

[Poprzedni rozdział.](#) | [Jak działa mózg - spis treści.](#)

1. Budowa ogólna | | **2. Dwa mózgi w jednym** | **3. Trzy mózgi w jednym (teoria MacLeana)**

B2. Działanie mózgu: najprostsze teorie.

Co możemy powiedzieć o działaniu mózgu bez wnikania w szczegóły jego budowy? Nie będzie to głęboka wiedza naukowa, tylko pierwsze przybliżenie, dające początkową orientację. Dobrze się przyjrzyć najprostszym opisom działania mózgu by nie dać się nabrać na mity i pozorne wyjaśnienia, które nam oferują.

Najpierw trochę ogólnych informacji o budowie mózgu. Niektóre nazwy mają łacińskie (od cerebrum) lub greckie (od encephalon) rdzenie.



B2.1. Budowa ogólna.



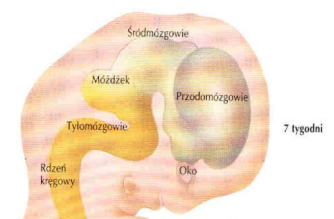
Co zwiększa szanse przeżycia organizmu?

1. Sprawny system regulujący jego podstawowe funkcje metaboliczne.
2. Szybkie reakcje na zagrożenia, wyspecjalizowane zmysły pozwalające na poszukiwanie pożywienia i zwiększające szansę na pozostawienie potomstwa.
3. Możliwość planowania, pamięć i orientacja, rozumienie związków przyczynowo-skutkowych.

Konieczność funkcji należących do tych trzech kategorii zauważył już Arystoteles, określając je mianem dusza wegetatywna, zwierzęca i rozumna. Ewolucyjnie tak właśnie rozwijały się organizmy i ich mózgi. Zrozumienie jakie wyzwania stawia środowisko przed organizmami, co zwiększa szanse przeżycia, jak biologia mogła dostosować organizmy by te szanse zwiększyć, pozwala nam zrozumieć dlaczego jesteśmy jacy jesteśmy i czego się można spodziewać po naszych mózgach. Realizacja tych funkcji wymaga, by mózg się szybko zmieniał, znacznie szybciej niż inne części naszego ciała. To zjawisko nazywamy [neuroplastycznością](#). Historia odkrycia neuroplastyczności opisana jest w znakomitej książce Normana Doidge'a: [Mózg zmienia się sam](#). Tu jest krótki film [ilustrujący neuroplastyczność](#).

[Podział ogólny struktur mózgu:](#)

- Przodomózgowie obejmuje większą część mózgu:
 - [kresomózgowie](#)
 - [międzymózgowie](#),
 - [śródmózgowie](#) i

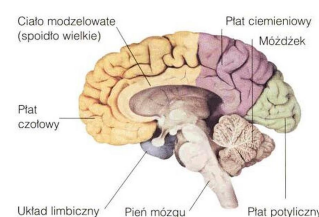


- o [tyłomózgowie](#) z [rdzeniem przedłużonym](#).

Ten podział jest rzadko używany w pracach medycznych czy neurofizjologicznych.

- Kora mózgu, ośrodki podkorowe i pień mózgu.
 - [Kora nowa, neocortex](#) (lub isocortex), ewolucyjnie najmłodsza, ma 6 warstw neuronów i leży na powierzchni mózgu.
 - [Kora stara, archicortex](#), ma tylko 3 warstwy neuronów, znajduje się w strukturach układu limbicznego (rąbkowego), układzie węchowym i hipokampie.
 - [Pień mózgu](#) ma skupiska neuronów, którym w większości nie da się przypisać struktury warstwowej. Im starsze struktury tym są głębiej.

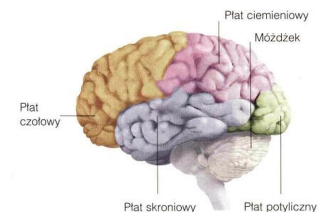
[Pień mózgu](#) odpowiedzialny jest za regulację podstawowych funkcji organizmu: oddychanie, pracę serca, regulację ciśnienia krwi, temperatury organizmu, metabolizmu, odruchowe reakcje oka, reakcje kaszlu, integrację bodźców ruchowych i czuciowych, poziomu przytomności (twór siatkowaty), **współpracę z układem hormonalnym** ([przysadka mózgowa](#)). Zanik funkcji pnia mózgu to śmierć całego organizmu.



[Układ limbiczny](#) jest w większości pomiędzy pniem mózgu i podwzgórzem a korą nową, zalicza się do niego również [korę zakrętu obręczy](#).

Kontroluje emocje i [motywacje](#), popędy organizmu (instynktowne czynniki wpływające na zachowanie), pamięć ruchów, konsolidację pamięci.

Cztery płaty [kory mózgu](#): czołowy, ciemieniowy, potyliczny, skroniowy. W części przysiodkowej jest płat piąty, czyli [korę zakrętu obręczy](#), a w dole bocznym mózgu, pod płatem skroniowym mamy [korę wyspy](#); są to de facto dodatkowe płaty kory.



[Mózdzek](#) jest wyraźnie widoczny jako odrębna struktura; jego główne zadanie to kontrola i koordynacja ruchów, ale pełni też wiele innych funkcji.

Najprostsze teorie działania mózgu, którym się przyjrzymy:

- 2 półkule - lateralizacja funkcji.
- 3 struktury - spojrzenie ewolucyjne.
- Płeć mózgu - różnice męskie-żeńskie, ying-yang.
- Biochemia - równowaga hamowania i pobudzania.

- Podejście socjobiologiczne.

Nieco bardziej złożone teorie:

- Podział na funkcje 4 lub 5 pól: zgrubna lokalizacja
- Dokładniejszy podział na 10 struktur (8 półpól+układ limbiczny+pień mózgu).
- Model cybernetyczny: definiuje liczne moduły przetwarzające informację i ich współdziałanie, podejście systemowe.

Cybernetyka jest nauką o systemach sterowania, przetwarzaniu i przekazywaniu informacji w takich systemach. Można ją więc stosować zarówno do opisu zjawisk na poziomie przepływu informacji w mózgu jak i opisu zjawisk społecznych ([socjocybernetyka](#)).

Cybernetyczne podejście wykorzystywane jest do kontrolowania ekonomii jako przepływu materiałów i środków finansowych; oparty na cybernetyce [projekt Cybersyn](#) w Chile służył w latach 1971-73 do kontroli całej gospodarki. Cybernetyka została wchłonięta przez kilka innych nauk.

Znacznie bardziej złożone teorie wymagają omówienia szczegółowej roli różnych obszarów mózgu, warstwowej (laminarnej) budowy kory mózgu, biofizyki neuronów, konektomiki i neurodynamiki badającej stany kolektywne dużych grup neuronów. Szczegółowe modele symulacyjne omawiane były na wykładzie [Modelowanie Funkcji Mózgu](#).

