

B15. Funkcjonalna budowa mózgu.

Nasi przodkowie mieli mniejszą korę nową jak i mniejszą liczbę obszarów korowych. Wczesne ssaki miały około 20 obszarów korowych, a wczesne naczelne miały około 50 obszarów korowych. Ludzie obecnie mają około 200 obszarów kory, bardziej złożone sieci korowe, w tym związane z językiem, różne wyspecjalizowane moduły. Te i inne zmiany umożliwiają imponujące zdolności umysłowe człowieka (Kaas, 2019).



B15.1. Metody badania aktywności mózgu



Skąd wiemy jak jest zbudowany i jak działa mózg?

Kontrolowane uszkodzenia mózgu możliwe są tylko w badaniach na zwierzętach, i pozwalają na analizę tylko prostych zachowań. Już w papirusie egipskim sprzed 5000 tysięcy lat opisano efekty uszkodzenia mózgu na częściowy paraliż ciała. Wieki później w Grecji Hipokrates zauważył, że uszkodzenia jednej strony mózgu prowadzą do problemów po przeciwnej stronie ciała. Jednakże Egipcjanie jak i Grecy uznali serce za najważniejszy narząd odpowiedzialny za mentalne funkcje.

Hitzing i Fritsch, koniec XIX wieku stymulowali elektrycznie mózgi zwierząt. Neurochirurgia zaczęła się około 1935 roku od [lobotomii przedczołowej](#), przecinania połączeń pomiędzy wzgórzem i podwzgórzem a płacami czołowymi u osób z bardzo różnymi zaburzeniami psychicznymi, od schizofrenii po depresję. Antonio Moniz dostał za to nagrodę Nobla (1949), ale później okazało się, że taka procedura ma poważne skutki uboczne. Operacje u pacjentów cierpiących na padaczkę: mapy [Wilreda Penfielda](#) z lat 1950.

Rozwój nie-inwazyjnych technik badania mózgu w ostatnich latach jest bardzo szybki. Początkowo była tylko **elektroencefalografia, EEG**. Pierwsze próby badania elektrycznej aktywności mózgu robiono już w 19 wieku. W 1890 roku [Adolf Beck](#) pracujący na Uniwersytecie Jagiellońskim badał lokalizację funkcji mózgu stymulując prądem różne obszary i zarejestrował zapis EEG, który nazwał "aktywnym prądem niezależnym".

Zapis aktywności [pojedynczych neuronów](#) pokazuje potencjały czynnościowe, ale wymaga wprowadzenia elektrod do mózgu, co jest procedurą inwazyjną. Można ją stosować w badaniach na zwierzętach, lub w przypadku poważnych chorób mózgu u ludzi.



Pierwsze badania EEG na ludziach przeprowadził [Hans Berger](#), psychiatra z Jeny w 1929 r. Zauważył pojawianie się oscylacji o częstotliwości około 10 Hz, które mają stosunkowo największą amplitudę. Później odkryto oscylacje, w których dominują inne częstotliwości. Rzeczywisty sygnał nie składa się nigdy z regularnych oscylacji o określonej częstotliwości, ale technika zwana analizą Fourierską pokazuje jak duża jest moc składowych sygnału dla różnych częstotliwości. To oznacza, że można wyróżnić sygnały, w których piki największej mocy (proporcjonalnej do kwadratu amplitudy mierzonego sygnału) leżą w różnym zakresie. Tradycyjnie dzielimy sygnały EEG na fale:

- Delta, poniżej 4 Hz, o dużej amplitudzie, widoczne w głębokim śnie w obszarach czołowych. Mamy też bardzo wolne oscylacje sub-delta, np. kontury melodyczne indukują częstotliwości EEG od 0.1 Hz ([Libero i inni, 2021](#)).
- Teta, pomiędzy 4 i 8 Hz, w całej korze, nie związane bezpośrednio z wykonywanymi czynnościami, ale pomagające w synchronizacji różnych regionów mózgu.

- Alfa od 8-13 Hz; widoczne zwłaszcza przy zamkniętych oczach, związane z relaksem.
- W podobnym zakresie 8-12 Hz mamy też rytm μ , związany z korą ruchową, jednakże są to bardziej złożone oscylacje, z wyraźną składową o częstotliwości bliskiej 20 Hz.
- [SMR to sygnały sensomotoryczne](#), o częstotliwościach pomiędzy 13-15 Hz, widoczne zwłaszcza w okresie spoczynku. Odróżnienie takich sygnałów wymaga filtracji przestrzennej ich źródeł, czyli skupienia się na sygnałach z obszarów sensomotorycznych.
- Beta, od 13-30 Hz, o małej amplitudzie, związane z percepcją, uwagą i pamięcią krótkotrwałą.
- Gamma, powyżej 30 Hz, związane z procesami poznawczymi, w tym złożoną percepcją (jednoczesna analiza kilku zmysłów/sygnałów). Gamma może sięgać wysokich częstotliwości powyżej 100 Hz, ale ma tak małą amplitudę, że tylko sygnały do 50-80 Hz są analizowane. [Sygnały o częstotliwościach 80-800Hz Hz](#) można mierzyć sygnały za pomocą elektrokortyografii.

Te przedziały są dość umowne i w różnych badaniach mogą być podawane nieco inne. Podział na pasma robi się tylko dla wygody analizy. Sygnały o różnych częstotliwościach mogą być ze sobą sprzężone (np. teta-gamma). Ważna jest też lokalizacja przestrzenna, skąd pochodzi sygnał.

Aparatura EEG i programy do analizy sygnałów EEG są obecnie bardzo zaawansowane. Mamy zarówno proste urządzenia z kilkoma elektrodami, jak i czepki zawierające nawet 512 elektrod.

Zastosowania diagnostyczne EEG pozwalają obecnie wcześniej wykryć głuchotę, skłonności do padaczki, zaburzenia neurologiczne, są stosowane w urządzeniach neurofeedback i interfejsach mózg-komputer.

[Mapy aktywności EEG](#) i korelacji pomiędzy elektrodami z różnych obszarów zawiera dużo informacji o aktywności całego mózgu.

Badania **potencjałów wywołanych (ERP)**, czyli uśrednionych sygnałów EEG po wielu próbach.

[Charakterystyczne sygnały](#) dla reakcji poznawczych na pierwotny sygnał pojawiają się po 200-300 milisekund (odcinek P200 i P300), wzrost amplitudy proporcjonalny do stymulacji. Reakcja P300, czyli po upływie 300 milisekund zależy od stanu wewnętrznego, jest swojego rodzaju "echem".

Postępy w analizie sygnałów EEG pozwalają obecnie na wykrycie aktywności funkcjonalnej, rozległych sieci podobnie jak za pomocą metod fMRI, oraz przepływu informacji przez mózgi.

Znacznie lepszy sygnał daje wewnątrzczaszkowe EEG, czyli [elektrokortygrafia \(ECOG\)](#), mierząca lokalne potencjały sensorami bezpośrednio na powierzchni mózgu. Jest to jednak metoda inwazyjna. Bezpośrednie pomiary aktywności pojedynczych neuronów stosuje się głównie w badaniach nad zwierzętami, lub rzadko w przypadku padaczki u ludzi.

Istnieje obecnie wiele metod [obrazowania medycznego](#).

Jaki jest ich cel? Wbrew powszechnemu mniemaniu nie jest to lokalizacja funkcji, bo sama lokalizacja daje tylko pozory wyjaśnienia i nie jest jednoznaczna, gdyż wiele obszarów mózgu współpracuje ze sobą nad realizacją określonej funkcji, nie zawsze musi to być ta sama kombinacja aktywnych obszarów.

Celem jest zrozumienie architektury funkcjonalnej, mechanizmów wewnętrznych odpowiedzialnych za stany mentalne. To wymaga odniesienia wyników pomiaru do modelu funkcjonalnego mózgu.

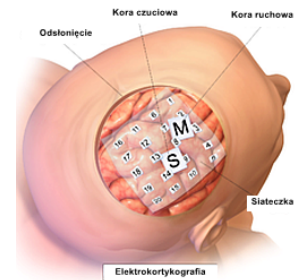
MEG, magnetoencefalografia: działa podobnie jak EEG ale wykrywa bardzo słabe pole magnetyczne dzięki nadprzewodzącym sensorom SQUID, wykrywa prądy jonowe w dendrytach neuronów, pozwalają dotrzeć do głębszych źródeł w bruzdach mózgu i komórek piramidalnych mających aksony na powierzchni kory.

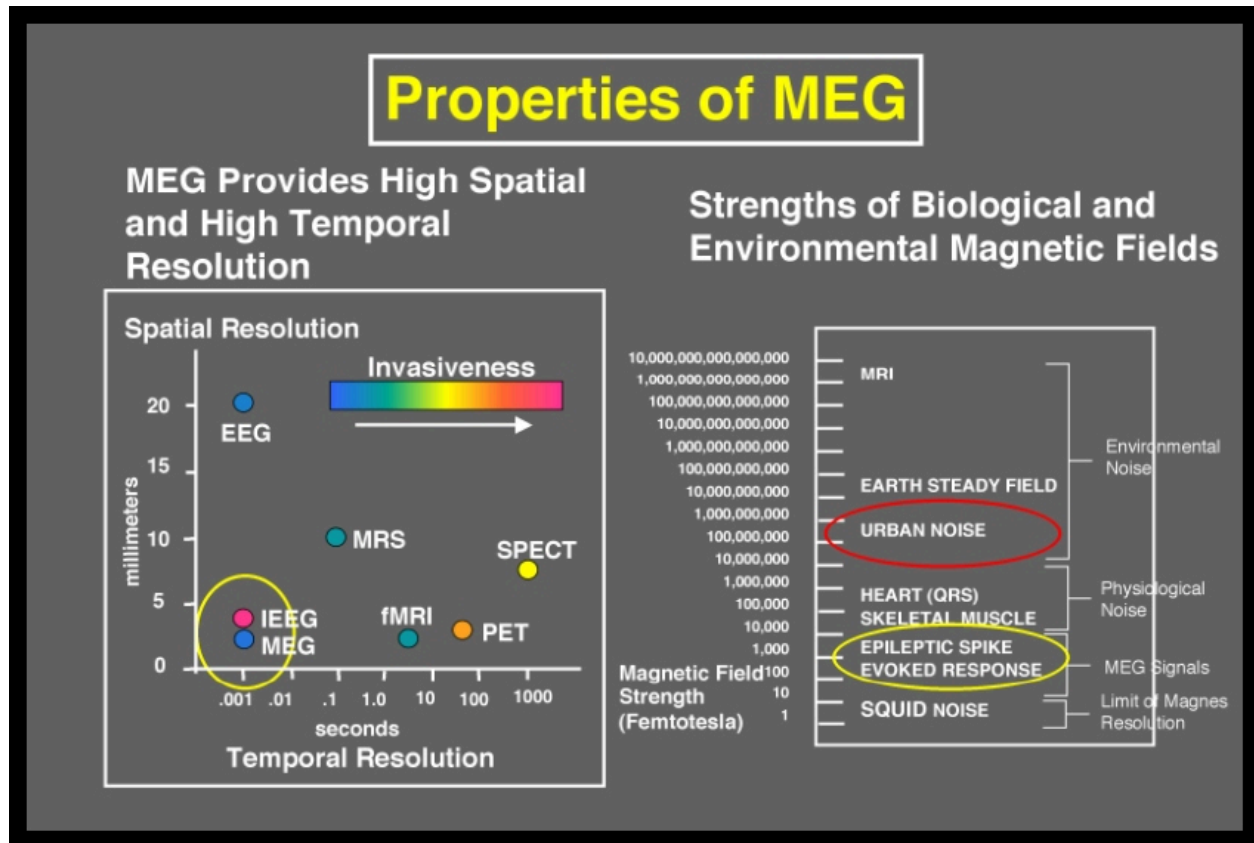
Zalety: możliwy jest zapis szybkozmiennych sygnałów nawet powyżej 100 Hz, pochodzących również z głębszych struktur podkorowych, których aktywność trudno jest wykryć za pomocą EEG.

Wady: kosztowna aparatura, wymagająca używania nadprzewodnikowych złączy;

konieczne jest ekranowanie magnetyczne - pola magnetyczne w naturalnym środowisku są nawet 100 mln razy silniejsze niż wytwarzane przez mózg;

interpretacja sygnałów MEG jest trudna (podobnie jak EEG).





Arteriografia lub angiografia: obrazuje żyły i tętnice (nie tylko w mózgu). Po wstrzyknięciu kontrastu (substancji promieniotwórczej o krótkim czasie życia) wykonuje się zdjęcia rentgenowskie. Dopływ krwi ma kluczowe znaczenie w diagnozach udarów niedokrwienych i wylewów krwi do mózgu. Technika ta stosowana jest w połączeniu z tomografią komputerową w badaniach [perfuzji krwi](#). Badanie tętnic wieńcowych serca nazywa się koronografią.

Tomografia rentgenowska CAT (osiowa tomografia komputerowa): używa substancji promieniotwórczych (jodu, baru lub innych) do wzmocnienia kontrastu pomiędzy tętnicami, żyłami lub ukrwionymi narządami, można wykryć guzy, dobrze widoczne różnice płyn CSF, kość, tkanka miękka, ale słabo widoczne tkanki. Wiązka krąży wokół głowy, z licznikiem po drugiej stronie.

Jest to dość bezpieczna technika (dawki promieniowania są niewielkie) i tania, dlatego jest szeroko stosowana w badaniach medycznych, do diagnozy uszkodzeń w wyniku udarów mózgu i chorób różnych organów wewnętrznych.



