczynkowego** wynosi około **-70 mV**,
- **próg pobudliwości** wynosi około **-55 mV**.

Potencjał spoczynkowy – mechanizm powstawania

Potencjał spoczynkowy to różnica ładunków elektrycznych między wnętrzem komórki a jej otoczeniem w stanie spoczynku (gdy na błonę nie działa żaden bodziec). Wynosi około **-70 mV** (wnętrze jest elektrycznie ujemne względem zewnątrz).

Potencjał spoczynkowy powstaje w wyniku trzech mechanizmów:

1. Nierównomierne rozmieszczenie jonów po obu stronach błony:

- w środowisku **zewnątrzkomórkowym** dominują jony **sodowe (Na^+)** – stężenie 10–15 razy wyższe niż wewnątrz, oraz jony **chlorkowe (Cl^-)** – stężenie 10–15 razy wyższe niż wewnątrz,
- w środowisku **wewnątrzkomórkowym** dominują jony **potasowe (K^+)** – stężenie 20–30 razy wyższe niż na zewnątrz, oraz **aniony białkowe** – stężenie 30-krotnie wyższe niż na zewnątrz.

2. Selektywna przepuszczalność błony:

Błona komórkowa jest bardziej przepuszczalna dla jonów potasowych niż sodowych. Potas łatwiej wypływa na zewnątrz, pozostawiając wewnątrz komórki bardziej elektrycznie ujemne. Aniony białkowe ze względu na swoje rozmiary nie mogą opuścić komórki, co dodatkowo zwiększa elektryczną ujemność wnętrza.

3. Pompa sodowo-potasowa (ATPaza Na^+/K^+):

Pompa aktywnie transportuje jony wbrew gradientowi stężeń: na każde **3 jony Na^+ wypompowane na zewnątrz** wpompowuje do wnętrza **2 jony K^+** . Efektem netto jest usuwanie większej liczby ładunków dodatnich z wnętrza komórki, co utrzymuje elektryczną ujemność wnętrza.

Pompa sodowo-potasowa wymaga do działania: stałego dopływu glukozy i tlenu (ciągłej syntezy ATP), odprowadzenia metabolitów oraz odpowiedniego stężenia jonów magnezu (aktywatory enzymu).

Gdyby doszło do wyrównania ładunków po obu stronach błony, komórka nie byłaby w stanie reagować na bodźce – byłaby martwa. Stan polaryzacji błony jest zatem warunkiem życia komórki.

Potencjał czynnościowy – fazy i mechanizm

Potencjał czynnościowy to dynamiczna zmiana potencjału błonowego, która powstaje po zadziałaniu bodźca o sile równej lub wyższej od bodźca progowego i ma zdolność do **rozprzestrzeniania się** wzdłuż aksonu.

Potencjał czynnościowy przebiega w kilku etapach:

Faza 1 – depolaryzacja (ramię wstępujące wykresu):

Bodziec progowy powoduje otwarcie **napięciозależnych kanałów sodowych**. Jony Na^+ gwałtownie napływają do wnętrza komórki. Potencjał błonowy zmienia się z -70 mV do wartości dodatnich (+20 do +30 mV). Wnętrze staje się elektrododatnie – błona jest **zdepolaryzowana**.

Faza 2 – repolaryzacja (ramię zstępujące wykresu):

Kanały sodowe zaczynają się zamykać, a otwierają się **kanały potasowe**. Jony K^+ wypływają na zewnątrz komórki, przywracając elektryczną ujemność wnętrza.

Faza 3 – hiperpolaryzacja:

Wypływ jonów K^+ jest nieco nadmierny, co powoduje, że potencjał spada **poniżej wartości spoczynkowej** (np. do -80 lub -85 mV). Ten stan nosi nazwę hiperpolaryzacji.

Faza 4 – przywrócenie stanu spoczynkowego:

Pompa sodowo-potasowa przywraca prawidłowe rozmieszczenie jonów po obu stronach błony (3 Na^+ na zewnątrz, 2 K^+ do środka), przywracając potencjał spoczynkowy -70 mV.

Cechy potencjału czynnościowego

- **Stała amplituda** – jeśli tylko siła bodźca przekroczy próg pobudliwości, potencjał czynnościowy ma zawsze taką samą amplitudę (zasada „wszystko albo nic”).
- **Zdolność do rozprzestrzeniania się** – fala depolaryzacji przemieszcza się wzdłuż aksonu od miejsca zadziałania bodźca do zakończenia aksonu.

Kluczowe pojęcia elektryczne

Pojęcie	Definicja
Polaryzacja	Różnica ładunku elektrycznego między wnętrzem a zewnątrz błony w stanie spoczynku (wnętrze ujemne)
Depolaryzacja	Zmniejszenie elektroujemności wnętrza (lub przejście do wartości dodatnich)
Repolaryzacja	Powrót do wartości spoczynkowej po depolaryzacji
Hiperpolaryzacja	Zwiększenie elektroujemności wnętrza poniżej wartości spoczynkowej

5. Synapsy i neuroprzekaźniki

Synapsy chemiczne – budowa i mechanizm działania

Gdy fala depolaryzacji dociera do zakończenia aksonu (kolbki synaptycznej), dochodzi do przekazania informacji na kolejną komórkę za pośrednictwem **synapsy chemicznej**. Mechanizm ten przebiega następująco:

1. Fala depolaryzacji dociera do kolbki synaptycznej.
2. Dochodzi do napływu jonów **wapnia (Ca^{2+})** do elementu presynaptycznego – wapń odgrywa kluczową rolę w opróżnianiu pęcherzyków synaptycznych.
3. **Pęcherzyki synaptyczne** zderzają się z błoną presynaptyczną i uwalniają **neuroprzekaźnik** do szczeliny synaptycznej.
4. Neuroprzekaźnik dyfunduje przez szczelinę synaptyczną i wiąże się ze **specyficznymi receptorami** na błonie postsynaptycznej.
5. Połączenie neuroprzekaźnik–receptor powoduje lokalne zmiany depolaryzacyjne lub hiperpolaryzacyjne na błonie postsynaptycznej.
6. Lokalne depolaryzacje sumują się, a po osiągnięciu progu pobudliwości wyzwalany jest nowy potencjał czynnościowy.