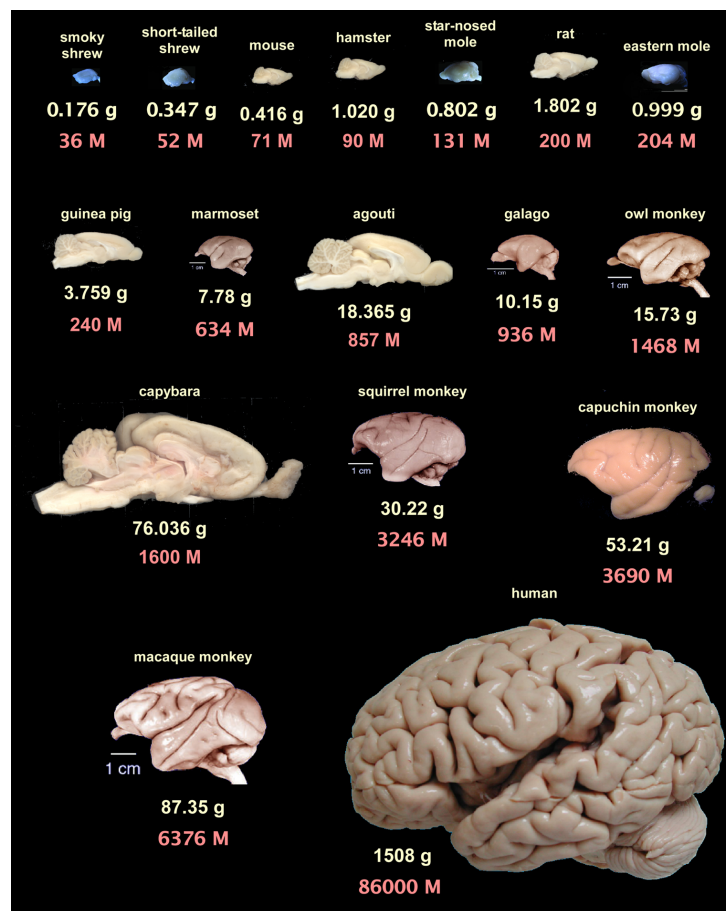
Proste podejścia pozwalają zrozumieć działanie mózgu koncepcyjnie, są więc w tym sensie "lepsze" niż teorie bardziej zaawansowane, które dostarczają szczegółowych odpowiedzi, ale nie ułatwiają zrozumienia ogólnych koncepcji. Co więcej, szczegółowe odpowiedzi są z natury rzeczy bardzo skomplikowane, zależne od wielu czynników, trudno jest je zastosować do wyjaśnienia bardziej złożonych funkcji mentalnych. Dyskusja nad najbardziej adekwatnym poziomem i sposobem opisu zjawisk mentalnych [nadal się toczy](#).

Jak [złożone są mózgi](#) różnych zwierząt?

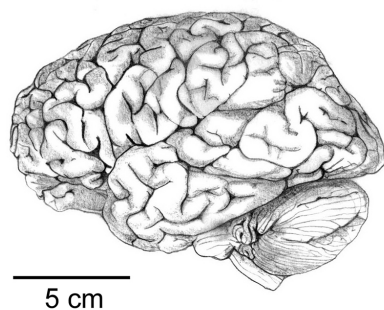
Liczba neuronów jest tylko jedną z miar tej złożoności, liczba synaps jest lepszą, ale trudno o dobre dane. Najprostszy układ nerwowy ma nicien [C. elegans](#), żyjący w glebie, ma około 1 mm długości i zaledwie 302 neurony, znana jest dokładna struktura ich połączeń.

Gatunek	Neurony kory
Caenorhabditis elegans	302
Ślimaki/morskie	7.000-20.000
Mrówki	10.000-100.000
Homar	100.000
Mucha	100.000
Karaluch, pszczoła	1 mln
Mysz	4 mln
Szczur	15 mln

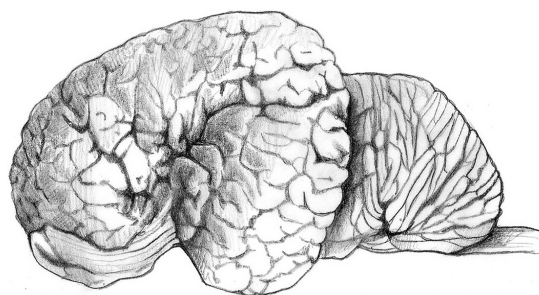
Pies	160 mln
Kot	300 mln
Ośmiornica	300 mln
Rezus	480 mln
Koń	1.200 mln
Goryl	4.300 mln
Delfin	5.800 mln
Szympanś	6.200 mln
Orka	10.500 mln



human



African elephant



Kora człowieka na 16.500 mln, całkowita liczba neuronów to około 86.000 mln,

[kora słonia](#) ma 5.600 mln neuronów, ale aż 257.000 mln neuronów w całym mózgu, z czego 251.000 mln w mózdzku.

To są dane szacunkowe z pracy [Rotha i Dicke \(2005\)](#) i dotyczą neuronów w korze nowej; liczba wszystkich neuronów jest znacznie większa i podana jest po prawej stronie pod masą mózgu. Oceny z innych prac różnią się dość mocno, indywidualne różnice są znaczne, więc należy traktować takie porównania tylko orientacyjnie.

Połowa komórek mózgu człowieka to [komórki glejowe](#), a nie neurony; w korze mamy aż 80% komórek glejowych i 20% neuronów, za to w mózdzku proporcje są odwrotne.

Czy mózg ludzki jest w jakiś szczególny sposób nietypowy? Takie przekonanie panowało do niedawna: mamy pewnie więcej genów, większe mózgi a szczególnie większy współczynnik encefalizacji (masę mózgu podzieloną przez masę ciała) itp. Jednak takie twierdzenia są obecnie kwestionowane (Herculano-Houzel 2009), wygląda na to, że nasze mózgi są dość typowe dla

[ssaków naczelnych](#) naszych rozmiarów; to goryle i w mniejszym stopniu orangutany mają zbyt duże ciało w stosunku do liniowej zależności między masą mózgu-masą ciała dla prawie 500 naczelnych. Liczba neuronów w mózgu zwierząt z innych rzędów (np. gryzoni) jest wyraźnie mniejsza niż naczelnych przy tej samej masie mózgu, co wynika z innego **sposobu ich upakowania** i relacji do innych komórek. Liniowo nie oznacza, że można po prostu przemnożyć liczby neuronów w mózgu szczura przez 1000 i uznać, że przy tej samej masie mózgu co człowiek (czyli 1000 razy większej) byłoby aż tyle neuronów. Współczynnik wzrostu jest różny dla zwierząt należących do różnych rzędów.

Mózg gryzonia o masie 1.5 kg miałby około 7 razy mniej neuronów niż mózg człowieka. Mamy za to inne proporcje obszarów mózgu, w szczególności większą niż to wynika z prostego skalowania wielkości całego mózgu naczelnych część kory przedczołowej.

Całkowita liczba neuronów w mózgu słonia jest 3 razy większa niż u człowieka (ok. 257 mld), ale w samej korze aż 3 razy mniejsza, a 97.5% [neuronów w mózgu słonia](#) jest w jego mózdzku! Różne [porównania są w tym artykule](#).

Jaki procent mózgu wykorzystujemy?

Skąd wzięto się takie pytanie? Jest to jeden z [najbardziej popularnych mitów miejskich](#). Skąd się biorą takie mity? Jest to typowy mem, użyteczny w reklamie, powstały w okresie, kiedy funkcja większości obszarów mózgu nie była znana. Jaki sens może mieć takie pytanie?

Uszkodzenia (leżje) dowolnej części mózgu prowadzą do utraty lub pogorszenia specyficznych funkcji. Czemu natura miałaby pozwolić na tak kosztowny do utrzymania organ, którego w 95% nie wykorzystuje? Czy mamy jakieś inne niewykorzystane organy?

Nieco lepiej jest zapytać: jaki są możliwości, a jakie ograniczenia mózgu? **Jak daleko jesteśmy od szczytu swoich możliwości?** Np. jaki procent mocy obliczeniowej mózgu możemy przeznaczyć na abstrakcyjne myślenie?

Naiwna ocena: szybkość Deep Blue oceniano w prostych testach (operacje na macierzach) na około 10^{11} binarnych operacji na sekundę (10 Gflops). Ostrożnie zakładając, że w procesy myślowe w mózgu zaangażowanych jest tylko 4% z 10^{14} połączeń przesyłających 50 impulsów na sekundę, a każdy wymagający aproksymacji za pomocą 5 bitów, dostajemy przepływ informacji rzędu 10^{15} bitów, czyli 10 tysięcy razy więcej niż Deep Blue. Przegrana Kasparowa z tak powolną maszyną świadczy tym, że w myślenie abstrakcyjnej zaangażowanych jest znacznie mniej niż 1% możliwości przetwarzania informacji przez mózgi ...