Nowsze wersje to HRCT (High Resolution Computed Tomography), czyli tomografia komputerowa wysokiej rozdzielczości (TKWR), oraz MSCT (Multi-Slice Computed Tomography) lub MDCT (Multi-row-Detector Computed Tomography) – wielorzędowa tomografia komputerowa.

SPECT, Single Photon Emission Computed Tomography, lub scyntygrafia: spektroskopia pojedynczych fotonów z promieniotwórczych jąder ksenonu 133, jodu lub technetu.

Tłumienie zależy od tkanki, przez którą przechodzą fotony, powoduje to słabą rozdzielczość.

Metoda SPECT pozwala wykryć różne substancje, dlatego jest to technika ważna dla medycyny. Pozwala używać związków pochłanianych przez specyficzne struktury mózgu. Wadą jest używanie promieniotwórczych izotopów o krótkim czasie rozpadu. Rozdzielczość czasowa SPECT jest rzędu 1 min, a przestrzenna kilka cm, więc dosyć niska. Aparatura jest względnie tania i wiele mniejszych klinik może sobie na nią pozwolić, w odróżnieniu od metod opisanych



poniżej.

Daniel Amen: [The most important lesson from 83000 SPECT scans](#), twierdzi, że analiza obrazów SPECT pozwala na dokładną diagnostykę, ale nie ma to poparcia w opublikowanych badaniach. Używanie takich metod w praktyce klinicznej do diagnozy chorób psychicznych jest [nadal kontrowersyjne](#). SPECT znajduje zastosowanie w przypadku zaburzeń neurologicznych takich jak uszkodzenia w wyniku udaru, wstrząsu mózgu, guzów czy niektórych form demencji, gdzie zaburzony jest przepływ krwi (perfuzja).

Pozytonowa tomografia emisyjna (PET): wykrywa wprowadzony do krwi promieniotwórczy znacznik (np. glukoza z węglem ^{11}C) podlegający rozpadowi beta i wysyłający pozytony.

Pozytony anihilują z elektronami dając pary kwantów gamma, wykrywanych przez pary liczników wokół głowy.

Konieczny jest akcelerator do wytwarzania krótkotrwałych substancji promieniotwórczych, ^{11}C , ^{18}F , ^{15}O , ^{13}N .

Umożliwia obrazowanie przepływu krwi na bieżąco, wykrywanie ognisk padaczki, guzów mózgu, bardzo czuły na obecność śladowych ilości wybranych substancji (np. dopaminy).

Eksperymenty psychologiczne - zwiększona praca danego obszaru zwiększa zapotrzebowanie na energię = dopływ krwi.

PET po raz pierwszy pokazał lokalizację wielu funkcji psychicznych, stosowany w medycynie molekularnej.

Magnetyczny rezonans jądrowy (NMR), zwany rezonansowym obrazowaniem magnetycznym (MRI).

Anatomiczny MRI: rezonans jąder wodoru, znajdujących się w różnych związkach chemicznych; protony (jądra wodoru) mają [spin \(kątowy moment pędu\)](#), a ponieważ są naładowane mają związany z tym moment magnetyczny. W silnym polu magnetycznym te momenty ustawiają się równoległe do linii tego pola. Krótkie impulsy zmiennego pola

elektromagnetycznego o ściśle określonej częstotliwości (w zakresie częstotliwości radiowych) wymuszają chwilowe odwrócenie spinów, a szybkość powrotu do stabilnego stanu początkowego (echo impulsu) zależy od oddziaływania momentów magnetycznych z innymi w danej tkance. Pozwala to określić gęstość atomów protonów w różnych obszarach ciała. Im silniejsze pole magnetyczne tym dokładniejsze pomiary.

Składowa równoległa do kierunku pola magnetycznego wraca średnio po czasie T1 do pierwotnego położenia; dla protonów w płynach mózgu jest to 1500-2000 ms, jeśli dominuje woda to jest to 400-1200 ms, a tłuszcze (biała materia) mają znacznie krótsze czasy relaksacji, ok. 100-150 ms. Obrazy oparte na pomiarach T1 nazywane są T1- zależnymi, tkanka tłuszczowa (aksony, istota biała) są na nich białawe, tkanka neuronowa (istota szara), a płyny (mózgowo-rdzeniowy i inne) ciemne.

Składowe prostopadłe do kierunku pola mają krótsze czasy zaniku nazywane T2, rzędu 700-1200 ms dla płynów, 40-200 ms dla wody, oraz 10-100 ms dla tkanki tłuszczowej. Na obrazach T2-zależnych istota biała jest ciemna, szara jest szara a płyny jasne.

Dla lepszego zróżnicowania obrazu tkanek zawierających wodę stosuje się modyfikację T2, zwaną FLAIR (Fluid Light Attenuation Inversion Recovery), pozwalającą na lepszą ocenę mielinizacji aksonów.

MRI pozwala mierzyć gęstość tkanki osiągając dużą rozdzielczość rzędu 1 mm.

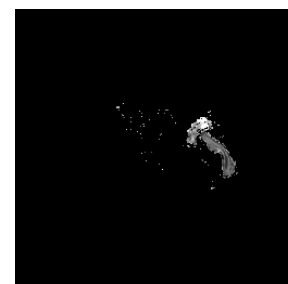
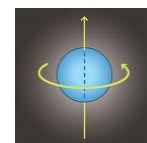
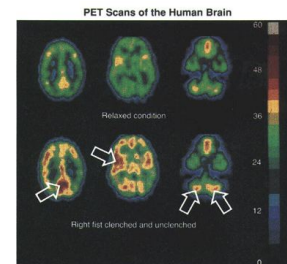
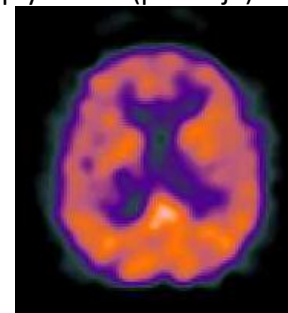
Możliwa jest rekonstrukcja obrazów w różnych przekrojach w trzech wymiarach: [poprzecznym, czołowym i strzałkowym](#).

[Przekrój pionowy \(coronal\)](#), film (tylko lokalnie!).

[Przekrój strzałkowy](#), film (tylko lokalnie!).

Mózg ludzki zeskanowany został w dużej rozdzielczości (ok. 1/4 mm): [Z Tesla MRI Brain Atlas](#).

fMRI, funkcjonalny MRI: wykorzystuje rezonans z udziałem jąder tlenu, pokazuje sygnał BOLD (Blood Oxygen-Level Dependent), czyli przepływ utlenionej krwi.



Sygnał BOLD jest tylko pośrednio związany z aktywnością neuronów: energia potrzebna do generacji impulsów pochodzi głównie z glukozy, neurony wysyłające wiele impulsów wydzielają kwas glutaminowy, który wpływa na astrocyty zmieniając stężenie jonów wapnia, co prowadzi do wydzielania tlenu azotu wpływającego na rozszerzanie się naczyń krwionośnych i dostarczanie większej ilości krwi, a z nią glukozy i tlenu. Proces ten zachodzi nieco inaczej w różnych obszarach mózgu, jest to więc bardzo pośredni sygnał oceny aktywności neuronów.

Aparatura fMRI jest nieco tańsza od PET, nie wymaga izotopów, wykorzystuje bardzo silne pole magnetyczne rzędu 1.5-7 Tesla. Stosuje się zwykle pole magnetyczne 3 Tesla dla ludzi, co daje rozdzielczość nieco gorszą niż 1 mm, pozwalając na obserwacje aktywności kilkudziesięciu tysięcy neuronów jednocześnie. Skanery 7 Tesla mają magnes o wadze ok. 40 ton.

W kilku miejscach na świecie są skanery 9.4 Tesla, a eksperymentalny skaner budowany przez konsorcjum INUMAC osiągnie 11.75 Tesla (masa urządzenia to 150 ton), pozwalając na rozdzielczość poniżej 0.1 mm. To wystarczy by zaobserwować zmienną aktywność ok. 1000 neuronów i w czasie 100 ms. Najpotężniejszy skaner dla małych zwierząt ma magnes o sile 21 Tesli.

Korzystając z fMRI możliwe są badania korelacji funkcjonowania i budowy całych mózgów ze zdolnościami poznawczymi, inteligencją płynną i skryzalizowaną, czy różnymi psychopatologiami, określane skrótem BWAS (brain-wide association studies). Jest to bardzo nowa technika, wymagająca analizy dużych grup badanych, rzędu tysięcy.

W badaniach fMRI mamy dane o aktywności każdego małego sześcianika (voksela) mózgu o rozmiarach rzędu 1-10 mm³. Może ich być rzędu 100.000. To oznacza, że trzeba bardzo ostrożnie analizować dane, wykorzystując statystyczne metody do odrzucania przypadkowych wyników. Ilustracją problemów, jakie mogą powstać było pokazanie sygnału fMRI powstającego w obserwacji martwego łososia. Impulsy elektromagnetyczne wzbudzają w nim prądy i dają jakiś obraz. Jeśli nie zastosujemy poprawek na wielokrotne porównania aktywności możemy uznać, że to jakiś rzeczywisty proces.

MRS (Magnetic Resonance Spectroscopy) pozwala na pomiar koncentracji różnych pierwiastków.

Jest wiele innych wariantów technik opartych na rezonansie magnetycznym. Inne [metody tomograficzne](#) opisane są tu.

Hemoencephalography oparta jest na monitorowaniu mózgu w dalekiej podczerwieni i stosowana głównie do treningu biofeedback.

NIRS (near infrared spectroscopy) polega na obserwacji promieniowania podczerwonego, generowanego przez lasery, które jest absorbowane w różny sposób przez krew utlenioną lub nie, co pozwala na badania funkcjonalne "[optycznej topografii](#)" (NIR-OT).

Rozdzielczość czasowa jest rzędu 100 ms, a przestrzenna rzędu 1 cm.

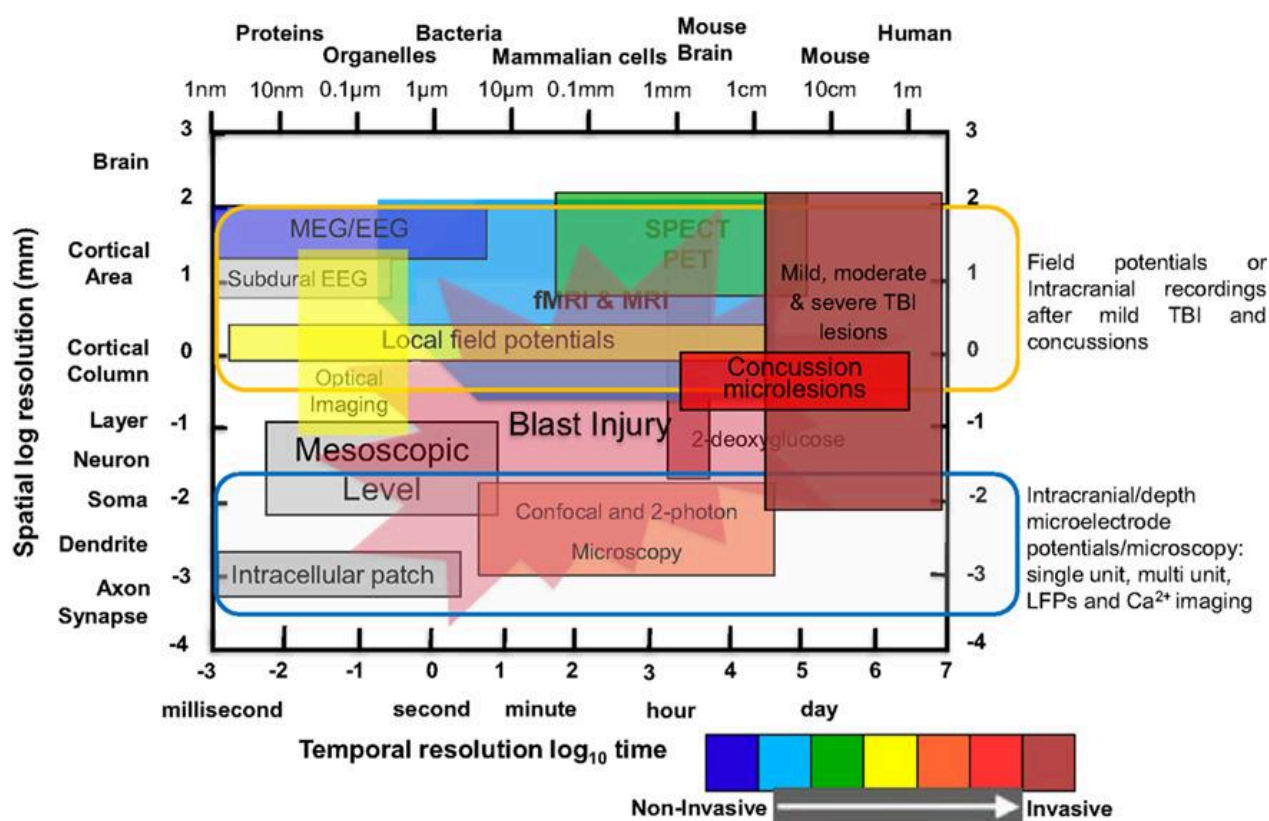
HemoEncefaloGrafia (HEG) to uproszczona wersja NIRS, stosowana w procedurach neurofeedback i monitorowaniu przepływu krwi. Zwykle emitery i sensory podczerwieni umieszczane są w opasce na czole. Pozwala to mierzyć stopień utlenienia krwi. Wersja PIR (Passive Infrared) monitoruje też drobne zmiany temperatury, świadczące o zużyciu cukrów, czyli procesach metabolicznych. Rozdzielczość jest niewielka.