Oprócz synaps chemicznych istnieją **synapsy elektryczne**, w których szczelina synaptyczna jest kilkukrotnie węższa (kilka nanometrów zamiast ~20 nm). W synapsach elektrycznych impuls może bezpośrednio „przeskoczyć” z jednej komórki na drugą bez udziału neuroprzekaźnika. Synaps elektrycznych jest znacznie mniej niż chemicznych.

Warunki, jakie musi spełniać neuroprzekaźnik

Nie każda substancja chemiczna może pełnić funkcję neuroprzekaźnika. Musi ona:

- być obecna w synapsie i być syntezowana w komórce nerwowej,
- być uwalniana po zadziałaniu bodźca (po napływie Ca^{2+}),
- działać na specyficzne receptory w błonie postsynaptycznej,
- być inaktywowana po spełnieniu swojej funkcji (przez enzymy lub wychwyt zwrotny).

Synapsy pobudzające i hamujące

Synapsy pobudzające – neuroprzekaźnik wywołuje **depolaryzację** błony postsynaptycznej (napływ jonów Na^+). Potencjał postsynaptyczny nosi nazwę **EPSP** (ang. excitatory postsynaptic potential – pobudzający potencjał postsynaptyczny). Przykłady neuroprzekaźników pobudzających: **acetylocholina**, **adrenalina**, **noradrenalina**, **serotonina**.

Synapsy hamujące – neuroprzekaźnik wywołuje **hiperpolaryzację** błony postsynaptycznej (napływ jonów Cl^- lub wypływ K^+). Potencjał postsynaptyczny nosi nazwę **IPSP** (ang. inhibitory postsynaptic potential – hamujący potencjał postsynaptyczny). Przykłady neuroprzekaźników hamujących: **GABA** (kwas gamma-aminomasłowy) i **glicyna**.

Inaktywacja neuroprzekaźników

Po spełnieniu swojej funkcji neuroprzekaźnik musi zostać usunięty ze szczeliny synaptycznej, aby synapsa mogła przyjąć kolejne pobudzenie. Odbywa się to na dwa sposoby:

1. **Rozkład enzymatyczny** – enzymy rozkładają neuroprzekaźnik do produktów niewiążących się z receptorem. Przykład: **esteraza acetylocholinowa** rozkłada acetylocholinę do kwasu octowego i cholicy. Acetylocholina korzysta wyłącznie z tej drogi inaktywacji – nie ma dla niej transportera zwrotnego.

1. **Wychwyt zwrotny (reuptake)** – transporter w błonie presynaptycznej pobiera neuroprzekaźnik z powrotem do kolbki synaptycznej. Dotyczy to m.in. dopaminy, serotoniny i noradrenaliny.

Znaczenie kliniczne i farmakologiczne

Mechanizm wychwytu zwrotnego jest celem działania wielu leków:

- **Inhibitory wychwytu zwrotnego serotoniny (SSRI)** – blokują transporter serotoninowy, zwiększając stężenie serotoniny w szczeliny synaptycznej. Stosowane w leczeniu depresji.
- **Inhibitory wychwytu zwrotnego noradrenaliny i serotoniny (SNRI)** – działają podobnie, ale na oba transportery.
- **Kokaina i amfetamina** – blokują transportery dopaminowe, powodując nagromadzenie dopaminy w szczeliny synaptycznej i uczucie euforii. To mechanizm uzależniający tych substancji.

Główne neuroprzekaźniki i ich funkcje

Neuroprzekaźnik	Główne funkcje	Zaburzenia przy niedoborze
Dopamina	Odczuwanie przyjemności, motywacja, kontrola ruchów	Choroba Parkinsona, depresja, uzależnienia
Serotonina	Stan relaksu, nastrój, sen	Depresja, zaburzenia lękowe, bezsenność
Noradrenalina	Czułość, koncentracja, reakcja na stres	Depresja, zaburzenia uwagi
Acetylocholina	Przebiegłość nerwowo-mięśniowa, pamięć	Choroba Alzheimera, miastenia
GABA	Hamowanie aktywności neuronów, redukcja lęku	Padaczka, zaburzenia lękowe
Glicyna	Hamowanie w rdzeniu kręgowym	Hiperrefleksja, sztywność mięśni

Dopamina, serotonina i noradrenalina razem odpowiadają za prawidłowe procesy emocjonalne, funkcje poznawcze i nastrój. Zaburzenia w syntezie lub metabolizmie któregoś z nich mogą prowadzić do stanów od manii po depresję, zaburzeń lękowych, fobii społecznych, choroby afektywnej dwubiegunowej czy zaburzeń snu.

Układy neuroprzekaźnikowe (szlaki mediatorowe)

W układzie nerwowym wyróżnia się tzw. **układy neuroprzekaźnikowe** – zespoły neuronów, na zakończeniach których wydzielany jest określony neuroprzekaźnik. Przykłady:

- **szlak adrenergiczny** (działający poprzez adrenalinę/noradrenalinę),
- **szlak dopaminergiczny** (działający poprzez dopaminę),
- **szlak serotoninergiczny** (działający poprzez serotoninę).

Ważne jest, że nie wszystkie szlaki neuroprzekaźnikowe docierają do wszystkich struktur ośrodkowego układu nerwowego. Niektóre docierają tylko do wzgórza, inne do hipokampa, wszystkie zaś do kory mózgowej. Rozmieszczenie szlaków jest ściśle związane z funkcjami poszczególnych struktur mózgowia.