Gdyby wszystkie neurony wysyłały 50 impulsów na sekundę mózg pracowałby z mocą 2000 Watów! Ponieważ moc mózgu to tylko ok. 20 Watów w danym momencie jedynie 1% neuronów pracuje z tak dużą częstotliwością, ale ten 1% co chwilę wykorzystuje inne grupy neuronów. Zamiast długo ciężko pracować [neurony pobudzają się na krótko](#), przesyłają informację i odpoczywają wiele razy w ciągu sekundy. Całe szczęście, bo ciężka praca wyzwala sporo ciepła, a 2000 Watów wystarczy by ugotować mózg w ciągu minuty ...

Oceny z pracy [P. Lennie \(2003\)](#).



B2.2. Dwa mózgi w jednym.



Jakie sprzeczne ze sobą wymagania stoją przed mózgami?

- Precyzyjnie analizować wybraną informację, jednocześnie postrzegając wszystkie istotne bodźce by w razie potrzeby się na nich skupić.
- Sprawnie wykonywać kilka funkcji jednocześnie, ale bez wzajemnego zakłócania.
- Zapewnić możliwość dalszego działania pomimo częściowego uszkodzenia.

Dla osiągnięcia optymalnego kompromisu przydatny jest podział mózgu na dwie podobne, ale nie identycznie działające półkule.

Powszechnie uważa się, że są **dwa sposoby myślenia: logiczny i intuicyjny**, czyli męski i kobiecy? Czy jednak taki podział ma sens?

Myślenie intuicyjne oparte jest na pamięci i reakcjach emocjonalnych, doświadczeniu, postrzeganiu całości, jest trudne do zwerbalizowania, przypomina bardziej postrzeganie niż rozumowanie.

Myślenie logiczne jest trudniejsze, wymaga sekwencyjnego przetwarzania informacji, więc zdarzają się często pomyłki.

Relacja intuicji i logiki zależy bardzo od sytuacji, często potrzebna jest logiczna weryfikacja intuicyjnych decyzji.

Mamy [dwie półkule mózgu](#) połączone ze sobą wiązką około 200 mln szybko przewodzących impulsy (czyli dobrze zmienilizowanych) aksonów, nazywaną spoidłem wielkim lub ciałem modzelowatym.

Może to wyjaśnia dwa rodzaje myślenia? Półkule mózgu rozdzielone są cienkim sierpem mózgu (flax cerebri), który stanowi przedłużenie opony twardej (po wyschnięciu wygląda to jak kość).

Pierwsze informacje o [lateralizacji funkcji mózgu](#) podał Paul Broka, w 1861 roku; historia i wątpliwości dotyczące tego doniesienia opisana jest w książce Draaisma (2009).

Uszkodzenia lewej półkuli są związane z trudnościami z mówieniem, pisanem, czytaniem, matematyką.

Uszkodzenia prawej półkuli powodują trudności z rozpoznawaniem struktur geometrycznych, twarzy, trudności z rysowaniem, percepcją muzyki.

Wiedza popularna:

Dominacja prawej półkuli - artyści, humaniści; lewa - naukowcy, umysły ścisłe.

Prawa półkula - wschodni mistycyzm, lewa półkula - zachodni racjonalizm (R. Ornstein).

Częste hasła podejrzanych organizacji to: Rozwiń intuicję prawej półkuli! Wykorzystaj cały mózg! Już wiemy, co by się działo z mózgiem wykorzystującym 100% swojej mocy. Podobnie jak komputer potrzebował by naprawdę dobrego chłodzenia ...



Metody badania różnic między półkulami.

- Uszkodzenia mechaniczne mózgu: obserwacje z XIX wieku, [Paul Broca](#) i [Karl Wernicke](#) zlokalizowali mowę w lewej półkuli.
- Obserwacje zmian w wyniku guzów, wylewów i chorób.
- Lateralna prezentacja krótkich bodźców - chociaż spoidło wielkie i pozostałe drogi przekazują informację do drugiej półkuli następuje utrata jej dokładności i wymagany jest do tego czas rzędu 20-40 ms.
- Badania EEG, MEG, potencjałów wywołanych: blokowanie alfa, wyższe częstotliwości.
- Obrazowanie czynności mózgu - [MRI](#), [PET](#), pokazują mózg w trakcie pracy.
- [Test Wada](#), zwany próbą amytalową, wyłączający na krótki czas jedną z półkul.
- Eksperymenty z osobami po komisurotomii.

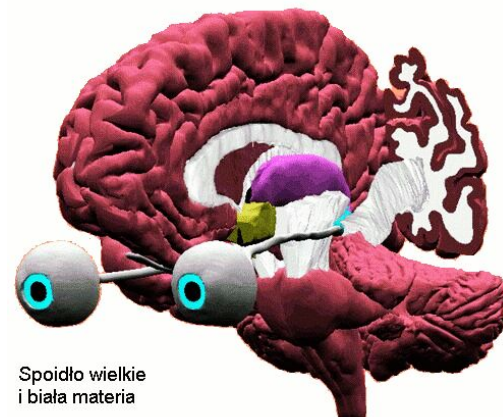


W latach 1940 nie umiano sobie poradzić z ciężkimi przypadkami padaczki. Napady "grand mal", powodujące utratę przytomności, próbowano powstrzymać przecinając spoidło wielkie - 200 milionów aksonów tak, by nadmierne pobudzenie nie obejmowało całego mózgu. Takie [operacje komisurotomii](#) okazały się sukcesem, efekty uboczne nie były zwykle uciążliwe.

Jak to wpływa na zachowanie? Każda półkula działa niezależnie. Ale ... są to osoby chore, z uszkodzeniem mózgu, spoidło przednie i spoidło hipokampa zwykle u nich zostaje, więc pozostaje słaby przepływ informacji.

Budowa ciała i mózgu jest lekko asymetryczna. Asymetria widoczna jest już na etapie płodowym. Różnice widoczne są już na poziomie budowy cytoarchitektonicznej i poziomie biochemicznym. Prawa półkula jest:

- Nieco większa i cięższa niż lewa.
- Ma więcej białej materii (więcej połączeń odległych struktur).
- Część czołowa jest szersza, bardziej wysunięta do przodu.
- [Szczelina Sylwiusza](#) oddzielająca płat skroniowy od ciemieniowego kończy się zagięciem ku górze.
- Niektóre obszary kory ciemieniowej są powiększone.



Lewa półkula różni się tym, że:

- Część tylna jest szersza.
- Szczelina Sylwiusza jest dłuższa o ok. centymetr i prosta.
- Większa jest też równina skroniowa (planum temporale) i ośrodek Broki.
- Jest więcej materii szarej.
- Jest w niej więcej dopaminy, a mniej noradrenaliny.

Mowa zlokalizowana głównie w prawej półkuli występuje tylko u 4% praworęcznych. U leworęcznych jest to u ok. 15%, a dodatkowo u 15% obie półkule analizują i tworzą mowę w jednakowym stopniu. Asymetria mniej widoczna jest u kobiet.

Mowa docierająca do prawego ucha jest nieco lepiej rozumiana, gdyż sygnały trafiają z większą precyzją do lewej półkuli.

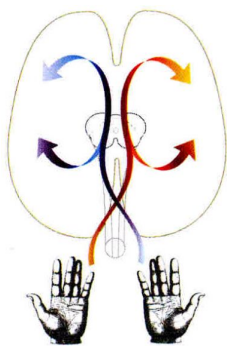
Rozpoznawanie złożonych kształtów jest trochę lepsze w prawym polu widzenia (sygnał dociera do lewej półkuli).

Szybka ewolucja mózgu i wzrastająca złożoność przetwarzanej informacji, zwłaszcza związanej z mową, stała się możliwa dzięki specjalizacji półkul. Mutacje dotyczące obszarów kory po jednej stronie nie psuły funkcji wykonywanych przez drugą półkulę. Specjalizacja pozwala na nabywanie nowych umiejętności przy zachowaniu poprzednich. Spoidło wielkie pozwala na koordynację tych obszarów, które powinny ze sobą współpracować (Gazzaniga, 2020).