EITER (Electrical Impedance Tomography), to nowa metoda pozwalająca na rozdzielczość czasową rzędu 0.5 milisekundy, mierzy rozkład prądów używając 32 elektrod na czasce stymulujących mózg za pomocą prądów 1 mA pk-pk przy 10 kHz. Osiąga bardzo dobry stosunek sygnału do szumu ale nadal daleka jest od powszechnej akceptacji.

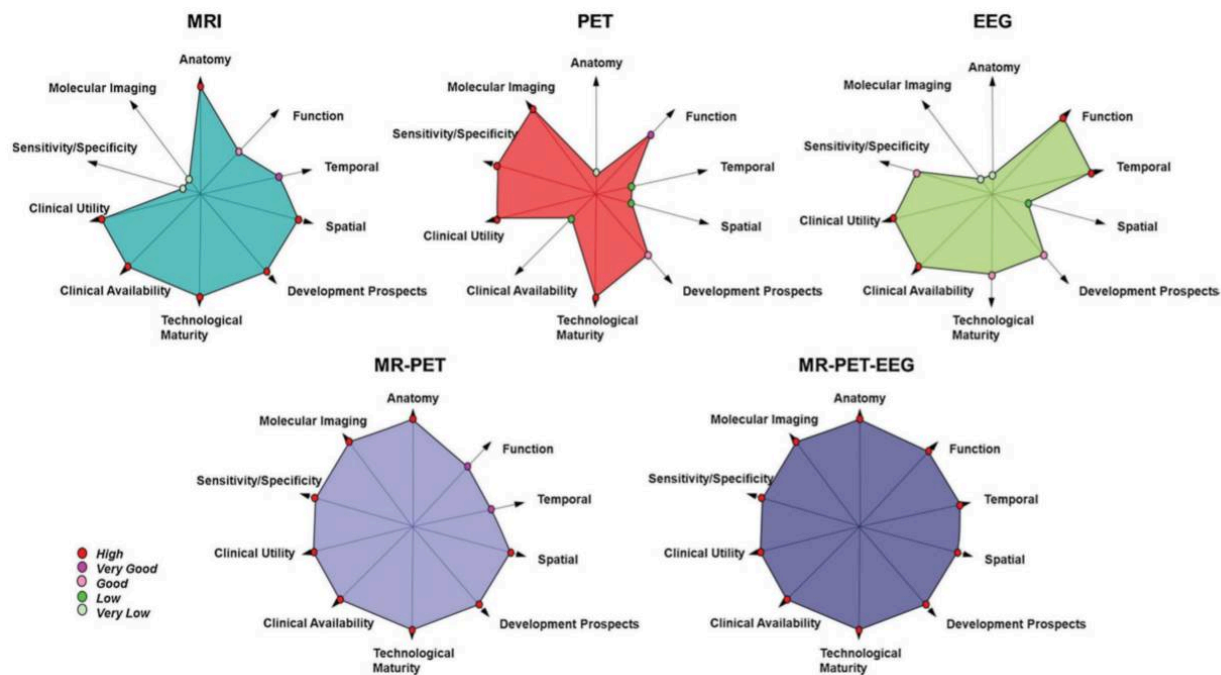
Obrazowanie fotoakustyczne, oraz multispektralna optoakustyczna tomografia (MSOT), wykorzystuje krótkie (rzędu nanosekund) impulsy lasera do pobudzania tkanek, rejestrując powstające w wyniku termalnej ekspansji fale akustyczne. Można w ten sposób wykrywać różne substancje absorbujące światło lasera o różnej długości, w tym badać przepływ krwi (podobnie jak w fMRI). Ma liczne zastosowania medyczne ale (np. do wykrywania nowotworów) ale na razie nie stosowane do obrazowania ludzkiego mózgu.

Porównanie kilku metod bezinwazyjnego obrazowania pracy mózgu. [Podsumowanie metod obserwacji](#).

Metoda	EEG	MEG	PET	fMRI	NIRS-OT
Rozdzielczość czasowa	1 msek	1 msek	1 min	1-5 sek	100 msek
Rozdzielczość przestrzenna	1 cm	5 cm	5 mm	1-5 mm	1 cm
Ograniczenia	Tylko kora mózgu, trudna interpretacja	Słaba rozdzielczość przestrzenna, trudna interpretacja	Tylko przepływ krwi, konieczny krótkożyłowy izotop	Tylko przepływ krwi, duży hałas	Tylko przepływ krwi blisko powierzchni mózgu
Zalety	Tania, łatwa	Obejmuje głębsze struktury	Analiza funkcjonalna, obrazowanie medyczne	Analiza funkcjonalna, obrazowanie medyczne	Analiza funkcjonalna, duża rozdzielczość czasowa



Przyszłość powinna umożliwić połączenie różnych metod, EEG i MEG z fMRI, większa szybkość i precyzja, lepsze metody analizy sygnałów. Łącząc np. EEG lub MEG z fMRI można obserwować zlokalizowaną aktywność przy ruchu poszczególnych palców. Niestety taka kombinacja technik jest trudna, łączy skrajnie małe i skrajnie silne pola magnetyczne, rozwija się powoli i jest droga. Jednoczesna rejestracja EEG z fMRI jest nieco łatwiejsza, ale też rzadko stosowana.



Czym różnią się informacje z MRI czy PET od tych, które dostarczają pomiary elektrofizjologiczne?

W dłuższych odcinkach czasowych widzimy głównie wewnętrzną dynamikę mózgu (MRI), a w krótszych zaburzenia wynikające z pobudzenia przez zewnętrzne bodźce (M.E. Reichle, Two views of brain function, TICS 855, 2010).

Wiele technik obrazowania inwazyjnego stosuje się tylko na zwierzętach, są też specjalne skanery fMRI o dużo silniejszym polu magnetycznym i bardzo wysokiej rozdzielczości.

Ciekawe rezultaty wynikające z neuroobrazowania.

- Choć całkowita wielkość mózgu słabo koreluje się z IQ około 6% szarej materii znajdująca się w fragmentach kory czołowej, skroniowej i ciemieniowej wykazuje dużą korelację (Haier 2004).
- Kobiety mają znacznie więcej białej (9x) a mniej szarej materii (6.5x), której objętość skorelowana jest z wynikami testów IQ.
- U mężczyzn najsilniejsze korelacje dotyczą płatów ciemieniowych i czołowych, u kobiet jest to prawy płatek czołowy i obszar Broca.

Rozwój metod neuroobrazowania umożliwił takie projekty jak [Human Connectome Project \(HCP\)](#), w ramach którego już do 2017 roku wykonano 1200 szczegółowych skanów (techniką 3T lub 7T) anatomicznych i około 100 funkcjonalnych. Udostępnione zostaną też dane genomiczne skanowanych osób. Wszystkie dane są publicznie dostępne a ich wielkość jest rzędu 100 TB. Obecnie jest kilka innych ogromnych zbiorów danych dla ponad 1000 osób.

[Metoda Brainbow](#) wykorzystuje białka fluorescencyjne do obserwacji setek typów neuronów i ich połączeń. Ta metoda pozwala na tworzenie szczegółowego konektomu mózgu myszy i muszek owocówek, barwiąc neurony na różne kolory.

[Transcranial Magnetic Stimulation \(TMS\)](#), czyli magnetyczna stymulacja przezczaszkowa, pozwala na selektywną i bezinwazyjną stymulację wybranych obszarów mózgu.

Jest kilka sposobów zastosowania pola magnetycznego: dłuższe impulsy, krótkie powtarzające się impulsy (rTMS), lub salwy krótkich impulsów (50 Hz) modulowane w rytmie teta (4-7 Hz), czyli theta burst stimulation (TBS).

Osiągana precyzja skupienia pola magnetycznego sięga kilku milimetrów.

TMS ma też zastosowania terapeutyczne w depresji, halucynacjach, padaczce.

[Transcranial Direct Current Stimulation \(tDCS\)](#) to stymulacja prądem elektrycznym, znacznie tańsza.

Stymulacje prądem rzędu miliampera przy częstotliwościach 10 kHz trwają zwykle do 20 minut, efekty do godziny,

w tym zwiększona plastyczność, a stymulacje wieloma elektrodami wyzwalanie endorfin i poprawę nastroju. Stymulacja tDCS stosowana jest w leczeniu depresji, PTSD, szumów usznych, padaczki, choroby Parkinsona, migren, zwalczaniu przewlekłego bólu.

Jest wiele innych sposobów neuromodulacji, takich jak pobudzanie nerwu błędnego czy trójdzielnego, albo głęboka stymulacja mózgu na poziomie wzgórza lub pnia mózgu, czy stymulacja nerwów kręgosłupa w terapii bólu. Nie są to jednak metody pozwalające na precyzyjne wnioski na temat sposobu pracy mózgu.

Czy metody neuroobrazowania pozwalają na jednoznaczną diagnozę chorób psychicznych? Eksperymentalne prace pokazały, że porównanie ludzi zdrowych i cierpiących na różne zaburzenia psychiczne pozwala powiązać zmiany przepływu informacji pomiędzy różnymi obszarami mózgu, oceniany za pomocą fMRI, z autyzmem, głęboką depresją czy schizofrenią. Niestety zastosowanie tych metod jest obecnie zbyt trudne by stosować je w praktyce klinicznej. W psychiatrii nie zaleca się jeszcze stosowania metod neuroobrazowania, zwłaszcza tych, które wykorzystują promieniotwórcze znaczniki. Bariery są zarówno trudności interpretacyjne jak i wysokie koszty.

Badania empiryczne dostarczają nam opisu zjawisk, ale by zrozumieć mechanizmy potrzebujemy modeli. Tym zajmują się neuronauki obliczeniowe, tworząc modele matematyczne ilustrujące, jak przebiegają pewne procesy. To temat starego wykładu "[neuropsychologia komputerowa](#)", który wymaga przygotowania matematycznego. W ostatnich latach mamy coraz więcej modeli, których rezultaty można porównywać bezpośrednio z obserwacją pracy mózgu: przetwarzanie informacji w układzie wzrokowym, przetwarzanie informacji językowej to seria transformacji, które udaje się odtworzyć w modelach komputerowych. To umacnia przekonania, że nie tylko mamy informacje co i jak się w mózgu pobudza, ale też jaka jest rola tych pobudzeń w przetwarzaniu informacji od percepcji do behawioralnych reakcji, podjęcia świadomego lub odruchowego działania (Goldstein i inn., 2022; Schrimpf i inn., 2021).



B15.2. Ogólna [budowa układu nerwowego](#).

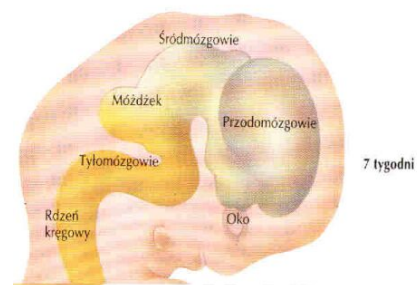


W tym wykładzie nie będziemy szczegółowo omawiać [neuroanatomii](#), potrzebne nam to jedynie na tyle, by zrozumieć działanie mózgu jako systemu kontrolnego, pozwalającego organizmowi przeżyć we wrogim środowisku.

Nie będziemy też schodzić na poziom mikroskopowy i zajmować się szczegółowo neuronami i ich połączeniami - [rekonstrukcja fragmentu mózgu](#) myszy w laboratorium Lichtmana pokazuje, jak skomplikowany jest to system. Nasza strategia będzie nadal oparta na prostych modelach, stopniowo coraz dokładniejszych. <

Z perspektywy rozwojowej wyróżniamy:

- **Przodomózgowie**: kresomózgowie i międzymózgowie.
- **Śródmózgowie** (mesencephalon): wzgórki czworacze (dolne i górne), pokrywa, nakrywka, konary mózgu i substancja czarna (*substantia nigra*).
- **Tylomózgowie**: mózdzek, most, rdzeń przedłużony.

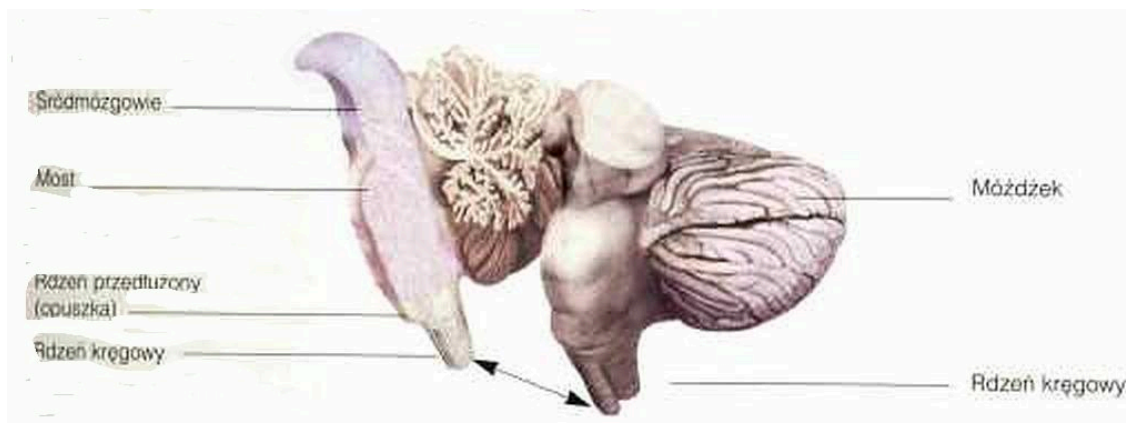


Patrząc na ogólny podział funkcji i ewolucyjne pochodzenie możemy wyróżnić trzy struktury mózgu, należy jednak pamiętać, że są to ze sobą ściśle połączone struktury:

Pień mózgu: most, śródmózgowie, rdzeń przedłużony (rdzeniomózgowie).