6. Podział układu nerwowego – topograficzny i czynnościowy

Kluczowe pojęcia anatomiczne

Przed omówieniem podziału układu nerwowego warto utrwalić podstawowe pojęcia anatomiczne:

- **Nerw** – równolegle biegnąca wiązka włókien nerwowych, spojona tkanką łączną. Nerwy mogą być czuciowe, ruchowe lub **mieszane** (zawierające włókna czuciowe, ruchowe i autonomiczne).
- **Splot nerwowy** – miejsce, w którym dochodzi do wymieszania się nerwów między sobą. Przykład: **splot słoneczny** (największy splot autonomiczny w organizmie, zlokalizowany w jamie brzusznej za żołądkiem, na wysokości pierwszego kręgu lędźwiowego). Splot słoneczny unerwia narządy jamy brzusznej (żołądek, wątrobę, trzustkę, nerki, jelita) i reguluje funkcje wegetatywne (trawienie, perystaltykę, wydzielanie

enzymów). Uderzenie w splot słoneczny może wywołać silny ból, skurcz przepony, chwilowe zatrzymanie oddechu i uczucie paraliżu.

- **Zwój** – skupienie ciał komórek nerwowych **poza** ośrodkowym układem nerwowym (u kręgowców).

Przykład: **zwój rdzeniowy** (zwój kręgowy).

- **Jądro nerwowe** – skupienie ciał komórek nerwowych **w obrębie** ośrodkowego układu nerwowego. Odpowiednik zwoju, ale zlokalizowany centralnie. Wyróżnia się jądra czuciowe, ruchowe i autonomiczne.

Podział topograficzny (anatomiczny)

Układ nerwowy dzieli się na:

Ośrodkowy układ nerwowy (OUN):

- **Mózgowie** (zawarte w jamie czaszki):
- **Mózg** (kresomózgowie) – dwie półkule mózgowe,
- **Pień mózgu** – śródmózgowie, most, rdzeń przedłużony,
- **Mózdżek**.
- **Rdzeń kręgowy** (zawarty w kanale kręgowym).

Uwaga terminologiczna: w języku potocznym „mózgiem” nazywa się często całą zawartość jamy czaszki. Prawdźlowo **mózgiem** jest tylko **kresomózgowie**, natomiast całość struktur w jamie czaszki (mózg + pień mózgu + mózdzek) to **mózgowie**.

Obwodowy układ nerwowy (OUN obwodowy):

- **12 par nerwów czaszkowych** – związanych z elementami mózgowia,
- **31 par nerwów rdzeniowych** – wychodzących z poszczególnych neuromerów rdzenia kręgowego.

Nerwy czaszkowe – charakterystyka

Nerwy czaszkowe dzielą się na:

Nerwy czysto czuciowe:

- I – nerw węchowy (błona węchowa nosa),
- II – nerw wzrokowy (siatkówka oka),
- VIII – nerw przedsionkowo-ślimakowy (ucho wewnętrzne).

Nerwy gównie ruchowe (z niewielką komponentą czuciową):

- III – nerw okoruchowy,
- IV – nerw błoczkowy,
- VI – nerw odwodzący,
- XI – nerw dodatkowy,
- XII – nerw podjęzykowy.

Nerwy mieszane (czuciowo-ruchowe):

- V – nerw trójdzielny (najgrubszy nerw czaszkowy; trzy gałęzie: oczna, szczękowa, żuchwowa; odpowiada m.in. za czucie bólu zębów; uczestniczy w odruchach: rogówkowym, spojówkowym, nosowym),
- VII – nerw twarzowy,
- IX – nerw językowo-gardłowy,
- X – nerw błędny (najdłuższy nerw czaszkowy; unerwia narządy klatki piersiowej, jamy brzusznej, a nawet miednicy mniejszej).

Nerwy zawierające włókna przywspółczulne: III, VII, IX, X.

Lokalizacja jąder nerwów czaszkowych w pniu mózgu:

- nerwy IX, X, XI, XII – jądra w **rdzeniu przedłużonym**,
- nerwy V, VI, VII, VIII – jądra w **moście**,
- nerwy III, IV – jądra w **śródmózgowiu**,
- nerwy I, II – związane z narządami zmysłów, docierają do kresomózgowia.

Nerwy rdzeniowe i dermatomy

31 par nerwów rdzeniowych odpowiada 31 neuromerom (segmentom) rdzenia kręgowego:

- 8 par szyjnych (C1–C8),
- 12 par piersiowych (Th1–Th12),
- 5 par lędźwiowych (L1–L5),
- 5 par krzyżowych (S1–S5),

- 1–2 pary guziczne.

Każdy nerw rdzeniowy powstaje z połączenia **korzenia grzbietowego** (czuciowego, zawierającego zwój rdzeniowy z ciałami neuronów czuciowych I rzędu) i **korzenia brzuszego** (ruchowego, zawierającego aksony motoneuronów z rogów przednich rdzenia kręgowego). Informacja zawsze wchodzi do rdzenia przez rogi tylne, a wychodzi przez rogi brzuszne.

Dermatomy to obszary skóry unerwione przez pojedyncze nerwy rdzeniowe. Każdy dermatom odpowiada konkretnemu segmentowi rdzenia kręgowego. Znajomość dermatomów ma zastosowanie kliniczne:

- **diagnostyka neurologiczna** – ból, mrowienie lub brak czucia w określonym obszarze skóry pozwala zlokalizować uszkodzenie nerwu rdzeniowego,
- **diagnostyka chorób** – np. półpasiec atakuje konkretne dermatomy, co objawia się charakterystycznym rozmieszczeniem zmian skórnych,
- **chirurgia** – wiedza o dermatomach pomaga unikać uszkodzenia nerwów podczas operacji.