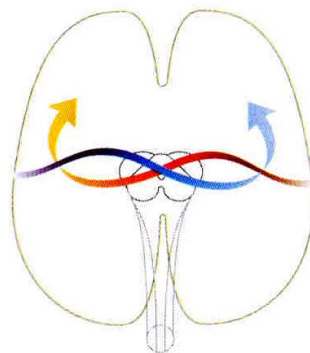
Lateralizacja funkcji u zwierząt jest zwykle słabo widoczna, ale u ptaków tylko uszkodzenia lewej półkuli upośledzają śpiewanie. U niektórych małp funkcje wzrokowo-przestrzenne są silnie przetwarzane w lewej półkuli.

Preferencje ssaków (prawdopodobnie i gadów oraz ryb) do obracania się w jednym kierunku są wynikiem różnic poziomu dopaminy w lewym i prawym prążkowie. To wystarczy by powstały niesymetryczne skurcze mięśni.

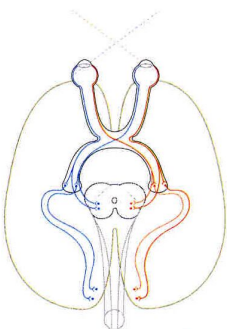
Szlaki nerwowe prowadzące od narządów zmysłów do obszarów przetwarzających.

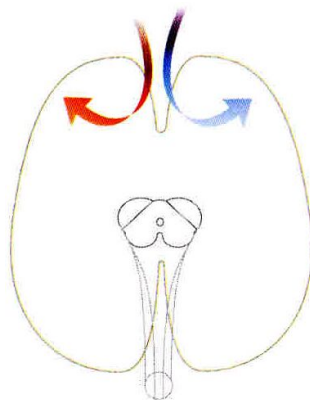


Skrzyżowane szlaki nerwowe dla bodźców dotykowych i sterowania motorycznego.



Bodźce słuchowe. Dźwięki z lewego ucha analizowane są w prawej półkuli i odwrotnie.





Bodźce wzrokowe. Lewe pole wzrokowe analizowane jest w prawej półkuli i odwrotnie. Specjalne okulary skierowują obraz tylko do prawej i lewej półkuli.

Bodźce węchowe nie przechodzą przez skrzyżowane szlaki. Może to mieć wyjaśnienie ewolucyjne: opuszka węchowa powstała z najbardziej wysuniętego do przodu zwoju nerwowego prymitywnych organizmów.

Nawet wąż wykazuje pewne asymetryczne zróżnicowanie. Receptory węchowe w prawym nozdrzu bardziej powodują rejestrowanie wrażeń, wywoływanie skojarzeń. Receptory z lewego nozdrza trochę lepiej rozpoznają zapachy.

Tracimy wrażliwość na zapachy: całkowita **anosmia (niewrażliwość)** dla niektórych grup zapachów (np. "miętowych") obejmuje ok. 3% ludzi. W krajach rozwiniętych częściowa anosmia obejmuje znaczny procent ludności, np. ponad 20% osób ma "dysfunkcji zapachu" (podobnie ze smakiem), jak pokazano w badaniach na populacji ponad 1300 osób w Niemczech ([Venneman i inni, 2008](#)).

Ręczność: u antropoidów zaobserwowano jedynie słabe preferencje do praworęczności przy używaniu narzędzi. Poza tym praworęczność (prawołapność?) nie jest spotykana u zwierząt. Za już u australopiteków i neandertalczyków dominowała praworęczność. Ewolucja praworęczności była stopniowa: przed 70.000 lat mogło być już około 2/3 praworęcznych, jak można wywnioskować z asymetrii szkieletów lub z artefaktów materialnych, kierunku nacięć z lewej do prawej (por. przegląd [N. Uomini](#) (2009), silnej dominacji u neandertalczyków, podobnej do ponad 90% obserwowanych obecnie.

Genetyczne przyczyny rozwoju praworęczności u ludzi wynikają prawdopodobnie z dwunożnej postawy, ułożenia niemowlęcia tak, że głowa jest po lewej stronie przy sercu matki, podtrzymywane jest przez lewą rękę, więc prawa była bardziej swobodna i mogła wykonywać bardziej precyzyjne ruchy; to wiąże się z ogólnie większą precyzją działania przypisywaną lewej półkuli.

Ręczność jest w znacznej mierze uwarunkowana genetycznie. Leworęcznymi jest 20% bliźniaków mono jak i heterozygotycznych. Leworęczny potomek pojawia się u 2% prawo-praworęcznych rodziców; 17% prawo-leworęcznych i 46% lewo-leworęcznych.

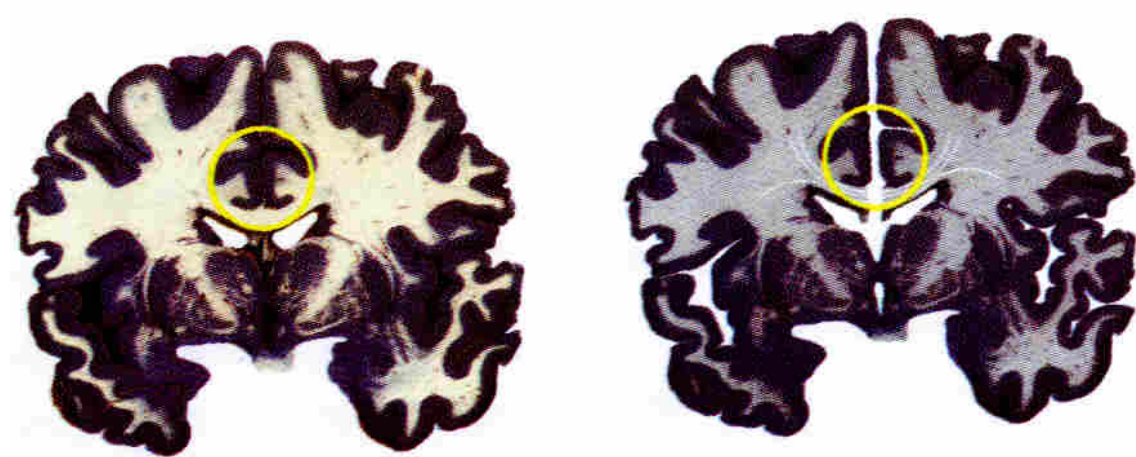
Problemy takie jak padaczka, zaburzenia immunologiczne, problemy z uczeniem występują częściej u leworęcznych.

Gen LRRTM1 dziedziczony ze strony ojca, tworzący białka membranowe decydujące o własnościach neuronów, zwiększa prawdopodobieństwo leworęczności i niektórych chorób psychicznych.

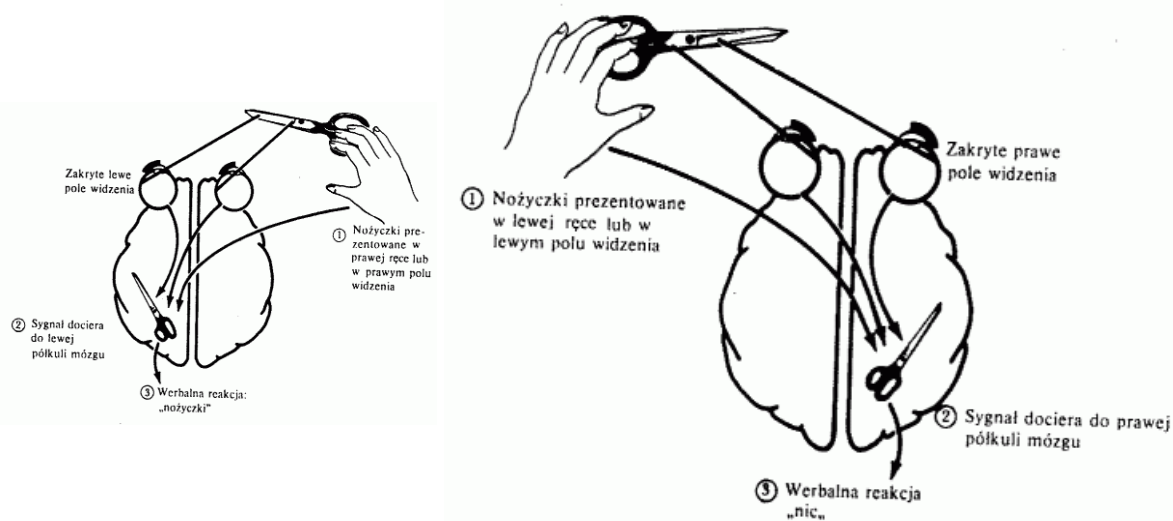
Doświadczenia z pacjentami z przeciętym spoidłem.