Pień mózgu zawiera liczne jądra neuronów kontrolujące oddychanie, temperaturę ciała, automatyczne odruchy (kichanie, wymioty), jądra pośredniczące w przekazywaniu sygnałów zmysłowych i motorycznych, regulujące różne funkcje fizjologiczne i utrzymujące homeostazę.

Twór siatkowaty (RAS, [Reticular Activating System](#)) znajduje się w rdzeniu przedłużonym pnia mózgu. Kontroluje stan pobudzenia umysłu, czuwania i przytomności. Dzieli się na układ wstępujący, wysyłający sygnały do wzgórza, podwzgórza i kory, oraz układ zstępujący, otrzymujący sygnały od nerwów czuciowych i mózdzku, przesyłane przez rdzeń kręgowy do mięśni.

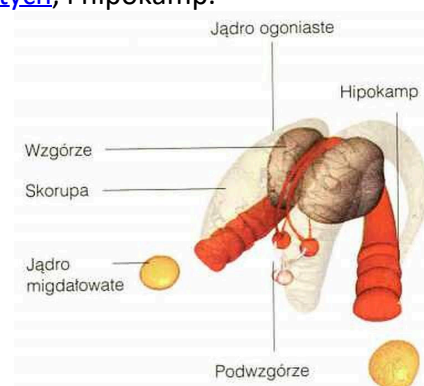


Schematyczny obraz struktur całego mózgu (Źródło: Scientific American).

Wzgórze (*thalamus*) dokonuje wstępnej oceny bodźców zmysłowych (oprócz węchowych), przesyła je do kory. Reguluje cykle okołodobowe, stany snu i czuwania. Współpracuje z [układem limbicznym](#) przysyłając sygnały o pobudzeniach emocji, umożliwiając szybkie instynktowne reakcje na zagrożenia bez świadomego rozpoznania.

Układ limbiczny mieści się pomiędzy pniem mózgu i podwzgórzem a korą nową. Pierścień wewnętrzny to kora okołowęchowa, część [jąder migdałowych](#), i hipokamp. Pierścień zewnętrzny to

- [zakręt obręczy](#),
- [jądra przegrody](#),
- [podstawowo-boczna \(baso-laterale\) część jądra migdałowego \(nucleus amygdalae\)](#).
- [przednia część kory wyspy](#).



Podwzgórze (*hypothalamus*) bierze udział w regulacji procesów odpowiedzialnych za homeostazę organizmu: termoregulację, pobieranie pokarmu (wrażenia głodu i nasycenia), gospodarkę wodną (wrażenie pragnienia), kontroluje działanie przysadki mózgowej wydzielającej liczne hormony i współpracę z autonomicznym układem nerwowym, popęd seksualny i rytmy biologiczne.

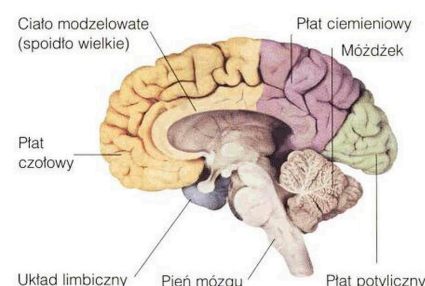
Boczna część podwzgórza (LH, Lateral Hypothalamus) nazywana była ośrodkiem przyjemności, łącząc się z płatami czołowymi i innymi strukturami pobudza wydzielanie dopaminy w tych obszarach (ważną rolę gra tu też jądro półleżące).

Układ limbiczny kontroluje emocje i popędy organizmu, pamięć ruchów, orientację w przestrzeni, konsolidację pamięci trwałej.

Mózgowie: mózg, mózdzek i rdzeń przedłużony.

Mózdzek, zajmujący się kontrolą i koordynacją ruchową, regulacją napięcia mięśni, utrzymaniem postawy ciała.

Rdzeń kręgowy o średnicy ok. 1cm, gruba wiązka nerwów, kontroluje podstawowe odruchy, np. odruch kolanowy. Wiązka aksonów motoneuronów wychodząca z mózgu do rdzenia kręgowego nazywa się układem piramidowym;



nieliczne motoneurony kontrolujące proste odruchy leżą poza układem piramidowym.

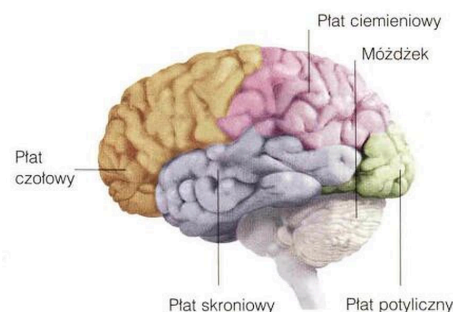
Kora nowa (neocortex),

układ limbiczny,

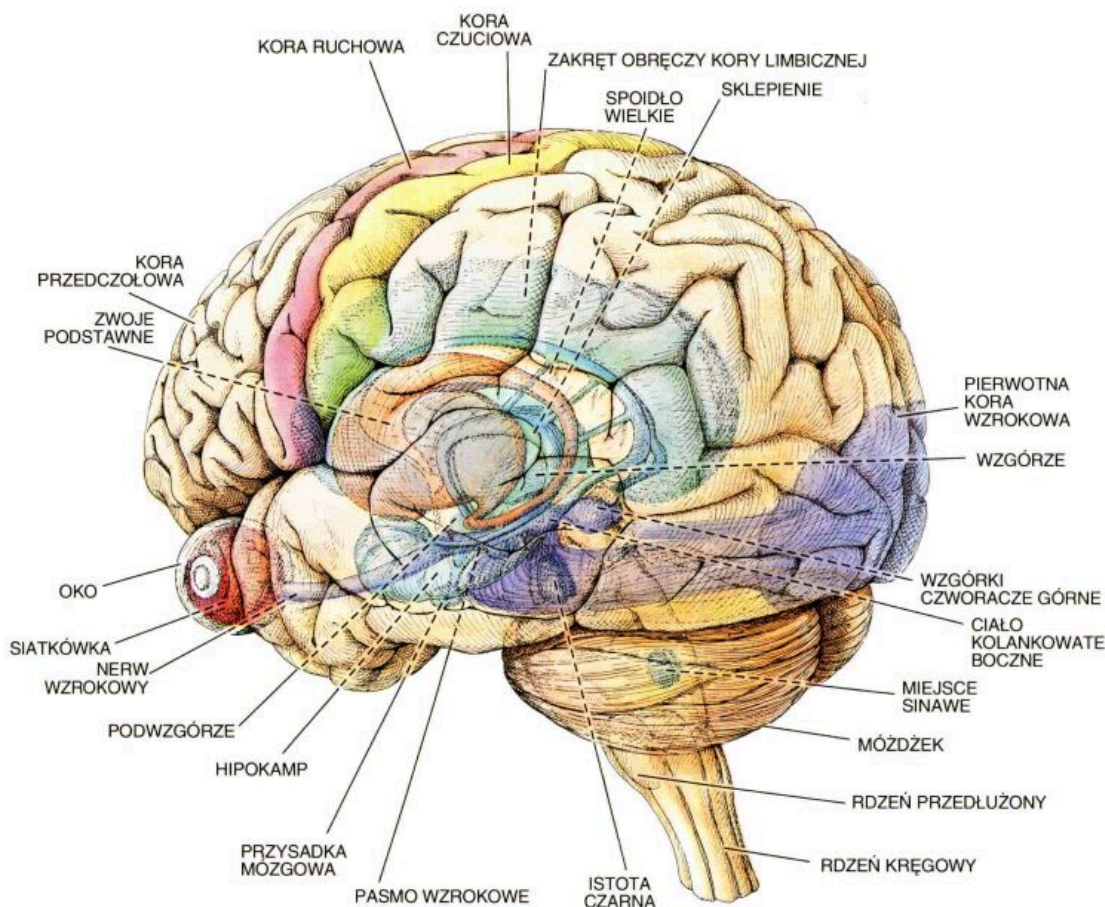
pień mózgu - im starsze struktury tym głębiej.

Płaty kory i ich główne funkcje:

1. **potyliczny** - wzrok;
2. **ciemieniowy** - orientacja przestrzenna, ruch i postrzeganie ruchu;
3. **skroniowy** - mowa, pamięć, rozpoznawanie obiektów;
4. **czołowy** - planowanie i kontrola ruchu, głosu, ruchy wolicjonalne;
5. **przedczołowy** - planowanie, myślenie, pamięć, wola, ocena emocji;
6. **limbiczny**, płat przyśrodkowy, okolice zakrętu obręczy - reprezentacja pojęć odnoszących się do "ja" w różnych kontekstach;
7. **wyspa**, ukryta w **bruzdzie bocznej (szczelinie Sylwiusza)** - integracja sensoryczna, reprezentacja "ja", świadomość ciała, homeostatycznych procesów, emocje pierwotne (ból) i społeczne (empatia, wstręt).

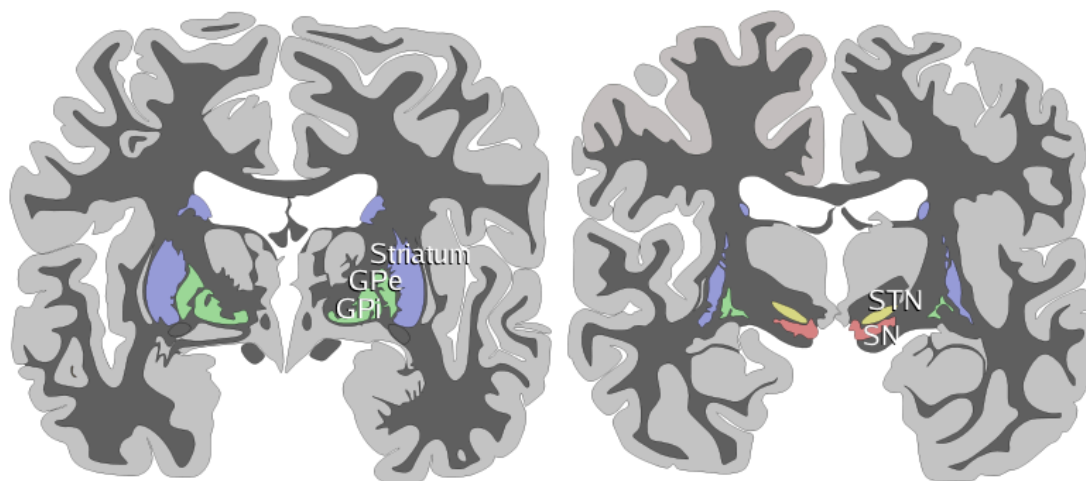


Zakręty (gyrus), czyli wypukłości, oraz **bruzdy (sulci)**, czyli wgłębienia, są dokładnie ponazywane, chociaż każdy ma nieco inny kształt, pod tym względem różnią się nawet bliźniaki jednojajowe gdy dorosną.



Schematyczny obraz struktur całego mózgu (Źródło: Scientific American).

Na **jądra (zwoje) podstawy** lub jądra podstawne (basal ganglia), składa się kilka struktur podkorowych:



Jądra podstawy mózgu, prążkowie (striatum), i gałka biała (GP), istota czarna (SN, substantia nigra).

1. **jądro ogoniaste** (caudate nucleus);
2. **skorupa** (putamen);
3. **jądro półleżące** (nucleus accumbens);
4. **gałka biała** (globus pallidus), dzieląca się na wewnętrzną (GPi) i zewnętrzną (GPe);
5. **jądro niskowzgórzowe** (subthalamic nucleus, STN);
6. **istota czarna** (substantia nigra, SN) w skład której wchodzi część zbita, siatkowata i boczna.

Skorupa, jądro ogoniaste i jądro półleżące określane są też jako prążkowie (ciało prążkowane), ze względu na prążkowany wygląd.

Gałka biała razem ze skorupą nazywana jest też "jądrem soczewkowatym".

Jądro półleżące uważa się za brzuszną część prążkowie, ma podobną budowę.

Funkcją **jąder podstawnych** jest inicjacja ruchów, utrzymanie rytmu mowy, jest to rodzaj auto-pilota układu ruchowego, orientacji i stabilizacji ruchów sakadycznych oczu, prawdopodobnie też pełnią rolę w systemie motywacji, nagrody (produkcja dopaminy w istocie czarnej) i uczeniu się umiejętności.

Szczegółowe funkcje poszczególnych jąder są trudne do oddzielenia.

Sugeruje się, że **jądro niskowzgórzowe integruje** poznawcze, emocjonalne i ruchowe składowe zachowania; pobudzenie tego jądra u kilku pacjentów z chorobą Parkinsona wywołało zachowania hypomaniakalne (wysokiego pobudzenia, ale bez maniackalnych halucynacji).

Hypomaniakalny temperament może być wynikiem wyjątkowej pobudliwości tego jądra.

Jądro półleżące jest częścią pętli korowo-prążkowo-wzgórzowo-korowej, ma kilkadziesiąt tysięcy neuronów, wejścia z brzusznej części nakrywki dostarczają dopaminy (same komórki tego jądra są GABAergiczne).