Podział czynnościowy układu nerwowego

Układ nerwowy somatyczny:

- efektory: mięśnie poprzecznie prążkowane (szkieletowe),
- steruje czynnościami zależnymi od woli,
- dzieli się na układ **piramidowy** (ruchy dowolne, precyzyjne, uświadamiane) i **pozapiramidowy** (ruchy mimowolne, zautomatyzowane, napięcie mięśniowe, postawa ciała).

Układ nerwowy autonomiczny:

- efektory: mięśnie gładkie, mięsień sercowy, gruczoły,
- steruje czynnościami niezależnymi od woli,
- dzieli się na część **współczulną** (sympatyczną) i **przywspółczulną** (parasympatyczną), które często działają antagonistycznie.

7. Rdzeń kręgowy – budowa, drogi nerwowe i odruchy

Budowa ogólna rdzenia kręgowego

Rdzeń kręgowy wypełnia kanał kręgowy, jednak nie w całości – sięga mniej więcej do poziomu **pierwszego kręgu lędźwiowego (L1)**. Poniżej tego poziomu zwisają nerwy odchodzące od ostatnich segmentów rdzenia, tworząc tzw. **koński ogon**. W obrębie końskiego ogona przebiega też **nić końcowa**, łącząca rdzeń z kością guziczną i utrzymująca go w stabilnym położeniu.

Rdzeń kręgowy posiada dwa charakterystyczne **zgrubienia**:

- **zgrubienie szyjne** – zawiera ośrodki ruchowe dla kończyn górnych,
- **zgrubienie lędźwiowe** – zawiera ośrodki ruchowe dla kończyn dolnych.

Rdzeń kręgowy zbudowany jest z **31 neuromerów** (segmentów), z których każdy daje początek jednej parze nerwów rdzeniowych.

Istota szara i istota biała rdzenia kręgowego

Na przekroju poprzecznym rdzenia kręgowego widoczne są dwie struktury:

Istota szara – skupienie ciał komórek nerwowych, zlokalizowana centralnie, w kształcie litery H lub motyla. Wyróżnia się:

- **rogi tylne** – zawierają ośrodki czuciowe (ciała neuronów czuciowych II rzędu, m.in. w warstwach IV i V według podziału Rexeda); tu docierają informacje z receptorów,
- **rogi boczne** – zawierają ośrodki układu autonomicznego; **nie występują we wszystkich neuromerach** – ośrodki współczulne w segmentach piersiowych i lędźwiowych, ośrodki przywspółczulne w segmentach krzyżowych,
- **rogi przednie** – zawierają jądra ruchowe z **motoneuronami** (warstwa IX według Rexeda); stąd wychodzą aksony neuronów ruchowych.

Istota biała – skupienie włókien nerwowych (głównie mielinowych), otaczająca istotę szarą. Tworzy trzy pary **powrózków** (sznurów):

- **powrózki tylne** – zawierają szlaki wstępujące (czuciowe),
- **powrózki boczne** – zawierają zarówno szlaki wstępujące, jak i zstępujące,
- **powrózki przednie** – zawierają głównie szlaki zstępujące (ruchowe).

Zasada rozmieszczenia włókien w powróżkach: włókna z niższych części ciała biegną bardziej przyśrodkowo, a dotychczas się włókna z wyższych części zajmują położenie bardziej boczne.

Drogi wstępujące (odrdzeniowe) – czuciowe

Powróżki tylne zawierają dwa pęczki:

- **pęczek smukły (Golla)** – przewodzi czucie głębokie (propriocepcję) i dotyk precyzyjny z kończyn dolnych i dolnych części tułowia,
- **pęczek klinowaty (Burdacha)** – przewodzi te same rodzaje czucia z klatki piersiowej i kończyn górnych.

Czucie głębokie to czucie pochodzące z narządu ruchu (torebek stawowych, mięśni, więzadeł) – daje poczucie położenia części ciała względem siebie.

Drogi w powróżkach bocznych i przednich:

Droga	Powróżek	Rodzaj czucia	Cel
Rdzeniowo-wzgórzowo-boczna	boczny	ból i temperatura	kora mózgowa (przez wzgórze)
Rdzeniowo-wzgórzowo-przednia	przedni	dotyk prosty (nieprecyzyjny), ucisk	kora mózgowa (przez wzgórze)
Rdzeniowo-mózdkowa tylna	boczny	propriocepcja (z kończyn dolnych)	mózdek
Rdzeniowo-mózdkowa przednia	boczny	propriocepcja	mózdek

Drogi rdzeniowo-mózdkowe rozpoczynają się m.in. w **słupach Clarka** (uwypuklenia rogów tylnych).

Drogi zstępujące (dordzeniowe) – ruchowe

Drogi piramidowe (rozpoczynają się w korze mózgowej):

- **droga korowo-rdzeniowa** – steruje precyzyjnymi ruchami dowolnymi; dzieli się na część boczną i przednią.

Drogi pozapiramidowe (rozpoczynają się w różnych strukturach pnia mózgu i jądrach podkorowych):

- **droga czerwienno-rdzeniowa** – z jądra czerwienego śródmózgowia; koordynacja ruchów,
- **droga przedsionkowo-rdzeniowa** – z jąder przedsionkowych mostu; utrzymanie równowagi,
- **droga siatkowo-rdzeniowa** – głównie z rdzenia przedłużonego; regulacja napięcia mięśniowego i postawy.

Odruchy rdzeniowe

Odruch to stereotypowa, powtarzalna i przewidywalna odpowiedź efektor na bodziec działający na receptor, zachodząca za pośrednictwem ośrodkowego układu nerwowego. Podstawą odruchów są **łuki odruchowe** składające się z pięciu elementów: receptor → neuron aferentny → ośrodek nerwowy → neuron eferentny → efektor.