[Usunięcie całej półkuli mózgu](#) w dzieciństwie może nie zostawić łatwo zauważalnych skutków (ale pewne upośledzenie funkcji, w których specjalizuje się dana półkula zostaje). Dzięki neuroplastyczności mózg wykazuje wielką zdolność do kompensacji pewnych deficytów.

Eksperymenty z dorosłymi pacjentami po komisurotomii prowadzone były przez [Rogera Sperry](#) (Nobel 1981) od lat 1950, a w latach 1960 również przez Michela Gazzanigę. Obserwacje prowadzone są do tej pory, chociaż niewiele jest takich osób.



[Komisurotomia - przecięcie spoidła wielkiego.](#)



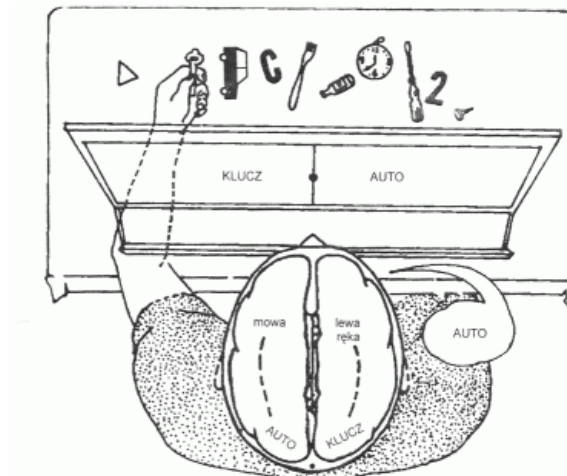
W prawym polu widzenia obiekt jest rozpoznawany i identyfikowany.

W lewym polu widzenia pacjent nie potrafi powiedzieć, co widzi, ale jego prawa półkula to wie, bo potrafi wybrać odpowiedni przedmiot kierując lewą ręką.

Pokazywane jest dwuczściowe słowo, np. "HAT | BAND", czyli przepaska na czoło. Lewe oko widzi w lewym polu widzenia HAT, a prawe w prawym polu widzenia BAND, co trafia do lewej półkuli, która potrafi je głośno odczytać.

Jednak pacjent zapytany o jaki "band" chodzi, odpowiada - może "rubber band, jazz band".

Poproszony by to napisać lewą ręką trzymaną wewnątrz pudełka pisze HAT, ale nie potrafi powiedzieć, co napisał!

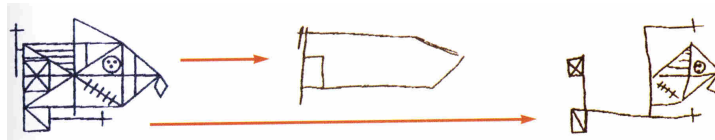


Podobne doświadczenie można zrobić ze słowami KLUCZ | AUTO i wyszukiwaniem obiektu. Zapytany co widzi po lewej stronie pacjent odpowiada "błysk światła", ale wybiera lewą ręką samochodowy klucz.

Jeśli pacjent trzymał w każdej z rąk przedmiot, który został schowany do pudełka, a następnie miał wyciągnąć go lewą ręką, twierdził, że nie wie co robi, chociaż wyciągnął szukany przedmiot. Z prawą ręką nie było problemu, wszystko przebiegało normalnie.

Prawa półkula przez dotyk może rozpoznać plastikową cyfrę i pokazać odpowiednią liczbę palców. Lewa półkula zgaduje źle podając co to za cyfra.

Szkicowanie obiektów:

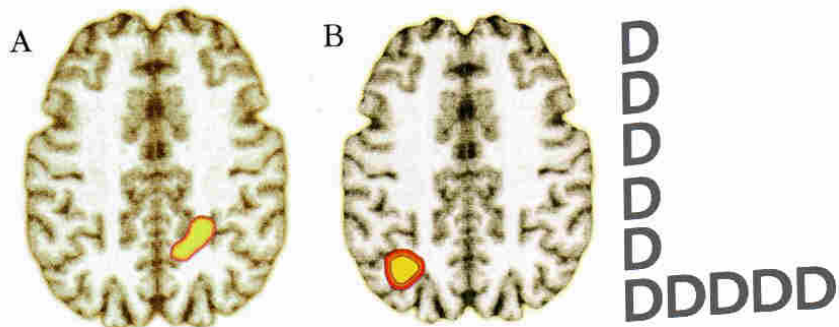


Kopiowanie rysunku oglądanego przez prawą półkulę dało tylko ogólny zarys, a lewą półkulę - tylko szczegóły.

Skupienie się na literach D powoduje aktywację lewej półkuli; na kształcie L - prawej. Prawa półkula dostrzega las (niska zdolność rozdzielcza), lewa pojedyncze drzewa (wysoka zdolność rozdzielcza). W ten sposób uzupełniają się wzajemnie.

Możliwy jest konflikt "bimanualny" między półkulami: Gazzaniga opisuje sytuacje w których prawa ręka walczy z lewą! Jedna zapina guziki koszuli a druga próbuje je rozpiąć, bo chce nałożyć inną. Jedna ręka szarpie żonę a druga próbuje ją powstrzymać. Jest to jedna z odmian [zespołu obcej ręki](#), w którym traci się kontrolę nad ruchami swojej ręki.

Obydwie półkule wydają się mieć mają inne plany i motywację. Opisano przypadek chłopca po operacji z niewielkimi zdolnościami mowy w prawej półkuli: chociaż integracja odpowiedzi była znaczna, prawa półkula oceniała je bardziej krytycznie i potrafiła wyrazić całkiem odmienne, własne ambicje.



[Test na działanie prawej półkuli](#)

[Test na działanie lewej półkuli](#)

Interpreter i konfabulacje.

Gazzaniga (1970) opisuje eksperyment, w którym płonący budynek pokazany w lewym polu widzenia wywołuje wzburzenie, chociaż pacjent nie rozumie przyczyn swojego pobudzenia. Następuje próba racjonalizacja sytuacji, konfabulacje, np. oskarżenie jednego z badaczy o wywołanie zdenerwowania.

Podobne doświadczenia prowadzono z rozśmieszaniem, prawa półkula widząc zabawny rysunek inicjuje śmiech, chociaż pacjent twierdzi, że nic nie widział i nie wie dlaczego się śmieje.

Racjonalna, lewa półkula obserwując reakcje emocjonalne organizmu tworzy konfabulacje, zapewniając ciągłość narracji wewnętrznej, dając pozory rozumienia przyczyn i skutków.

Gazzaniga wnioskuje, że to działanie "interpretera" w dominującej półkuli mózgu, procesów odpowiedzialnych za wnioskowanie, nie dopuszczających niepewności, odpowiedzi "nie wiem", stwarzających pozory spójnej narracji. W ostateczności, kiedy nie da się utrzymać takiej narracji, można zwalić przyczyny swojego zachowania na kuszenie złego ciała ...