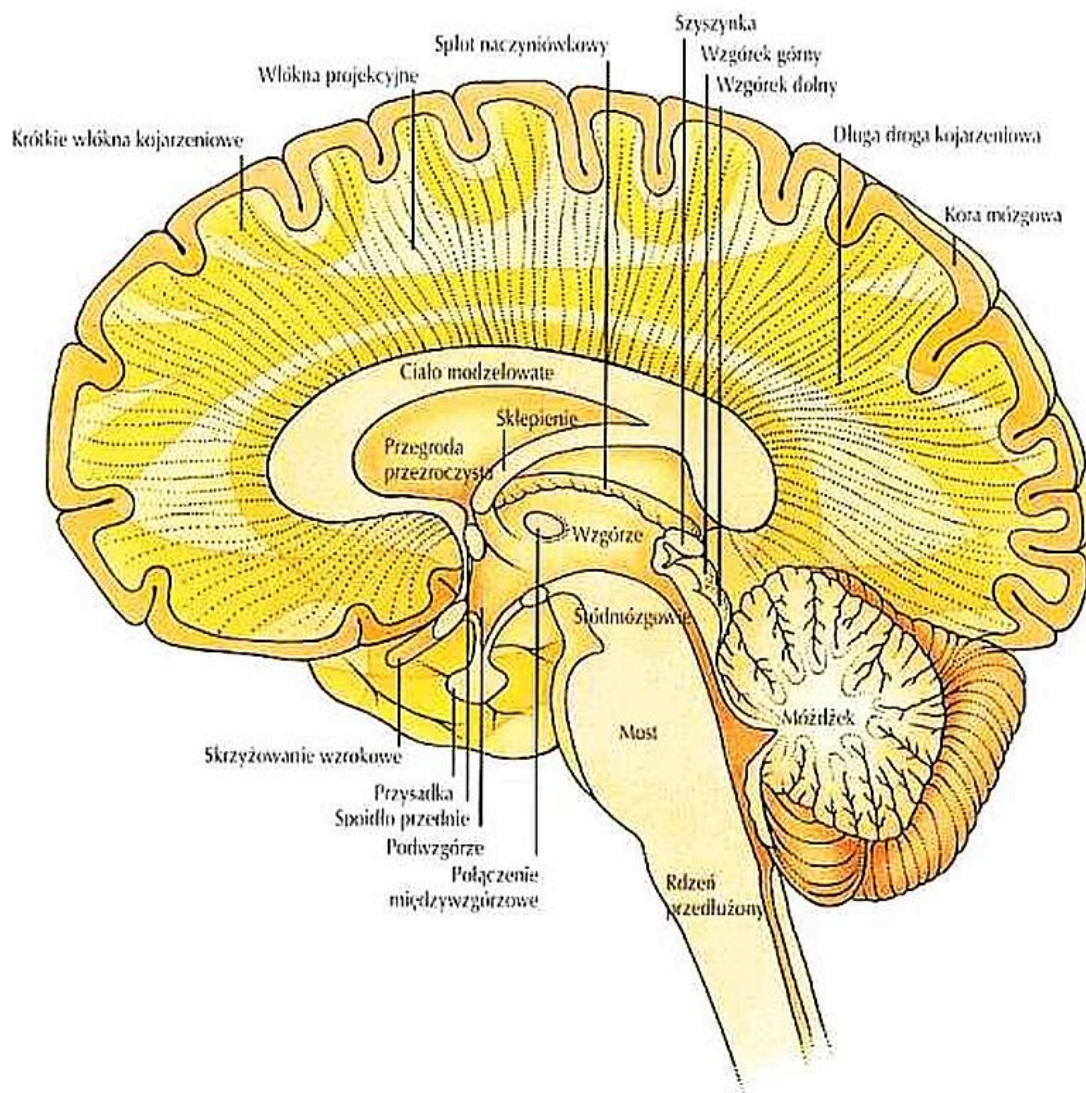
Uszkodzenia tego jądra wywołują **anhedonię**, czyli zanik zdolności odczuwania przyjemności.

Uważa się, że jądro półleżące jest częścią złożonego mechanizmu nagrody, a poziom dopaminy w tym jądrze skorelowany jest z uczuciem przyjemności wszelkiego rodzaju, również uzależnieniem od przyjemności (sex, drugs & rock'n roll, nikotyna, alkohol i jedzenie).

Szczur, któremu wszczepiono w ten obszar elektrody naciskał przycisk nie jedząc i nie pijąc aż do wyczerpania sił (Olds & Milner, 1950).

Bezpośrednia stymulacja jądra półleżącego stosowana eksperymentalnie jest w leczeniu ciężkiej depresji.

Pobudzenie jądra półleżącego w wyniku oczekiwania na nagrodę **koreluje się ze skutecznością efektu placebo**.



Przekrój strzałkowy, płaszczyzna przypośrodkowa pokazująca części wzgórza mózgu.

Wzgórze wzrokowe składa się z ciała kolankowatego bocznego ([LGN, Lateral Geniculate Nucleus](#)) oraz wzgórków czworaczych ([superior colliculus](#)) odpowiedzialnych za sterowanie mięśniami oka, ocenę położenia głowy i ciała na podstawie informacji wielomodalnej (układ równowagi, słuch, dotyk, wzrok). Struktury te biorą udział we wstępnym filtrowaniu informacji dochodzącej do płatów przedczołowych. Odkryto też anomalie budowy wzgórza w różnych chorobach psychicznych, np. [schizofrenicy mają mniejsze wzgórze wzrokowe](#).

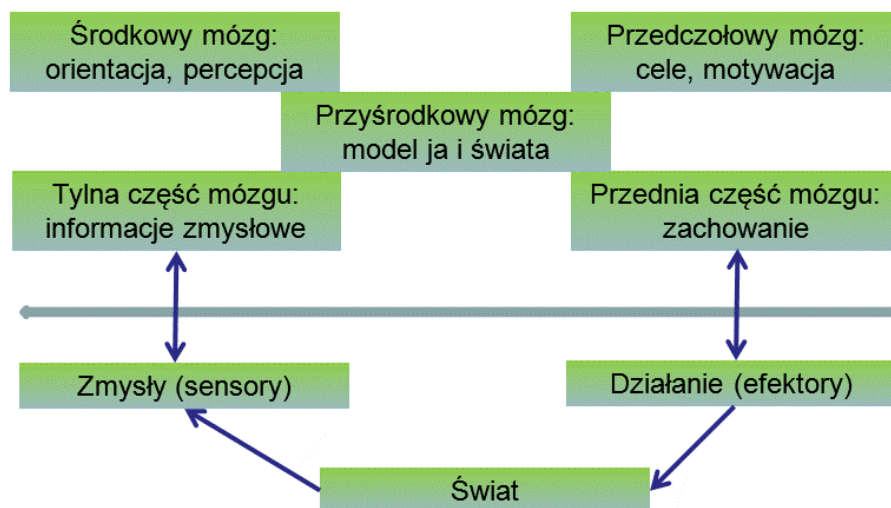


B15.3. Ogólne funkcje mózgu



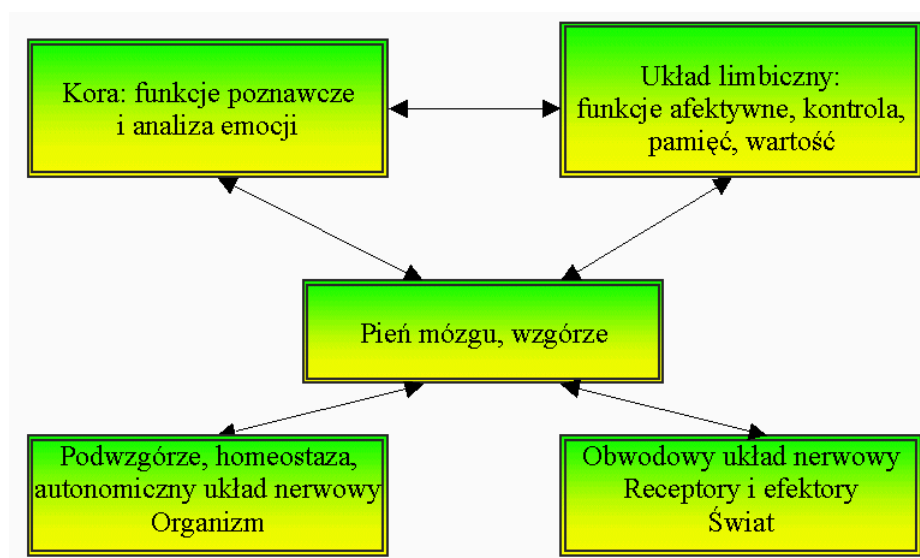
Schemat ogólny działania mózgu nie jest zbyt skomplikowany.

Z punktu widzenia ogólnej budowy mamy część przednią i tylną, środkową, przedczołową i przyśrodkową, którym możemy przypisać nieco różne funkcje.



Z funkcjonalnego punktu widzenia do przeżycia potrzebna jest:

- informacja o stanie wewnętrznym do regulacji stanu organizmu (homeostaza, AUN, podwzgórze);
- receptory i efektory by postrzegać i działać (OUN, zmysły, mięśnie);
- centrala przekazująca przefiltrowane informacje do systemów decyzyjnych (pień i wzgórze);
- pamięć relacji przestrzennych (hipokamp, kora);
- pamięć dla bodźców wywołujących emocje, pobudzające do działania i system szybkiego reagowania na potencjalne zagrożenia (układ limbiczny, ciało migdałowate);
- wolniejszy szlak świadomego rozpoznania, analizy, określania wartości, planowania i komunikacji za pomocą symboli (kora).



[Szlak świadomego rozpoznania](#) zawsze zmierza od receptorów zmysłowych, przez jądra wzgórza, do pierwotnej kory zmysłowej, której pobudzenia interpretowane są jako podstawowe wrażenia (wzrokowe, słuchowe, dotykowe), oraz ich umiejscowienie (miejsce ciała, relacje przestrzenne).

Wtórna kora zmysłowa nadaje sens wrażeniom: co czuję, jak powinienem na to zareagować?

Wymaga to zapamiętania poprzednich wrażeń i porównania (jest tak np. w korze somatosensorycznej [praca Romo i inn., 2002](#)).

Ten ogólny schemat pozwala spodziewać się ciekawych efektów.

Rozpoznawanie afektywne i kognitywne jest zwykle zintegrowane: rozpoznaję i czuję, że tak jest.

Co się jednak stanie jeśli zaburzony zostanie przepływ informacji między kora a układem limbicznym?

Czy czucie i wiara są pewniejszą podstawą do rozpoznania niż szkiełko i oko? Ani trochę!

Urojeniowe zespoły błędnej identyfikacji

DMS, delusional misidentification syndrome

Halucynacje są subiektywnie postrzegane jako coś rzeczywistego. Żeby odróżnić sytuacje, w których ludzie zdają sobie sprawę, że ich wrażenia nie są rzeczywiste, powstają bez zewnętrznych bodźców, używa się określenia halucynoidy lub parahalucynacje.

Zespół Capgrasa.

Joseph Capgras opisał to urojenie w 1923 roku, ale jego dokładny opis jest w powieści autobiograficznej kilkanaście lat wcześniej (Draaisma 2009). Jest to przekonanie, że bliska osoba, członek rodziny (lub nawet sam pacjent) została zamieniona na kogoś obcego. Spotykane jest wszędzie (nieco częściej u Maorysów niż innych populacji), przyczyną może być uraz głowy.

Wygląda jak żona, mówi jak żona, ale czuję, że to nie ona ... cała rodzina została podmieniona! Nawet mój pies! Lub: ta kobieta w lustrze udaje, że jest mną, chce mi odebrać męża! Rzadziej urojenie to dotyczy zwierząt (nie mój piesek), lub przedmiotów (nie mój misio).

Urojenie może być wybiórcze i dotyczyć tylko jednej osoby lub całej grupy, zwykle występuje u osób cierpiących na inne problemy psychiczne. Niekiedy dochodzi do ataku na rzekomego sobowtóra. Przynajmniej dwa takie przypadki zakończyły się śmiercią.



Dysocjacja pomiędzy rozpoznaniem kognitywnym a afektywnym może dotyczyć uszkodzenia połączeń układu limbicznego i prawego płata obszaru potyliczno-ciemieniowo-skroniowego, obszaru związanego z rozpoznawaniem twarzy.

W zespole Capgrasa twarze są nadal prawidłowo rozpoznawane, ale nie ma psychologicznych ani fizjologicznych reakcji emocjonalnych związanych z poczuciem zaufania lub intymności.

Normalnie gdy widzi się kogoś bliskiego występują zmiany oporności skóry, tu ich brakuje (Ramachandran 1996).

Nie musi to być tylko rozpoznanie wzrokowe, gdyż znany jest przypadek niewidomej kobiety, która po zapachu i dotyku nie mogła rozpoznać męża.

Pacjent rozmawiający z osobą uznaną za sobowtóra przez telefon może go prawidłowo rozpoznawać, ale znany jest przypadek kobiety porozumiewającej się tylko telefonicznie ze swoją córką, którą uznała za sobowtóra, więc i ta droga może ulec uszkodzeniu, choć zdarza się to bardzo rzadko ze względu na silniejsze połączenia dróg słuchowych z układem limbicznym.

Urojenie Capgrasa może być skrajną wersją zwykłego poczucia obcości wobec kogoś, kto zawodzi nasze oczekiwania, zachowuje się "obco".

Temat ten pojawia się często w filmach: w ludzi wcielili się obcy ... np. "Inwazja porywaczy ciał".

Urojenie intermetamorfozy.

Przekonanie, że ludzie wymieniają się osobowościami chociaż zachowują swój wygląd.

Często łączy się z innymi problemami psychicznymi, np. pacjent z chorobą Alzheimera mylił żonę najpierw ze swoją zmarłą matką, a potem siostrą, twierdząc najpierw, że nigdy nie był żonaty, a potem że żona go porzuciła.

Błędne przekonania utrzymywały się również w czasie rozmowy telefonicznej.



Urojenie Fregoli

Przekonanie, że różne spotykane przez nas osoby to ta sama osoba tylko inaczej przebrana. Leopoldo Fregoli był aktorem, mistrzem szybkiego przebierania się na scenie.

Często łączy się z paranoją i poczuciem śledzenia przez jakąś osobę.

To urojenie prawdopodobnie wynika z błędnego rozpoznawania afektywnego wielu osób, pomimo braku rozpoznania kognitywnego.