Łuki monosynaptyczne – jedna synapsa między neuronem czuciowym a ruchowym:

- przykład: **odruch na rozciąganie (odruch kolanowy)** – uderzenie w ścięgno mięśnia czworogłowego uda wywołuje skurcz tego mięśnia i wyprost kończyny. Receptor: wrzeciono mięśniowe. Łuk zamyka się na poziomie rdzenia lędźwiowego.

Łuki bisynaptyczne – dwie synapsy (jeden interneuron):

- przykład: **odwrócony odruch na rozciąganie (odruch ścięgniasty Golgiego)** – nadmierne napięcie mięśnia aktywuje ciała Golgiego w ścięgnię, co przez interneuron hamuje motoneuron tego samego mięśnia, prowadząc do jego rozluźnienia. Chroni mięśnie i ścięgna przed uszkodzeniem.

Łuki polisynaptyczne – więcej niż dwie synapsy:

- przykład: **odruch zginania** – zadziaływanie bodźca bólowego na kończynę powoduje jej zgięcie i cofnięcie. Mechanizm obejmuje:
- pobudzenie zginaczy i hamowanie prostowników kończyny ipsilateralnej (tej, której dotyczyło zranienie),
- pobudzenie prostowników i hamowanie zginaczy kończyny kontralateralnej (przeciwniej) – konieczne do przeniesienia ciężaru ciała.

Część informacji biegnie też do wyższych pięter OUN drogą rdzeniowo-wzgórzowo-boczną.

Płyn mózgowo-rdzeniowy

Płyn mózgowo-rdzeniowy (PMR) powstaje w **splotach naczyniówkowych** komór mózgu (komory boczne, komora trzecia, komora czwarta). Krąży przez układ komorowy (komory boczne → otwór międzykomorowy → komora trzecia → wodociąg Sylwiusza → komora czwarta → otwór Magendiego → zbiornik

podpajęczynówkowy), omywa cały OUN i jest wchłaniany przez **ziarnistości pajęczynówki**.

Objętość PMR: około **135 ml**, wymiana czterokrotna w ciągu 24 godzin.

Funkcje PMR:

- **amortyzacja** – ochrona przed urazami mechanicznymi,
- **transport chemiczny** – przenoszenie substancji chemicznych między strukturami OUN,
- **wyrównywanie ciśnienia** wewnątrzczaszkowego.

PMR ma zastosowanie diagnostyczne – pobierany jest najczęściej w **nakłuciu lędźwiowym** (poniżej L1, gdzie rdzeń już się kończy, a w kanale kręgowym pozostaje tylko koński ogon). Skład PMR różni się od osocza głównie znacznie niższą zawartością białek.

8. Pień mózgu, twór siatkowaty i mózdzek

Pień mózgu – ogólna charakterystyka i znaczenie

Pień mózgu obejmuje trzy struktury: **rdzeń przedłużony**, **most** i **śródmózgowie**. Jest to obszar o kluczowym znaczeniu życiowym, ponieważ:

1. Zlokalizowane są tu **jądra nerwów czaszkowych** (ruchowe, czuciowe i autonomiczne) – unerwiają mięśnie głowy i szyi, przekazują informacje czuciowe (smak, słuch, równowaga) i unerwiają przywspółczulnie narządy wewnętrzne.
2. Przez pień mózgu **przepływają wszystkie drogi nerwowe** łączące rdzeń kręgowy z wyższymi piętrami OUN (zarówno wstępujące, jak i zstępujące).
3. W całym pniu mózgu (i wyżej) rozciąga się **twór siatkowaty**.

Rdzeń przedłużony

Rdzeń przedłużony jest dolną częścią pnia mózgu, bezpośrednio łączącą się z rdzeniem kręgowym. Zawiera:

- **jądra pęczka smukłego i pęczka klinowego** – stacje przekaźnikowe dla dróg czucia głębokiego i dotyku precyzyjnego z rdzenia kręgowego,
- **jądra oliwki** – połączenia z mózdzkiem i rdzeniem kręgowym,
- **jądra nerwów IX, X, XI, XII**,
- **ośrodki życiowe**: ośrodek oddechowy, ośrodek sercowy (zwalniający pracę serca), ośrodek naczyniowo-ruchowy, ośrodek wymiotny, ośrodek kaszlu, ośrodek połykania.

Uszkodzenie rdzenia przedłużonego jest bezpośrednio zagrażające życiu.

Most

Most jest środkową częścią pnia mózgu, leżącą powyżej rdzenia przedłużonego. Zawiera:

- **jądra przedsionkowe** – punkt startowy szlaku przedsionkowo-rdzeniowego (układ pozapiramidowy, utrzymanie równowagi),
- **ciało czworoboczne** – element układu słuchowego,
- **ośrodki oddechowe** – ośrodek pneumotaksyczny i apneustyczny regulujące rytm oddychania,
- **jądra nerwów V, VI, VII, VIII**,
- elementy tworzącego siatkowatego.

Śródmózgowie

Śródmózgowie jest najwyższą częścią pnia mózgu. Na przekroju poprzecznym wyróżnia się trzy części:

- **blaszka czworacza z wzgórkami czworaczymi** – wzgórki górne (droga wzrokowa) i wzgórki dolne (droga słuchowa),
- **nakrywka śródmózgowia** – zawiera m.in. twór siatkowaty,
- **konary mózgu** – drogi piramidowe i inne szlaki.

Ważne struktury śródmózgowia:

- **Jądro czerwienne** – element układu pozapiramidowego; stacja przekaźnikowa między mózdzkiem a rdzeniem kręgowym (szlak czerwienno-rdzeniowy). Uszkodzenie powoduje drżenia zamiarowe i ruchy mimowolne.
- **Istota czarna** – zawiera komórki bogate w melanine (stąd ciemne zabarwienie). Anatomicznie i funkcjonalnie związana z jądrami podkorowymi kresomózgowia. Szlak **nigrostracjalny** (od istoty czarnej do jąder podstawy) jest kluczowy w chorobie Parkinsona – degeneracja neuronów dopaminergicznych istoty

czarnej prowadzi do charakterystycznych objawów tej choroby.