Przykłady działania interpretera u pacjentów po komisurotomii (Gazzaniga 2011); słowa pokazywane krótko po lewej stronie trafiają do prawej półkuli (RH), słowa po prawej trafiają do lewej (LH), np.:

- dzwon -- muzyka; pacjent (LH) komentuje: muzyka; proszony by wskazał obrazek wybiera dzwon - czemu? "Ostatnia muzyka, jaką słyszałem to były dzwony".
- banan -- czerwony; rysując lewą ręką pacjent wybiera czerwony pisak i rysuje banana. Czemu? "Bo to najłatwiej dla lewej ręki".
- Lewa półkula tworzy narrację, wybiera np. obrazki, które pasują do wcześniej opowiedzianej historii, chociaż nie były wcześniej pokazywane, prawa trzyma się tego, co widziała i niczego nie dodaje.
- Chłopak zapytany głośno "Kim jest twoja ulubiona" (obydwie półkule to słyszą) po czym do prawej półkuli (lewego ucha) dochodzi "dziewczyna", nie wie o co jest pytany ale rumieni się, jest zakłopotany, pisze lewą ręką imię dziewczyny, ale nie wie co zrobić.
- Polecenie "podnieś banan" trafiające do prawej półkuli powoduje podniesienie lewą ręką leżącego na stole banana, jednakże pacjenci wymyślają różne interpretacje, np. "lubię

banany" czy "byłem głodny".

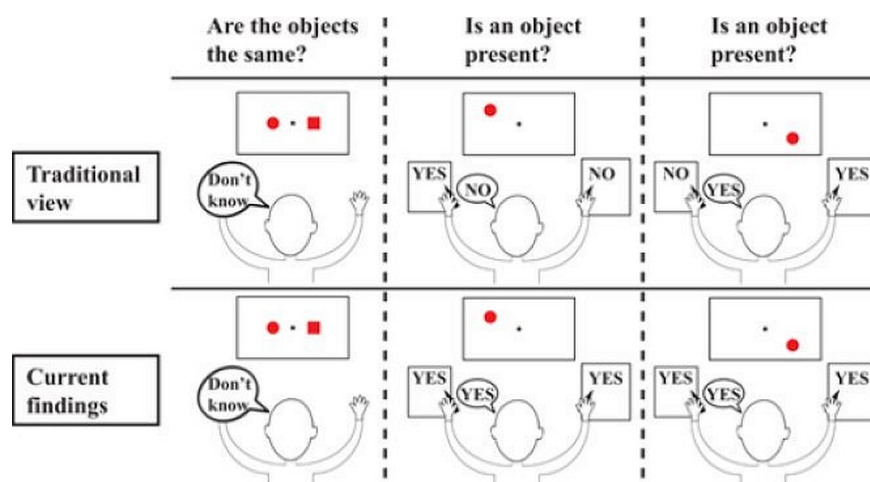
Ocena, która lampka przypadkowo mignie, przy prawdopodobieństwie migania czerwonej na poziomie 80% a zielonej 20%, jest prawidłowo wykonywana przez szczury i gołębie ... Zwierzęta wybierają opcję najczęstszą. Podobnie racjonalnie zachowują się dzieci do 4 roku życia. Ludzie dorośli bez zaburzeń neurologicznych próbują różnych reguł i osiągają tylko 67% poprawnych odpowiedzi, nawet gdy się im powie, że jest to przypadkowe zdarzenie (Gazzaniga 2011). W przypadku pacjentów z przeciętym spoidłem jeśli informacja trafiała do prawej półkuli wybierana była zawsze lampka czerwona, lewa półkula zmieniała swoje decyzje.

Prawa półkula jest bardzo "dostowna", lewa konfabuluje tworząc narrację. Przekonania mają decydujący wpływ na interpretację tego co obserwujemy.

Badania opublikowane w 2017 roku na dwóch osobach z przeciętym spoidłem wielkim (Pinto i inn. 2017) niespodziewanie pokazały, że potrafiły one powiedzieć i wskazać jedną i drugą ręką, że widzą obiekt w określonym miejscu, zarówno w prawym jak i w lewym polu widzenia. Nie potrafią jednak powiedzieć, czy dwa obiekty, w lewym i prawym polu widzenia, są takie same czy różne.

Wyniki wydają się zaskakujące, gdyż informacja z przeciwległego pola widzenia (np. lewego) trafia głównie do prawej półkuli, w poprzednich doświadczeniach tego typu nie obserwowano reakcji werbalnych ani reakcji ręką po przeciwległej stronie (np. prawej). Interpretacja tych obserwacji nie jest jasna, nie mamy wyników funkcjonalnego rezonansu pokazującego co się dzieje w mózгах tych osób. Może być kilka przyczyn, które umożliwiają obserwowane reakcje. Operacje prowadzone były ponad pół wieku temu, więc badani to osoby w zaawansowanym wieku. Informacja wzrokowa nie jest całkowicie rozdzielona, część informacji i z lewego pola widzenia może docierać też do lewej półkuli. Integracja obu półkul przez spoidło przednie, spoidło hipokampa i mózdzek może mieć swój wkład i przez pół wieku mogła u tych osób ulec wzmocnieniu.

Osoby już przed operacją nie miały całkiem normalnych mózgow ...



Przypisywanie komuś przekonań to funkcja, w której specjalizuje się skrzyżowanie skroniowo-potyliczne (TPJ) w prawej półkuli, słabiej TPJ po lewej stronie oraz [przedklinek](#) i obszary przyśrodkowe [kory przedczołowej \(MPFC\)](#).

Zwykle oceniamy jako moralnie naganne sytuacje, w których intencje były złe, np. nawet jeśli przypadkowo nie udało się kogoś zabić to sama próba zabójstwa jest karana, podczas gdy nieintencjonalne morderstwo traktowane jest znacznie łagodniej.

U osób z przeciętymi spoidłami brak komunikacji pomiędzy półkulami powoduje przypisywanie przez lewą półkulę ocen moralnych tylko na podstawie końcowego wyniku: skoro nie udało się zabić to nic się nie stało, skoro ktoś przypadkowo doprowadził do czyjejś śmierci to jest winien (Gazzaniga 2011).

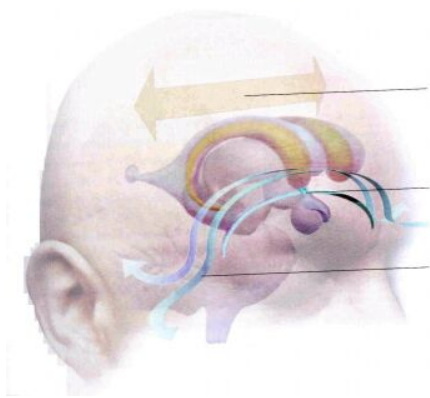
[Ilustracja badań nad rozszczepionym mózgiem](#), niestety część w technologii Flash od 2021 roku nie działa.

Czy można więc powiedzieć, że świadomość jest tylko w lewej półkuli (zakładając dominację tej półkuli w funkcjach językowych)?

Jeśli chodzi o werbalną narrację, pozwalającą na opisanie treści świadomości, można tak powiedzieć, chociaż proste komentarze słowne mogą robić obydwie półkule. Prawa półkula zdolna jest do tworzenia takich komentarzy, mogą one też być wyrażane niewerbalnie.

Pacjenci nie zauważają jednak niczego niezwykłego, nie czują się "podzieleni". Nauczyli się patrzeć w taki sposób, że informacja dociera do obu półkul, dzięki głośnemu mówieniu informacja z lewej półkuli dociera też do prawej półkuli, częściowo kompensując braki przepływu informacji wewnątrz.

Znaczną część tego, co wiemy o sobie to wynik nie tylko informacji przepływającej wewnątrz w naszych mózgach, ale też przez pętlę zewnętrzną, obserwacje wyników swojego działania.



Wstępny wniosek: świadomość to proces obejmujący skupianie uwagi na stanach pamięci roboczej, aktywnych podsieciach obejmujących zarówno przetworzone informacje zmysłowe jak i ślady pamięci długotrwałej. Elementy pamięci roboczej reprezentują porcje informacji lub aktywację wyróżnionych obszarów kory, w tym wzorców fonologicznych pojęć skorelowanych z rozległymi aktywacjami mózgu (odczuwanych jako myśli, a po aktywacji kory ruchowej jako wypowiedane słowa).