Urojenie nazwane w 2008 roku **Truman Show Delusion**.

Związane jest z przekonaniem, że pacjent bierze udział w telewizyjnym reality shows (od filmu "The Truman Show" z 1998 roku).

Inna wersja to przekonanie, że się jest postacią gry komputerowej (jak tłumaczył się jeden złodziej samochodów ...).

Błędne rozpoznanie w lustrze, czyli przekonanie, że odbicie należy do kogoś innego, chociaż może być do nas podobny.

Jest to kolejny przykład urojenia monotematycznego.

Urojenie sobowtóra.

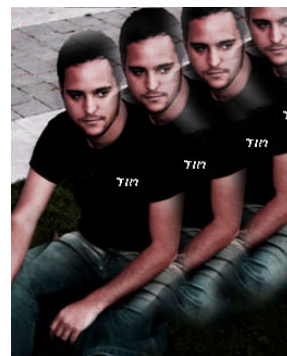
Przekonanie, że mamy sobowtóra (lub kilku), który działa niezależnie od nas i żyje swoim życiem, ma inne cechy charakteru, czasami częściowo zabrał pacjentowi osobowość (częściowa depersonalizacja).

Urojenie może się też odnosić do innych osób, miejsc, lub części ciała (paramnezja powielająca).

Pacjent może być przekonany, że nie jest w szpitalu tylko w domu i konfabulować usiłując uzasadnić, skąd w nim tyle pomieszczeń, windy i chorzy.

Jest to związane z zaburzeniami orientacji w związku z udarem w prawej części płata ciemieniowego.

Możliwa jest też depersonalizacja, wrażenie, że nie kontroluje się swojego działania a tylko obserwuje, jak w filmie lub we śnie (przemijające wrażenie tego typu jest zdaje się dość częste); poczucie nierzeczywistości, odrealnienia rzeczywistości, stępienie reakcji i wrażeń.



Podobne dziwaczne urojenia:

- przekonanie, że zabawki i inne obiekty to żyjące istoty (często wykorzystywane w horrorach);
- kliniczna likantropia, czyli przemiana w wilka lub inne zwierzę;
- złudzenie, że się jest supermenem, ma nadludzkie możliwości;
- urojenia wielkości, wcielanie się w postaci historyczne lub bóstwa;
- teorie spiskowe, które zaczynają kontrolować myślenie na wszystkie tematy;
- urojenia miłości, zwykle znanych postaci, które dają sekretne znaki, choć nie odpowiadają na listy;
- psychogeniczna mikropsja, zwana też zespołem Alicji, polegająca na zniekształceniu wielkości widzianych obiektów lub części ciała.

Urojenia dotyczą często tylko jednego aspektu, czyli są monotematyczne, więc ludziom wydaje się, że są zdrowi bo poza tym są normalni, podczas gdy np. w schizofrenii pacjenci mają urojenia różnych rodzajów.

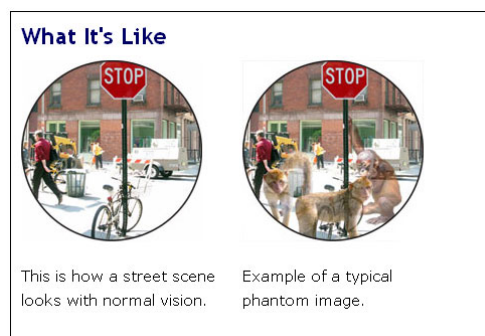
Na powstanie urojeń monotematycznych składają się dwa czynniki (Davis i inni 2001): anomalne przeżycie, spowodowane zaburzeniem neurologicznym, oraz zaburzenia procesów formowania się przekonań.

Przyczyną może być:

- wirusowe zapalenie mózgu i opon mózgowych,
- uszkodzenie płatów skroniowych (zwłaszcza prawego),
- udary w okolicach czołowo- oczodołowych.

Co się właściwie może dzieć z mózgiem w przypadku takich urojeń? Zaburzenia neurologiczne zmieniają percepcję (halucynacje po rozległych udarach występują często), ale głębokie przekonanie o rzeczywistej naturze tych przeżyć jest wynikiem zaburzenia mechanizmów formowania się przekonań.

W przypadku zespołu Capgrasa jest to głównie afektywna składowa związana z rozpoznawaniem twarzy i osoby. Uporczywe utrzymywanie się urojenia świadczy o zaburzeniach procesu tworzenia się przekonań, które



zwykle nie opierają się tylko na wrażeniach. Osoby podatne na urojenia mają większe skłonności szybkiego konkludowania na podstawie obserwacji.

Nie mamy tu jednak dobrej teorii, gdyż jest to proces wymagający zrozumienia kolektywnego zachowania się dużych grup współpracujących ze sobą neuronów w różnych częściach mózgu. W dodatku liczba pacjentów z takim zespołem jest bardzo mała, więc przeprowadzono niewiele badań na ten temat.

Takie urojenia należy odróżnić od parahalucynacji wzrokowych ludzi niedowidzących lub ludzi, którzy utracili wzrok, czyli [zespołu Charlesa Bonneta](#), gdyż w tym przypadku ludzie zdają sobie sprawę, że mają halucynacje, system formowania przekonań nie ulega zaburzeniu. Innym rzadkim zespołem neuropsychiatrycznym, w którym pojawiają się parahalucynacje, a więc ludzie zdają sobie sprawę z ich nierealności, jest [zespół pedunkularny Lhermitte'a](#) (ang. Lhermitte's peduncular hallucinosis), związany z organicznym uszkodzeniem mostu i konarów mózdku. Występujące objawy, znane też jako omamy pedunkularne, halucynoza pedunkularna, lub halucynacje szypułkowe, podobne są do wrażenie patrzenia z oddali (jakby przez odwróconą lornetkę). Może to trwać przez kilka sekund, ale powtarzać się przez wiele tygodni a nawet lat, obejmować całe pole widzenia w którym ludzie wyglądają jak lilipucie a zwierzęta są malutkie. Parahalucynacjom wzrokowym mogą też towarzyszyć omamy słuchowe.

Zespół Cotarda.

To przekonanie, że się nie żyje, nie istnieje, jest się w stanie rozkładu, utraciło cała krew lub organy wewnętrzne, nie widzi się niektórych części ciała!

Po urazie mózgu w wyniku wypadku motocyklowego pacjent wyjechał z Szkocji do Południowej Afryki i nabył przekonania, że jest w piekle (było gorąco), po którym oprowadza go duch matki, a sam zmarł na AIDS i jego ciało spoczywa w Edynburgu.

Jules Cotard opisał to urojenie w 1880 roku, związane jest z ciężką depresją, schizofrenią, cyklofrenią, [derealizacją](#), a nawet może być wynikiem migreny.

Opisano też objawy zespołu Cotarda w wyniku reakcji na [acyklowir](#) (lek antywirusowy).

Z neurologicznego punktu widzenia jest pewne podobieństwo do zespołu Capgrasa, dysocjacji afektywno-kognitywnych.



Pełne zrozumienie tych rzadkich zespołów zaburzeń wymaga bardziej szczegółowej analizy sposobu działania mózgu, uwzględnienia wpływu neurotransmiterów na globalną dynamikę aktywacji mózgu, realizacji "teorii umysłu" wynikającej z neurodynamiki mózgu.

Możemy się jednak zastanowić, dlaczego potrafimy odróżniać jawę od sennych halucynacji. Skoro korelacja bodźców sensorycznych z aktywacjami mózgu jest niewielka, subiektywne przeżycia to przede wszystkim wewnętrzne aktywacje mózgu, to halucynacje mogłyby się zdarzać często. We śnie można mieć silne wrażenie przebudzenia - nazywa się to fałszywym przebudzeniem ([false awakening](#)). Realistyczne marzenia na jawie ("vivid daydreaming") są dość częste. Badania grupy 649 włoskich [studentów pokazały](#), że około 19% miało halucynacje pobudzające różne zmysły, a 11% była mocno podatna na halucynacje.



B15.4 Wzgórze



[Wzgórze \(thalamus\)](#) jest największą częścią [miedzymózgowia](#), do którego należy też [podwzgórze](#), oraz okolice trzeciej komory mózgu.

Wzgórze to centralna stacja przekąźnikowa: dochodzą do niego informacje czuciowe od wszystkich zmysłów oprócz węchu.

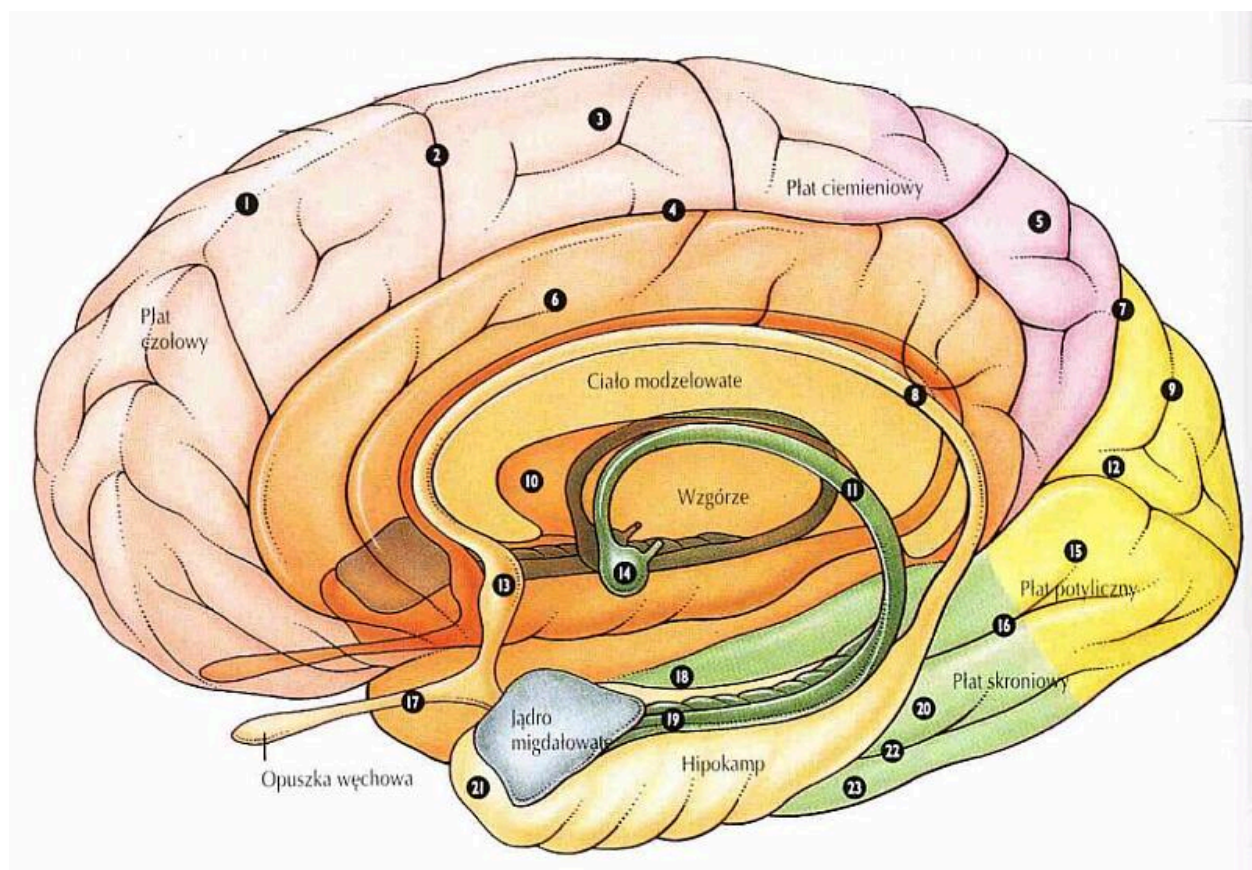
Większość połączeń ma z korą mózgu, mniej z jądrami podstawy i podwzgórzem.

Wzgórze pełni kluczową rolę w integracji informacji czuciowych i ruchowych, w procesach uwagi i kontrolowania dostępu do danych czuciowych, poprzez [pętle korowo-wzgórzowe](#).

Wzgórze współpracując z pniem mózgu i z korą ma wpływ na to, jakie informacje docierają do kory i jak mocno

uaktywniane są różne obszary i sposoby jej działania.

Część wzgórza zalicza się do układu limbicznego.



Ogólne umiejscowienie wzgórza w mózgu.

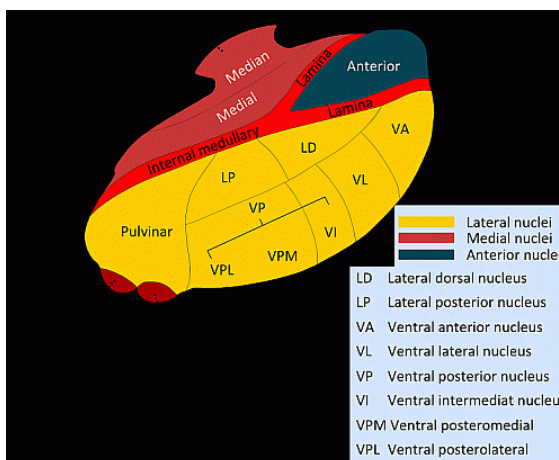
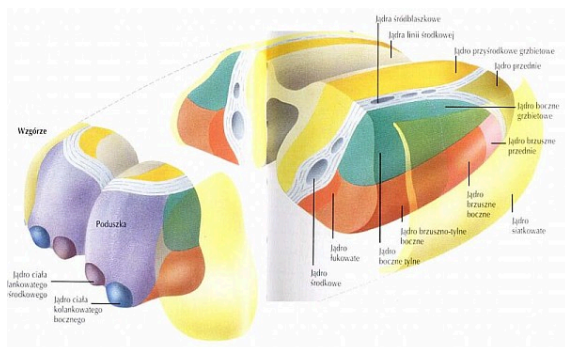
Wzgórze dzieli się na kilka obszarów, czasami wyróżnia się [zawzgórze](#) z ciałem kolankowatym bocznym i przyśrodkowym, oraz [nadzwgórze](#).