- **Jądro Westphala-Edingera** – odpowiedzialne za odruchy żreniczne.
- **Wodociąg Sylwiusza** – łączy komorę trzecią (międzymózgowie) z komorą czwartą (pień mózgu).

Twór siatkowaty – funkcje i znaczenie

Twór siatkowaty to rozległa sieć neuronów i włókien nerwowych, przebiegająca przez cały pień mózgu i sięgająca do wzgórza. Nie ma ścisłej lokalizacji anatomicznej – stąd nazwa „twór” (a nie „układ”), podkreślająca pozorny brak uporządkowania.

Twór siatkowaty tworzy wszechstronne połączenia z wieloma obszarami mózgowia:

- **część wstępująca** – przewodzi impulsy do kory mózgowej, jąder podstawnych, międzymózgowia,
- **część zstępująca** – łączy się z rdzeniem kręgowym przez drogi siatkowo-rdzeniowe (przysrodkową i boczną).

Funkcje tworu siatkowatego:

1. **Aktywacja kory mózgowej** – twór siatkowaty jest niezbędny do funkcjonowania kory mózgowej. Bez jego pobudzającego wpływu kora nie mogłaby realizować swoich wyższych funkcji (myślenie, świadomość). Analogia: kora mózgowa to pracownicy na piętrze budynku, a twór siatkowaty to zaplecze techniczne (prąd, internet) umożliwiające ich pracę.

1. **Regulacja stanów czuwania i snu** – twór siatkowaty śródmózgowia jest bezpośrednio odpowiedzialny za stan przytomności lub nieprzytomności. Uszkodzenie tej struktury może prowadzić do śpiączki.

1. **Wybiórczość uwagi** – fragment tworu siatkowatego w obrębie wzgórza (niespecyficzny układ wzgórzowy) selektywnie aktywuje określone obszary kory mózgowej, umożliwiając skupienie uwagi na ważnych bodźcach przy jednoczesnym hamowaniu nieistotnych. Analogia: twór siatkowaty pnia mózgu „rozświeśla” całą korę, a układ wzgórzowy działa jak reflektor punktowy, skupiając uwagę na wybranych aspektach rzeczywistości.

1. **Regulacja napięcia mięśniowego i postawy ciała** – przez drogi siatkowo-rdzeniowe.

1. **Udział w procesach termoregulacji** i innych funkcjach wegetatywnych.

Móżdżek – budowa i funkcje

Móżdżek jest strukturą należącą do tyłomózgowia, zlokalizowaną w tylnej jamie czaszki, poniżej płatów potylicznych półkul mózgu. Zbudowany jest z dwóch półkul móżdżku połączonych **robakiem** i pokryty **korą móżdżku** (trójwarstwową, w odróżnieniu od sześciowarstwowej kory mózgu).

Podział filogenetyczny móżdżku:

- **Archicerebellum** (móżdżek stary) – najstarsza część, związana z utrzymaniem równowagi i regulacją napięcia mięśniowego,
- **Paleocerebellum** (móżdżek dawny) – związany z koordynacją ruchów tułowia i kończyn,
- **Neocerebellum** (móżdżek nowy) – najnowsza filogenetycznie część, odpowiedzialna za precyzyjne, skoordynowane ruchy; ściśle współpracuje z korą mózgową.

Funkcje móżdżku:

- koordynacja ruchów,
- utrzymanie równowagi,
- utrzymanie napięcia mięśniowego,
- wykonywanie precyzyjnych ruchów,
- uczenie się ruchowe,
- udział w procesach poznawczych.

Móżdżek jako komparator

Móżdżek sam w sobie **nie inicjuje ruchu** – tę funkcję pełni kora mózgowa (układ piramidowy). Natomiast móżdżek pełni funkcję **komparatora** – porównuje ruch zadany przez korę mózgową z ruchem faktycznie wykonanym na obwodzie i zwrótnie przesyła informację korygującą do kory.

Mechanizm:

1. Kora mózgowa wysyła polecenie ruchu do mięśni (drogami piramidowymi) i jednocześnie informuje móżdżek o planowanym ruchu (drogami korowo-móżdżkowymi).
2. Móżdżek otrzymuje informację zwrótną z obwodu (z mięśni, stawów, więzadeł, narządów zmysłów) o tym, jak ruch jest wykonywany.
3. Móżdżek porównuje ruch zadany z wykonanym i wysyła sygnały korygujące do kory mózgowej.

Połączenia mózdzku z rdzeniem kręgowym nie są bezpośrednie – informacja z mózdzku do rdzenia kręgowego przechodzi przez stacje przekaźnikowe, m.in. **jądro czerwienne** śródmózgowia (szlak czerwienno-rdzeniowy), **jądra przedsionkowe** mostu i **jądra siatkowate** rdzenia przedłużonego.

Objawy uszkodzenia mózdzku

Uszkodzenie mózdzku powoduje charakterystyczne objawy, przypominające objawy zatrucia alkoholem (alkohol działa preferencyjnie na mózdzek):

Objaw	Opis
Astazja	zaburzenie równowagi podczas stania
Abazja	zaburzenie równowagi podczas chodzenia
Ataksja	niezborność ruchów, trudności w płynnym i dokładnym wykonywaniu ruchów
Drżenia zamiarowe	drżenie nasilające się przy zbliżaniu do celu ruchu (np. próba palec-nos)
Oczopląs mózdzkowy	nieprecyzyjne ruchy gałek ocznych, wielokrotne drobne ruchy zamiast jednego płynnego
Atonia	obniżone napięcie mięśniowe
Mowa skandowana	przesadny akcent na sylaby, wynikający z nieskoordynowanej pracy mięśni oddechowych
Adiadochokineza	trudności w nawracaniu i odwracaniu przedramienia
Dysmetria	brak oceny odległości i siły ruchu, stwierdzana w próbie palec-nos

Próba palec-nos i test sakad (przenoszenie wzroku z jednego punktu na drugi) są wykorzystywane klinicznie do oceny funkcji mózdzku. W niektórych krajach podobne testy stosuje policja do badania trzeźwości.