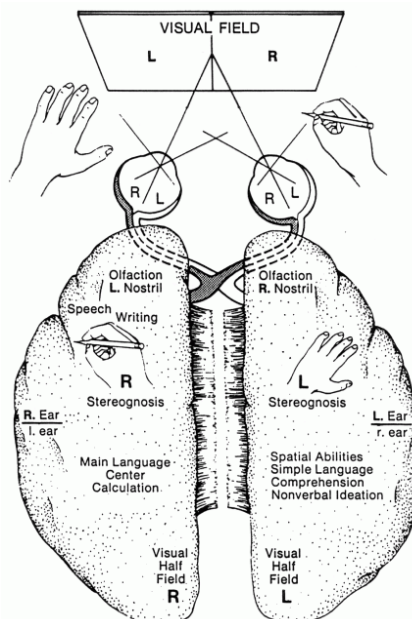
Prawidłowe odpowiedzi w eksperymentach wymagających integracji informacji zakodowanych w globalnej neuronalnej przestrzeni. Obszary przedczołowe przełączają globalny dostęp i wzmacniają aktywację wybranych neuronalnych podsieci. Rozczepienie mózgu nie jest jednak całkowite, pewna integracja jest nadal możliwa.

Przewaga lewej półkuli widoczna jest w zadaniach werbalnych a prawej w analizie wzrokowo-przestrzennej, która dominuje w testach geometrycznych, ocenach położenia czy głębi, zniekształconych kształtów lub dźwięków mowy.

Uszkodzenia lewej półkuli wywołują **afazje**, a prawej - aprozodie.

Aprozodia to zanik zdolności do rozumienia i generacji treści emocjonalnych wypowiedzi słownych, np. złości czy gniewu, monotonna mowa.

Prawa półkula rozpoznaje sens prostych słów, zwłaszcza emocjonalnych, szczególnie przekleństw, słów obscenicznych. Kojarzy też przedmioty związane z oglądanym w danej chwili. Specjalizuje się nie tylko w analizie treści emocjonalnych, ale też subtelnych znaczeń metafor, humoru, antycypacji, morału



Złożone czynności wymagają kooperacji obu półkul, całego mózgu. To powoduje nacisk ewolucyjny na lokalne przetwarzanie informacji, gdyż przesyłanie jej między półkulami spowalnia proces analizy. Im większy mózg tym większa powinna więc być specjalizacja jego półkul. Jeśli jednak nie ma potrzeby szybkiej reakcji to współpraca będzie prowadzić do zwiększenia liczby połączeń pomiędzy półkulami. W przypadku ludzkiego mózgu oba te efekty powodują stosunkowo wyraźną lateralizację funkcji jak i duże spoidło wielkie.

Uszkodzenia lewej półkuli związane są z depresją, poczuciem winy, zamartwianiem się przyszłością. Uszkodzenia prawej półkuli powodują nadmierny optymizm, bagatelizowanie choroby, zadowolenie z siebie. Prawa analizuje stany emocjonalne, słowo "uśmiechnij się" pokazane lewej półkuli wywołuje uśmiech, ale prawej nigdy.

Prawa półkula jest lepiej zintegrowana z układem emocji.

Filmy czy obrazy widziane lewym okiem wydają się mniej przyjemne, wrogie, niesmaczne. Lewa półkula tłumi stany lekowe wywołane przez aktywność półkuli prawej. W snach prawa półkula dochodzi do głosu, ale trudno to zwerbalizować.

Odkrycia dokonywane we śnie, np. pierścieniowej struktury benzenu przez Kekulego (prawdopodobnie anegdotycznej), być może wynikają z większej aktywności prawej półkuli i żywej wyobraźni, pozwalającej na rozpoznawanie struktur we śnie. Czasami niektórzy ludzie mają wrażenie, że istnieje tam obserwator - czy jest to część lewej półkuli, "komentator" Gazzanigi? Niestety trudno zweryfikować takie twierdzenia.



Środkowy obraz to autoportret Dürera, lewy to symetryczny portret lewej połowy a prawy prawej. [Asymetria budowy twarzy](#) jest tu wyraźna; może tu częściowo wynikać z oświetlenia. Warto zrobić sobie zdjęcie i podzielić je na dwie połówki ... wyniki mogą być zaskakujące.

Z czym kojarzy się nam lewy-prawy?

We wszystkich językach prawe kojarzy się z prawidłowym, słusznym. Stąd prawo, prawda, prawidłowo, po prawicy.

Lewe kojarzy się z tym co oszukańcze. Stąd lewizna, lewus, leworęczny, lewy interes, lewak, skrajna lewica. Podobnie jest w wielu językach, np.: ang. "left" to "porzucony", niem. linkisch, franc. gauche = lewy lub niezdarny, łac. sinistralis = leworęczny, diabeł, ang. sinister = złowrogi.

Nie podajemy lewej ręki. W Indiach je się prawą ręką, lewa jest nieczysta. Skąd to tabu leworęczności? Leworęczni byli pewnie niebezpiecznymi wojownikami. Ang. "left-handed" = podstępny.

Niepokój emocjonalny to ignorowanie pobudzeń prawej półkuli, która postrzega, że "coś jest nie tak", ale nie potrafi dokładnie przekazać co. Zwykle chodzi o skupienie na czymś uwagi, uświadomienie sobie i zwerbalizowanie problemu. Jeśli niepokój nie znika może dojść do [nerwicy](#). Aktywność intelektualna tymczasowo może odwrócić uwagę i obniżyć poziom depresji.

Czasami mówimy: "To jeszcze do mnie nie dotarło". Czy zrozumiałem to tylko lewostronnie, rozumienie nie zostało w pełni zintegrowane? Prawa półkula dokonuje ogólnej analizy w emocjonalnym kontekście, a lewa próbuje dociec o co chodzi prawej półkuli i dopasować do tego sensowną narrację.

Teoretyzowanie prowadzi do [konfabulacji](#) i [racjonalizacji](#), a nie odkrywania prawdy, dlatego psychoanaliza nie odkrywa żadnej głębokiej prawdy (ściślej, jest równie efektywna co każde magiczne działanie, które może doprowadzić do silnego pobudzenia emocji, zwiększając neuroplastyczność mózgu).

Czemu tak postąpiłeś? Sam się siebie pytam. Nie wiem, podkusiło mnie jakieś lichy, to było silniejsze ode mnie. Jak to należy rozumieć? Mój mózg "mnie" do tego zmusił, "ja" taki nie jestem. "Ja" jest tu modelem, wyobrażeniem o sobie, które nie do końca zgadza się z działaniami mózgu. Dopóki myślimy, że to "ja" mam mózg, a nie mózg ma mnie, takie paradoksy pozostaną. "Interpretator" usiłuje stworzyć racjonalny model zachowania, ale taki model w mózgu

podzielonym na dwie półkule nie istnieje! W mózgach, które dobrze integrują aktywność obu półkul ten model odpowiada nieco lepiej rzeczywistości, ale chyba nigdy nie jest doskonały. Usiłujemy tworzyć racjonalizacje wszystkiego, czego doświadczamy, co wykorzystują specjaliści od reklamy.

Szybka, całościowa analiza wstępna, możliwa jest dzięki intuicyjnej aktywności prawej półkuli. Żałowanie po fakcie to prawdopodobnie wynik ignorowania aktywności lewej półkuli. "Tak mi się wydawało".

"Podoba mi się, choć nie wiem dlaczego", to obserwacja zbyt złożona do analizy logicznej. Dialog wewnętrzny umożliwia analizę i ocenę spontanicznego działania. "Głęboko w sobie" (popularne w piosenkach "deep within you"), to zapewne odwołanie do prawej półkuli, w którą trzeba się "wsłuchać", bo matrudności w werbalnej komunikacji.

Drobne pomyłki, głupie uwagi, irytujące odczucia ... mogą być wynikiem powolnej współpracy między półkulami.

Czy można w pełni zintegrować swój model "ja", poznając "siebie"?