Można w nim wyróżnić:

- [przednią grupę jąder](#), którą uważa się za część układu limbicznego; jądra te mają połączenia z korą zakrętu obręczy, hipokampem (przez sklepienie) oraz ciałami suteczkowatymi podwzgórze.
[Projekcje z wzgórza](#) biorą udział w ogólnej regulacji poziomu pobudzenia, a więc przytomności. Szczególnie ważne wydaje się być jądro przykomorowe wzgórza (paraventricular thalamus, PVT), na które wpływają płaty czołowe, jądro przykomorowe i boczna część podwzgórze, wydzielające liczne hormony (oksytocynę, oreksynę i inne), oraz tworzą siatkowatego w pniu mózgu. [PVT pobudza korę i ciało migdałowe](#), grając ważną rolę w regulacji stanów przytomności.
- [Jądra przyśrodkowe wzgórza](#) są również częścią układu limbicznego; łączą się w obu kierunkach z korą przedczołową, otrzymując informację z kory skroniowej, istoty czarnej oraz ciała migdałowego; są silnie połączone z jądrami śródblaszkowymi wzgórza; odgrywają istotną rolę w ekspresji emocji (dzięki integracji aktywności czuciowo-ruchowej).
- Jądra śródblaszkowe otrzymują informację z wstępującego układu siatkowatego, dostarczając niespecyficzne, rozlane pobudzenia do wszystkich okolic kory wpływając na jej ogólną aktywność.
- [Jądra części grzbietowej wzgórza](#): boczno-grzbietowe, część układu limbicznego bo połączona z korą zakrętu obręczy; jądro boczne tylne, połączone jest z korą ciemieniową (pola 5 i 7).
[poduszka](#) (pulvinar), największe jądro wzgórza, łączy się z korą potyliczną, ciemieniową i tylną skroniową; łączy informacje słuchowe, wzrokowe i czuciowe współpracując z wzgórkami czworaczymi górnymi oraz ciałem kolankowatym bocznym.

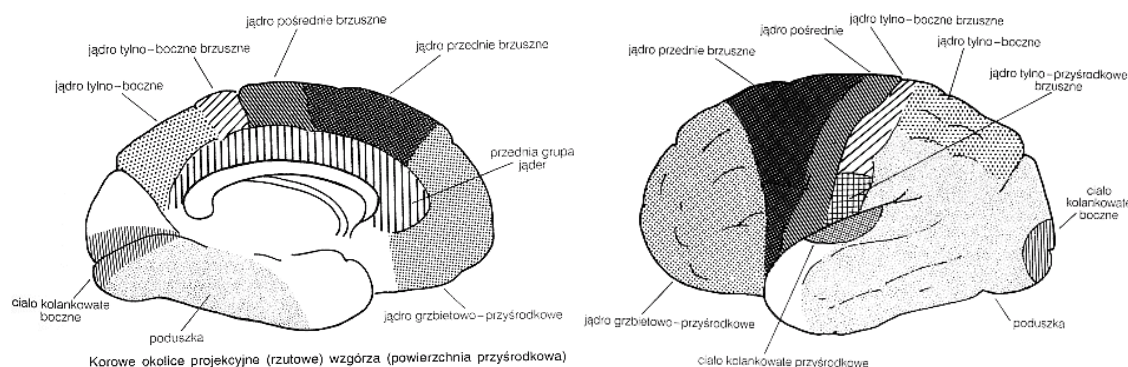
Uszkodzenia poduszki po dominującej stronie mózgu mogą prowadzić do:

- problemów ze skupianiem uwagi,
- [zespołu pomijania stronnego](#) (podobnie jak uszkodzenia kory ciemieniowej, która prawdopodobnie jest zbyt słabo pobudzana).
- rzadkiej [podkorowej afazji czuciowej](#) (wynika to z projekcji pomiędzy poduszką a obszarem Wernickiego); osoba nie rozumie słyszanej mowy a sama mówi dużo, spontanicznie, płynnie nie zdając sobie sprawy z licznych błędów: myli wyrazy, tworzy neologizmy, robi błędy gramatyczne, mało w wypowiedziach jest treści, podobnie jest w czasie czytania i pisania.

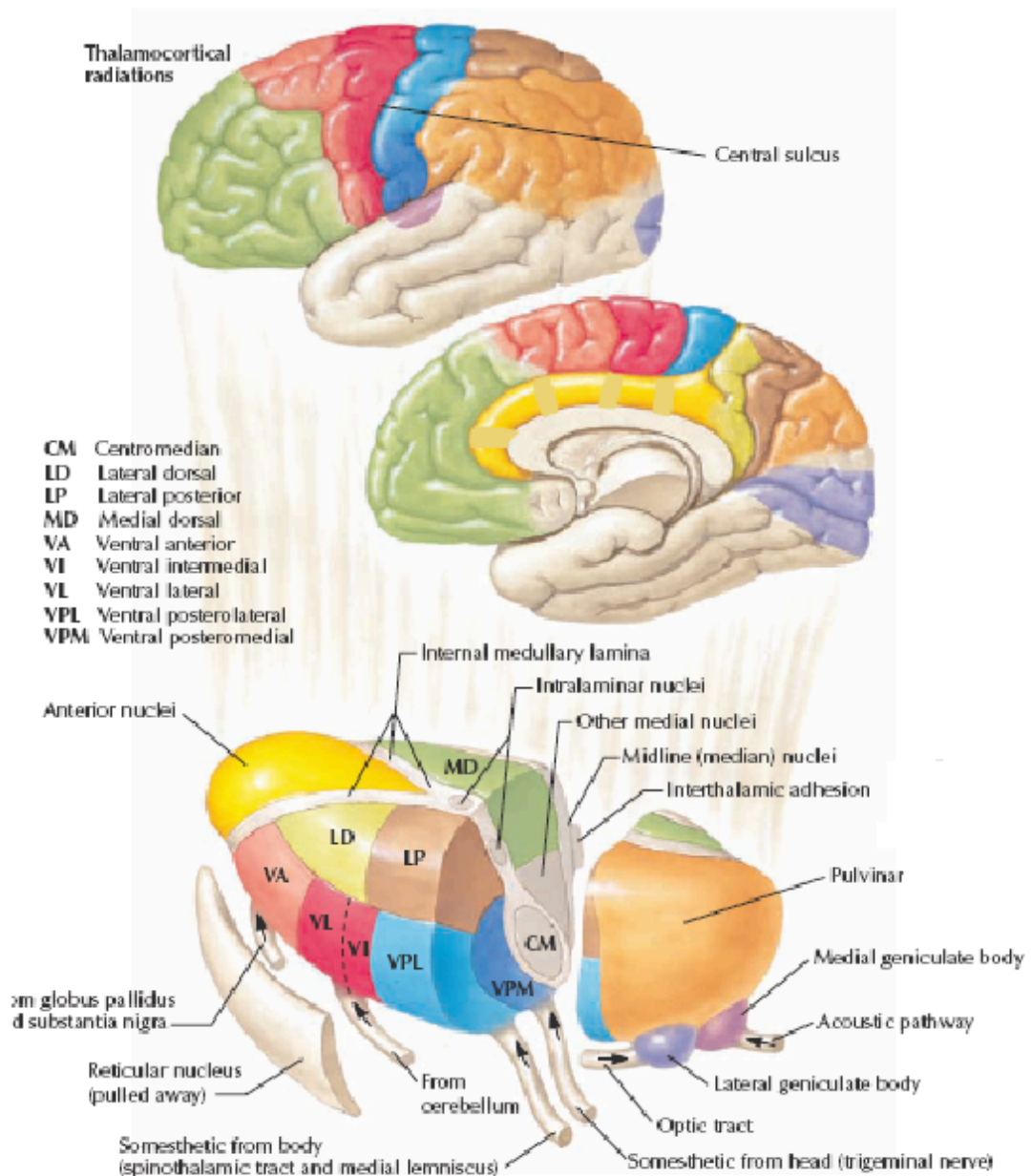


Jądra wzgórza są zwykle dzielone na 4 grupy: przednią, środkową, brzuszno-boczną i tylną.

- Jądro przednie, pośredniczy między podwzgórzem (ciała suteczkowate), podporą (formacje hipokampa) i korą zakrętu obręczy; gra rolę w uczeniu się, pamięci i regulacji przytomności.
- Jądra przyśrodkowe pośredniczą między strukturami limbicznymi a korą przedczołową, oczodołową i przedruchową, mając wpływ na wyższe czynności poznawcze.
- VA, VL, VP, jądra części brzusznej wzgórza pełnią głównie funkcje przekąźnikowe.
- VA, jądro brzuszne przednie pośredniczy między jądrami podstawy, mózdzkiem i korą ruchową; otrzymuje informacje z istoty czarnej, pomagając w inicjacji i powstrzymaniu ruchów.
- VL, jądro boczne tylne ma podobne funkcje do VA;
- VP, tylne jądra brzuszne:
VI, jądro brzuszne pośrednie wysyła połączenia do kory ruchowej, otrzymuje informacje od jąder podstawy mózgu (gałki bladej, istoty czarnej) oraz mózdzku.
VPM, jądro brzuszno-tylno-przyśrodkowe przekazuje informacje o smaku i informacje czuciowe w obrębie głowy;
VPL, jądro brzuszno-tylko-boczne przekazuje informacje czuciowe (ból, dotyk, temperatura).
- Jądro siatkowate wzgórza (NRT) to jądro hamujące, otacza znaczą część wzgórza.
Decyduje o aktywności związanej z uwagą, pobudzone jest przez twór siatkowaty pnia mózgu, wpływa na aktywność pozostałych jąder regulując dopływ sygnałów, na które warto zwracać uwagę.

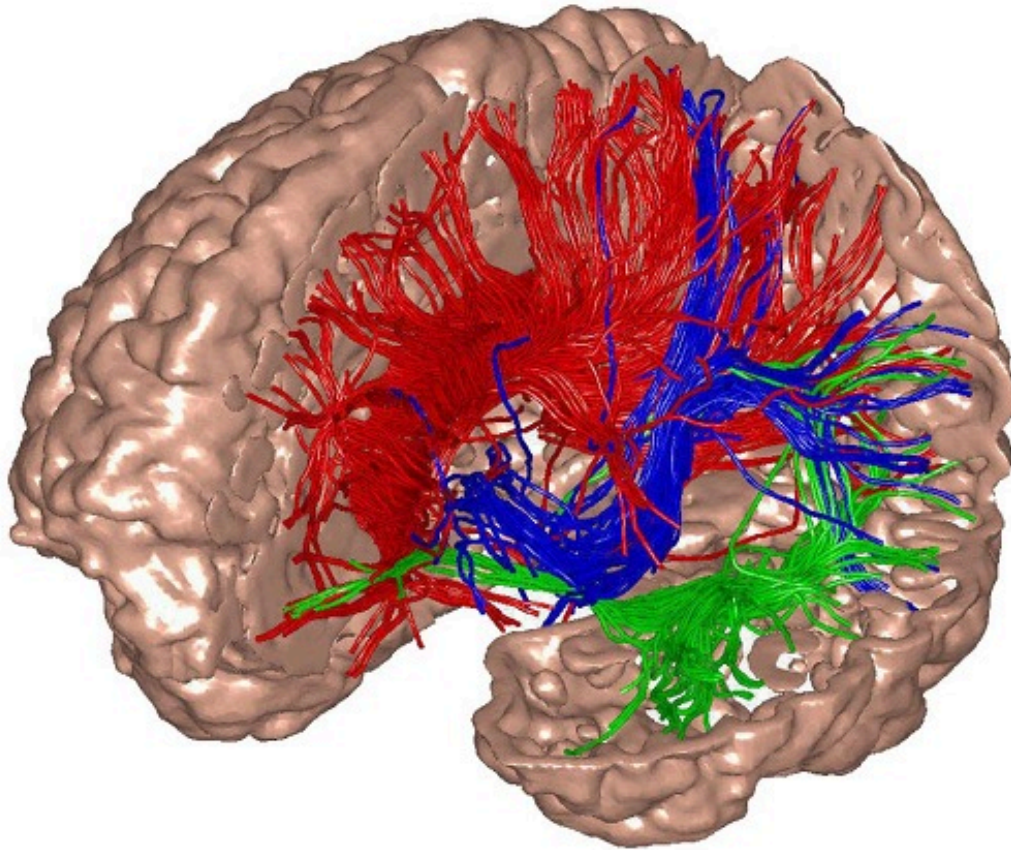


Warstwy neuronów we wzgórzu można oznaczyć w zależności od ich połączeń z korą mózgu. Połączenia są dwustronne, określane jako pętle wzgórzowo-korowe. Kora może więc do pewnego stopnia regulować dopływ aktywacji ze wzgórza. Wiąże się to z procesami uwagi wolicjonalnej i spontanicznej.



Projekcje z wzgórza do kory mózgu.