9. Międzymózgowie – wzgórze i podwzgórze

Budowa międzymózgowia

Międzymózgowie jest strukturą położoną między pniem mózgu a kresomózgowiem. Obejmuje kilka części:

- **wzgórze** (thalamus),
- **podwzgórze** (hypothalamus),
- **nadwzgórze** (epithalamus),
- **zawzgórze** (metathalamus),
- **niskowzgórze** (subthalamus).

Podwzgórze jest ściśle połączone z **przysadką mózgową**, co ma kluczowe znaczenie dla regulacji hormonalnej.

Wzgórze – stacja przekaźnikowa czucia

Wzgórze składa się z licznych skupisk istoty szarej tworzących **jądra wzgórza**, podzielone na trzy główne grupy:

Jądra części przyśrodkowej – przekazują informacje do przedniej części płata czołowego. Uczestniczą w procesach emocjonalnych i pamięci.

Jądra części przedniej – przekazują impulsy między podwzgórzem a korą mózgową. Uczestniczą w regulacji emocji i procesach limbicznych.

Jądra części bocznej (największa i najważniejsza część) – stanowią **stację przekaźnikową** dla różnych rodzajów czucia z obwodu (poprzez rdzeń kręgowy) do kory mózgowej. Informacje czuciowe docierają tu z dróg rdzeniowo-wzgórzowych i są przekazywane do **zakrętu zaśrodkowego** kory mózgowej (płat ciemieniowy) – pierwotnej kory czuciowej.

Wzgórze jest więc bramą, przez którą przechodzi niemal cała informacja czuciowa zmierzająca do kory mózgowej. Wyjątek stanowi czucie węchowe, które ma bezpośrednie połączenia z korą.

Wzgórze uczestniczy też w **niespecyficznym układzie wzgórzowym** (część tworzy siatkowatego), który selektywnie aktywuje obszary kory mózgowej, warunkując skupienie uwagi.

Podwzgórze – centrum regulacji homeostazy

Podwzgórze jest niewielką strukturą leżącą brzusznie w stosunku do wzgórza. Mimo małych rozmiarów pełni niezwykle ważne funkcje regulacyjne. Dzieli się na trzy części:

- **część wzrokowa** (przednia),
- **część guzowa** (środkowa),
- **część suteczkowata** (tylna).

Ośrodki termoregulacji:

- **Okolica przedwzrokowa i przednia** – ośrodek utraty ciepła: reguluje rozszerzanie naczyń krwionośnych w skórze i pocenie się (odpowiedź na przegrzanie).
- **Okolica tylna** – ośrodek zatrzymywania ciepła: reguluje skurcz naczyń krwionośnych w skórze i dreszcze (odpowiedź na wychłodzenie).

Ośrodki regulacji pobierania pokarmu:

- **Część boczna** – ośrodek głodu (pobudzenie → pobieranie pokarmu),
- **Część brzuszno-przysadkowa** – ośrodek sytości (pobudzenie → zaprzestanie jedzenia).

Pierwotne ośrodki motywacyjne (sterujące podstawowymi potrzebami organizmu):

- ośrodek pragnienia,
- ośrodek głodu i sytości,
- ośrodek regulacji temperatury,
- ośrodek agresji,
- ośrodek ucieczki,
- ośrodek seksualny.

Funkcja hormonalna – kluczowe jądra:

- **Jądro nadwzrokowe** – wydziela **wazopresynę** (hormon antydiuretyczny, ADH) i **oksytocynę**. Hormony te są transportowane aksonami do tylnego płata przysadki mózgowej, skąd są uwalniane do krwi.
- **Jądro przykomorowe** – wydziela **liberyny** (hormony uwalniające) i **statyny** (hormony hamujące) dla przedniego płata przysadki mózgowej. Reguluje wydzielanie hormonów przysadkowych (m.in. TSH, ACTH, GH, FSH, LH).

Podwzgórze jest zatem centrum integracji funkcji autonomicznych, endokrynnych i behawioralnych – łączy układ nerwowy z układem hormonalnym.

10. Kresomózgowie – kora mózgowa i półkule mózgowe

Budowa kresomózgowia

Kresomózgowie jest największą i filogenetycznie najnowszą częścią mózgowia. Składa się z **dwóch półkul mózgowych** oddzielonych **bruzdą podłużną** (szczeliną strzałkową). Półkule połączone są ze sobą przez **ciało modzelowate** (spoidło wielkie) i inne spoidła, umożliwiające komunikację między nimi.

Powierzchnia półkul mózgowych jest **pofałdowana** – tworzą się **zakręty** (zawoje) oddzielone **bruzdami** lub głębszymi **szczelinami**. Pofałdowanie znacznie zwiększa powierzchnię kory mózgowej (do ok. 2200 cm²), mieszcząc ją w ograniczonej przestrzeni czaszki.

Płaty kory mózgowej

Większe obszary kory wyodrębnione anatomicznie i czynnościowo noszą nazwę **płatów**. Wyróżnia się je na podstawie charakterystycznych bruzd:

- **Bruzda centralna (Rolanda)** – oddziela płat czołowy od ciemieniowego,
- **Bruzda boczna (Sylwiusza)** – oddziela płat skroniowy od czołowego.

Cztery główne płaty:

1. **Płat czołowy** – ośrodki ruchowe, funkcje wykonawcze, planowanie, osobowość, mowa (ośrodek Broki w półkuli dominującej),
2. **Płat ciemieniowy** – pierwotna kora czuciowa (zakręt zaśrodkowy), integracja czucia, orientacja przestrzenna,
3. **Płat skroniowy** – słuch, pamięć, rozumienie mowy (ośrodek Wernickego w półkuli dominującej),
4. **Płat potyliczny** – wzrok, przetwarzanie informacji wzrokowej.

Piąty płat – wyspa – ukryty w głębi szczeliny bocznej Sylwiusza; filogenetycznie stary, zawiera m.in. ośrodki smaku.

Istota biała kresomózgowia – rodzaje włókien

Wewnątrz półkul mózgowych, poniżej kory, przebiega istota biała zawierająca trzy typy włókien:

1. **Włókna projekcyjne (rzutowe)** – łączą korę mózgową z niższymi piętrami OUN (wstępujące – do kory; zstępujące – z kory, np. droga piramidowa).
1. **Włókna kojarzeniowe** – łączą poszczególne płaty i zakręty kory mózgowej **w obrębie jednej półkuli**.
1. **Włókna spoidłowe (komisuralne)** – umożliwiają komunikację między odpowiadającymi sobie obszarami **prawej i lewej półkuli**. Główne spoidło to ciało modzelowate.

Jądra podstawy (jądra podkorowe)

W głębi kresomózgowia, w obrębie istoty białej, zlokalizowane są skupiska istoty szarej tworzące **jądra podstawy** (jądra podkorowe). Należą do nich m.in. jądro ogoniaste, skorupa i gałka biała (tworzące razem prążkowie i jądra soczewkowate).

Jądra podstawy są punktem startowym **szlaków pozapiramidowych** i uczestniczą w:

- regulacji ruchów mimowolnych i zautomatyzowanych,
- utrzymaniu napięcia mięśniowego,
- uczeniu się ruchowym.

Połączenia jąder podstawy z istotą czarną śródmózgowia (szlak nigrostracjalny) są kluczowe w patofizjologii **choroby Parkinsona**.

Lateralizacja – dominacja półkulowa

Mimo że obie półkule mózgowe współpracują ze sobą, wykazują pewną **specjalizację funkcjonalną**:

Półkula lewa (dominująca u większości ludzi, zwłaszcza praworęcznych):

- zdolności językowe (mowa, czytanie, pisanie),
- myślenie analityczne, logiczne, matematyczne,
- klasyfikowanie i kategoryzowanie,
- racjonalne, sekwencyjne przetwarzanie informacji.

Półkula prawa (artystyczna, rozpoznająca):

- identyfikacja przedmiotów, rozpoznawanie twarzy,
- rozpoznawanie kolorów, obrazów, melodii,
- myślenie intuicyjne, emocjonalne, twórcze,
- orientacja przestrzenna.

Obie półkule są połączone ciałem modzelowatym i stale wymieniają informacje, tworząc zintegrowaną całość.

Układ limbiczny

W obrębie kresomózgowia (i sąsiednich struktur) zlokalizowane są struktury **układu limbicznego**, który steruje emocjami i uczestniczy w procesach pamięciowych. Należą do niego m.in. hipokamp (pamięć krótkotrwała i długotrwała), ciało migdałowe (emocje, strach), zakręt obręczy i inne struktury.

Warstwy kory mózgowej

Kora mózgową jest **sześciowarstwowa** (w odróżnieniu od trójwarstwowej kory mózdzku). Idąc od powierzchni do głębokości:

1. **Warstwa drobinowa (I)** – nieliczne komórki, głównie włókna,
2. **Warstwa ziarnista zewnętrzna (II)** – warstwa odbiorcza; tu trafiają informacje czuciowe z obwodu,
3. **Warstwa piramidowa zewnętrzna (III)** – połączenia międzykorowe (kojarzeniowe),
4. **Warstwa ziarnista wewnętrzna (IV)** – warstwa odbiorcza; tu docierają impulsy ze wzgórza,
5. **Warstwa piramidowa wewnętrzna (V)** – warstwa nadawcza; tu rozpoczynają się drogi piramidowe (zawiera komórki Betza – największe neurony OUN),
6. **Warstwa komórek wielokształtnych (VI)** – połączenia z wzgórzem i innymi strukturami podkorowymi.

Warstwy ziarniste (II i IV) są warstwami **odbiorczymi** – dominują w obszarach kory czuciowej.

Warstwy piramidowe (III i V) są warstwami **nadawczymi** – dominują w obszarach kory ruchowej.

W obszarach kory kojarzeniowej dobrze rozwinięte są warstwy III, V i VI, co umożliwia złożone procesy integracyjne, intelektualne i twórcze.

Funkcjonalny podział kory mózgowej

Korę mózgową można podzielić na trzy funkcjonalne obszary:

Kora czuciowa – odbiera i przetwarza informacje czuciowe z obwodu:

- pierwotna kora somatosensoryczna (zakręt zaśrodkowy, płat ciemieniowy) – czucie dotyku, bólu, temperatury, propriocepcji,
- pierwotna kora wzrokowa (płat potyliczny),
- pierwotna kora słuchowa (płat skroniowy).

Kora ruchowa – inicjuje i kontroluje ruchy dowolne:

- pierwotna kora ruchowa (zakręt przedśrodkowy, płat czołowy) – tu rozpoczyna się droga piramidowa,
- dodatkowa kora ruchowa i kora przedruchowa – planowanie i programowanie ruchów.

Kora kojarzeniowa – integruje informacje z różnych obszarów, uczestniczy w procesach poznawczych, pamięci, języku, planowaniu i podejmowaniu decyzji. Stanowi największą część kory mózgowej i jest odpowiedzialna za to, co określamy jako wyższe funkcje nerwowe.

— KONIEC —