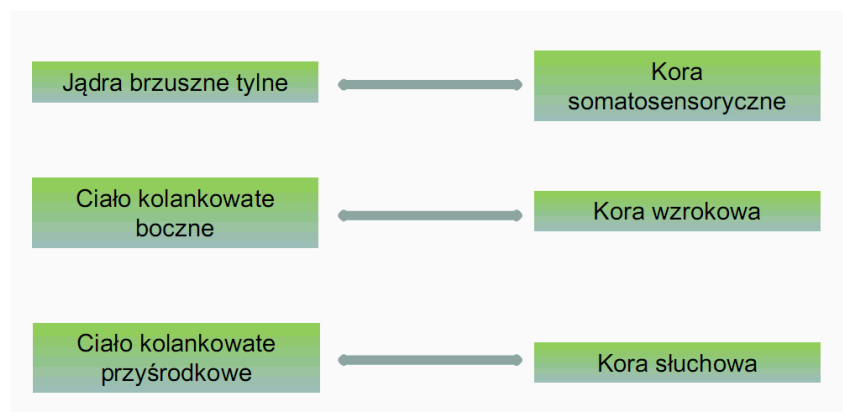
Te połączenia można zobaczyć za pomocą metod traktografii w fMRI.



Projekcje z wzgórza do kory mózgu, kolory zależnie od kierunku. Rys: Izhikevich & Edelman, PNAS 2008

W skład wzgórza wchodzi też:

- [Ciało kolankowate boczne](#) (LGN), przekazujące informacje z siatkówki do kory wzrokowej (płat potyliczny); pomaga skupiać uwagę wzrokową na istotnych obszarach przestrzeni.
- [Ciało kolankowate przyśrodkowe](#) (MGB), przekazujące informacje słuchowe, pośredniczy pomiędzy korą słuchową i [wzgórkami czworaczymi dolnymi](#) śródmózgowia, do których dociera informacja z ucha.

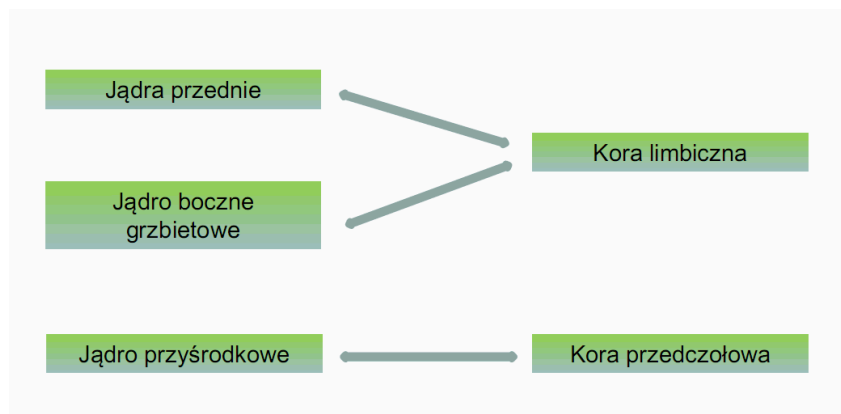


Uszkodzenia tych dróg wywołują specyficzne efekty:

- połączenia z korą somatosensoryczną osłabiają czucie powierzchniowe i głębokie w przeciwległej stronie ciała; mogą być odczuwane jako bolesne.
- połączenia z korą wzrokową powodują zaburzenia postrzegania,
- połączenia z korą słuchową powodują [afazje podkorowe](#)

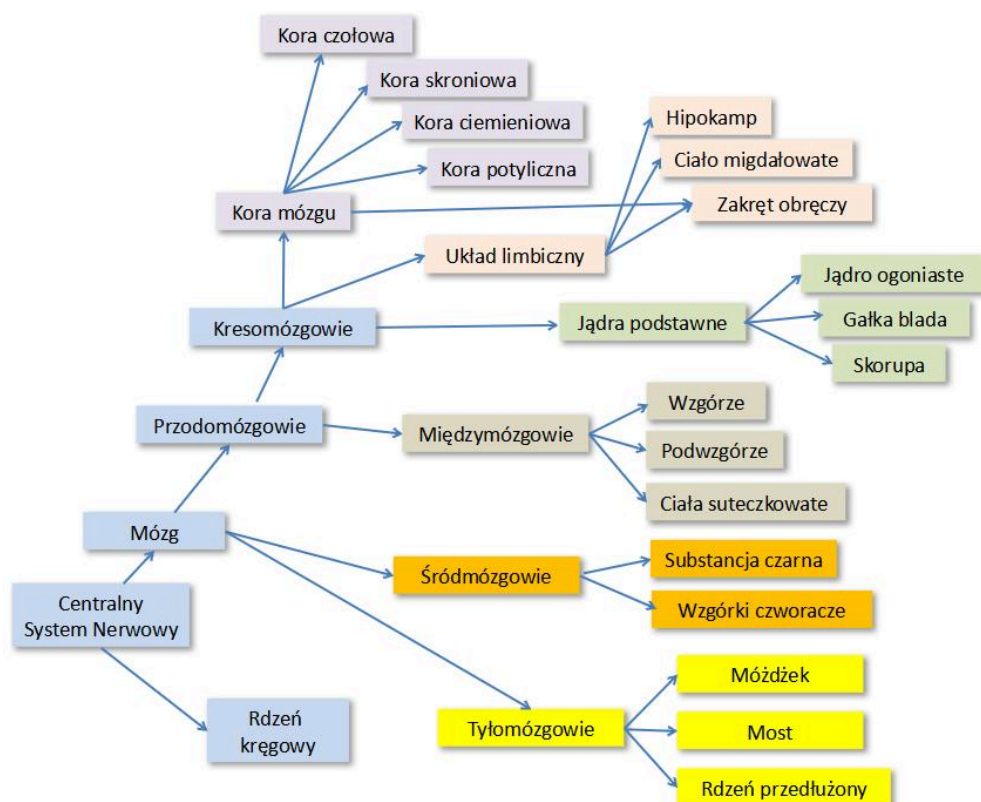
Afazje były traktowane jako zaburzenia korowe, ale uszkodzenia wzgórza, jąder podstawy, oraz głębokiej istoty białej prowadzą do różnorodnych zaburzeń obejmujących mieszane objawy ruchowo-czuciowe.

Podkorowa afazja ruchowa (afemia) daje podobne objawy jak [afazja Broki](#).



- Uszkodzenia połączeń z korą limbiczną powodują zaburzenia afektywne, płacz lub śmiech; kora limbiczna niewłaściwie reaguje na zniekształcone bodźce.
- Uszkodzenia połączeń z korą przedczołową powodują zaburzenia pamięci i emocji; prawdopodobnie kora przedczołowa nie rozumie co chce jej przekazać układ limbiczny.

Podsumowując mamy następujące najważniejsze struktury, uporządkowane częściowo hierarchicznie. Jest ich oczywiście znacznie więcej, w samym podwzgórzu wiele drobnych jąder, każda z wymienionych struktur ma wiele funkcji i złożoną budowę, ale takie schematy pozwalają na ogólną orientację.



Psycholodzy próbują przeanalizować różne rodzaje motywacji, popychające nas do działania. Najbardziej rozbudowana klasyfikacja [zawiera 161 przyczyn](#) stanowiących motywacje działania, uporządkowanych w hierarchiczny sposób, w różnych kontekstach społecznych. Trudno to powiązać z prostymi bodźcami analizowanymi w badaniach nad mózgiem.

Zadanie:

W tej części poznaliśmy metody badania aktywności mózgu, ogólną budowę anatomiczną, oraz rolę pnia mózgu i wzgórza. Pozwala to wyjaśnić wiele zaburzeń. Jakie są najważniejsze metody i jakie funkcje pozwoliły nam odkryć?

Spróbuj wyobrazić sobie jakie jeszcze funkcje i zdolności można w ten sposób wyjaśnić. Jakie zaburzenia w realizacji tych funkcji mogą wystąpić przy niewłaściwej współpracy różnych obszarów mózgu?

Przykładowe pytania:

1. Skąd wiemy, jak zbudowane są mózgi?
2. Skąd wiemy, co dzieje się w mózgu?
3. Jakie są wady i zalety różnych metod badania mózgu?
4. Centralny układ nerwowy z perspektywy rozwojowej.
5. Jakie główne struktury centralnego układu nerwowego odpowiadają za istotne dla przeżycia funkcje?
6. Jakie są ewolucyjne przyczyny specyficznej budowy centralnego układu nerwowego?
7. Jakie struktury mózgu zaliczyć można do układu limbicznego?
8. Jaka jest rola podwzgórza.
9. Jaka jest rola zwojów podstawy mózgu.
10. Co to jest anhedonia i dlaczego jest ona możliwa?
11. Ogólny schemat działania mózgu w 5 blokach.
12. Wymień 6 rzeczy, których potrzebujemy do przeżycia; jakie struktury mózgu za to odpowiadają?
13. Opisz urojeniowe zespoły błędnej identyfikacji: Capgras, Fregoli, intermetamorfoza, sobowtóra, Cotarda ... objawy i możliwe przyczyny.
14. Jakie zmiany w mózgu mogą być przyczyną urojeń monotematycznych?
15. Jakie znasz metody badania aktywności mózgu, jakich sygnałów używają i co nam mogą pomóc zrozumieć?
16. Jakie procesy można zaobserwować za pomocą techniki: EEG, ERP, MEG?
17. Co można obserwować za pomocą techniki: fMRI, Spect, PET, NIRS?
18. Wzgórze: po co je mamy i jak jest zbudowane?
19. Które jądra wzgórza współpracują z układem limbicznym?
20. Z jakimi obszarami kory łączą się różne grupy jąder wzgórza?
21. Opisać efekty lezji różnych dróg łączących wzgórze z korą.

Literatura

[Nine month that made you](#), dokument BBC w 3 częściach na YouTube.

Ciekawostka: czy mózg może żyć bez ciała? Już w latach 1920 Rosjanin Sergiej Bruchonienko pokazał rezultaty takiego eksperymentu z głową psa. Zdjęcie i [video jest tutaj](#). Od tego czasu nastąpił duży postęp i transplantacja głowy człowieka wydaje się [możliwa w niedalekiej przyszłości](#).

[Przekrój mózgu](#), film (tylko lokalnie!).

[Wszystkie struktury mózgu](#), film (tylko lokalnie!).

[Mózg Einsteina](#), [mózg Lenina](#) i [mózg Piłsudskiego](#).

[Physiology Flashcards](#), czyli karty z pytaniami do zagadnień związanych z fizjologią.

[Behavioral and Neuroscience Methods](#), Cognitive Psychology and Cognitive Neuroscience Wikibook

UNESCO - Infografiki [o teoriach spiskowych](#). #ThinkBeforeSharing - Stop the spread of conspiracy theories.

[History of brain surgery](#), historia neurochirurgii.

Literatura ogólna.

- Douwe Draaisma, Rozstrojone umysły. PIW 2009
- Jakimowicz W. Neurologia kliniczna w zarysie. PZWL, Warszawa 1987, str. 47-50.
- Jaśkowski P, Neuronauka poznawcza. Jak mózg tworzy umysł. Wizja Press IT, Warszawa 2009, rozdz. 2.
- Maruszewski M. Afazja. Zagadnienia teorii i terapii. Warszawa: PWN, 1966.
- Mazur R., Książkiewicz B., Nyka W. M. i wsp. (red.) Pień mózgu – oś życia. Via Medica Gdańsk 2007: 67-78.
- Mikołajewski D, Duch W, Pień mózgu. Przybliżenie aspektów medycznych dzięki modelowaniu biocybernetycznemu. WN UMK 2017
- Narkiewicz O. Moryś J. Neuroanatomia czynnościowa i kliniczna. Wyd. I. Wyd. Lekarskie PZWL, Warszawa 2001
- Ramachandran V.S., Neuronauka o podstawach człowieczeństwa/ O czym mówi mózg? Wyd. Uniwersytetu Warszawskiego, 2012
- Ramachandran, V.S. (1999). Phantoms in the Brain: Probing the Mysteries of the Human Mind. New York: Harper Collins
- Sadowski B. Biologiczne mechanizmy zachowania się ludzi i zwierząt. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005
- Walocha J, Iskra T, J.Gorczyca, J.Zawiliński, J.Skrzat: Anatomia prawidłowa człowieka. Ośrodkowy układ nerwowy. Międzymózgowie(red. A.Skawina), Kraków: Wyd. Uniwersytetu Jagiellońskiego, 2003

Literatura specjalistyczna

- Davies, M., Coltheart, M., Langdon, R., Breen, N. (2001). Monothematic delusions: Towards a two-factor account. *Philosophy, Psychiatry and Psychology* 8: 133–158
- Goldstein, A., Zada, Z., Buchnik, E., Schain, M., Price, A., Aubrey, B., Nastase, S. A., Feder, A., Emanuel, D., Cohen, A., Jansen, A., Gazula, H., Choe, G., Rao, A., Kim, C., Casto, C., Fanda, L., Doyle, W., Friedman, D., ... Hasson, U. (2022). Shared computational principles for language processing in humans and deep language models. *Nature Neuroscience*, 25(3), 369–380. <https://doi.org/10.1038/s41593-022-01026-4>
- Haier RJ, Jung RE, Yeo RA, i inn. The neuroanatomy of general intelligence: sex matters. *NeuroImage* 25:320-327, 2005.
- Kaas, J.H. [The origin and evolution of neocortex](#): From early mammals to modern humans. *Progress in Brain Research* 250, 2019.
- Mayer E.A. (2011) [Gut feelings](#): the emerging biology of gut-brain communication. *Nat Rev Neurosci.* 12(8):453-66
- Schrimpf, M., Blank, I. A., Tuckute, G., Kauf, C., Hosseini, E. A., Kanwisher, N., Tenenbaum, J. B., & Fedorenko, E. (2021). The neural architecture of language: Integrative modeling converges on predictive processing. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(45), e2105646118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2105646118>

Cytowanie: [Włodzisław Duch](#), Wstęp do Kognitywistyki. Rozdz. B15: Działanie mózgu. UMK Toruń 2025.
[Następny rozdział: Percepcja](#) | [Wstęp do kognitywistyki - spis treści](#).