Co by to oznaczało? Trening umysłu (mózgu), by reagował on tak, jak chcemy, np. zbliżał się do ideału.

Integracja osobowości wokół jakiegoś ideału czy symbolu jest celem wielu tradycji duchowych, chociaż zwykle wyrażanym w bardzo zawoalowany sposób. Psychoterapia może dążyć do takiej integracji, np. [proces indywiduacji](#), scalania jaźni, opisany przez Junga, który sądził, że alchemia zajmowała się takim symbolicznym procesem przemiany osobowości. Umysł stawiający sobie cele duchowe pokazuje swoją autonomię, porównując się do jakiegoś ideału stara się zmienić przez trening mentalny powstające w mózgu odczucia, w pełni je zintegrować ze swoimi wyobrażeniami i celami.

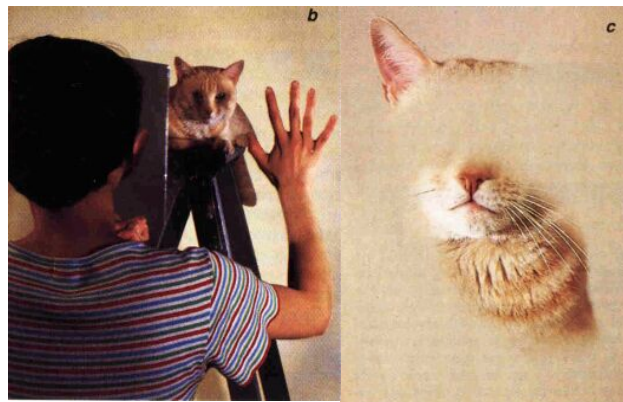
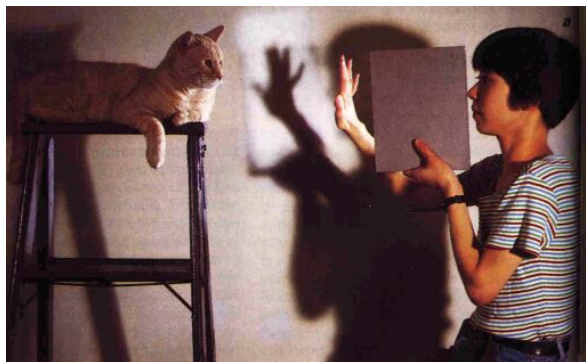
Metody oparte na trenowaniu wglądu w swoje procesy umysłowe, utrzymywaniu przytomności ([medytacja mindfulness](#), czyli trening uważności), znajdują szerokie zastosowanie i zostały obecnie przetestowane w bardzo wielu badaniach naukowych. Terapia [Big Mind](#) jest chyba najbliższa jawnego zrozumienia procesu integracji, ale nie ma badań naukowych oceniających jej skuteczność.

Mózg ma ograniczone zasoby energii, procesy analityczne konkurują ze sobą wewnątrz mózgu.

Przykład: **eksperyment ze znikającym kotem**.

Jednym okiem obserwujemy kota, drugie widzi jednolicie oświetloną powierzchnię ściany w lustrze. Poruszamy ręką tak, by ją zobaczyć na jednolitym tle.

Kot na chwilę częściowo znika: spontaniczna uwaga kontroluje aktywność układu wzrokowego poświęconą przetwarzaniu nowych bodźców, powodując skupienie nad sygnałami dochodzącymi z oka, w którym coś się szybko zmienia.



Eksperyment pokazujący interferencję procesów zachodzących w obu półkulach mózgu można zrobić balansując kijem na wskazującym palcu (Kinsbourne and Cook, 1971). Praworęczni milcząc dłużej balansują prawą niż lewą ręką. Jeśli jednak w czasie balansowania jednocześnie mówimy jest odwrotnie, mówienie wpływa na balansowanie prawą ręką silniej niż na lewą. Zachodzi interferencja pomiędzy obszarami związanymi z językiem (ośrodkiem Brocka) w płacie czołowym i korą ruchową. Lewa ręka kontrolowana przez prawą półkulę nie doznaje tak silnej interferencji, ma więc przewagę.

Korzyści ewolucyjne to oddzielenie mowy i obserwacji, minimalizacja interferencji. Ponad 20% ludzi [często myli lewą i prawą stronę](#), znacznie rzadziej górę i dół.

Inne testy stronności mózgu [można znaleźć tutaj](#): dotyczą oczu, nóg, rąk.

Specjalizacja półkul - obserwacje:

Nie ma transferu umiejętności jednej ręki do drugiej, wysiłek by nauczyć się pisać lewą ręką jest wyższy niż prawą u praworęcznych.

Myślenie werbalne, mówienie, przeszkadza w działaniach motorycznych, gimnastyce i muzyce, zwłaszcza jeśli jednocześnie czyta się nuty. Dotyczy to czynności, które wymagają planowania, a nie takich, które są automatyczne, grając setny raz utwór z pamięci może być trudno odgonić myśli pojawiające się w tle.

Plastyczność mózgu pozwala prawej półkuli przejąć część funkcji mowy, zwłaszcza jeśli uszkodzenie nastąpiło we wczesnym dzieciństwie.

Istnieje wyraźna specjalizacja lewej półkuli w postrzegania obiektów i ich własności, kontroli uwagi związanej z obiektami.

Prawa półkula specjalizuje się w egocentrycznym postrzeganiu relacji ze światem, ocenie możliwości działania; w rezultacie tylko uszkodzenia tylnej części obszarów ciemieniowo-skroniowych prawej półkuli prowadzą do [zespołu nieuwagi stronnej](#), zwanego też **jednostronnym pomijaniem**: zanika możliwość postrzegania lewej części przestrzeni. Pacjent nie można jej sobie wyobrazić!

Uszkodzenia płata skroniowego blisko potylicznego powodują **prozopagnozę**, niezdolność do rozpoznawania twarzy. Cierpi na nią wiele starszych osób.

Może masz skłonności dyslektyczne? Mylisz lewo-prawo? Robisz błędy ortograficzne? **Sprawdź sobie spoidło!** Prosta metoda: zgadnij, który palec dotykany jest za plecami. Lub nieco dokładniej,

zgadnij który palec i która z trzech jego części jest dotykana.



Przy okazji warto poczytać o [iluzjach dotykowych](#), np. [iluzji Arystotelesa](#).

Czy mamy dwa mózgi i dwie jaźnie? Sperry tak sądził w odniesieniu do pacjentów z przeciętym spoidłem.

Czy mamy do czynienia z rozczepieniem jaźni po komisurotomii, [osobowością wieloraką](#)? Raczej nie. Nadal jest wspólne ciało, doznania czuciowe, synchronizacja ruchów oczu, normalna relacja ja-reszta świata, ocena zdarzeń, położenia ciała w przestrzeni. Nadal pacjenci mają zintegrowane są emocje. Rozdzielenie wyższych czynności psychicznych nie powoduje rozczepienia jaźni.

W normalnym mózgu nie ma prostego podziału na specjalizację w zakresie mowy i niewerbalnych analiz wzrokowo-przestrzennych. Jak więc interpretować wyniki doświadczeń?

Jest widoczna **asymetria z punktu widzenia działania**: lewa półkula - analityczna, prawa holistyczna? Ale jak to precyzyjnie określić?

Analiza częstości przestrzennych sygnału: prawa półkula reaguje lepiej na rozmyte, wolniejsze zmienny (niskie częstotliwości) przestrzenne/czasowe, lewa analizuje sygnały z większą precyzją przy drobnych i szybkich zmianach. Jest to konieczne przy analizie mowy.

Prawa półkula ma więc niewyraźne wyobrażenie całości, a lewa skupiania się na ważnych (emocjonalnie) szczegółach. Optymalne wykonanie złożonej funkcji wymaga współdziałania obu półkul - dwa sprzężone układy stanowią całość.

Dlaczego dochodzi do specjalizacji? Na poziomie neuronalnym naturalne rytmy w prawej i lewej półkuli są odmienne, co zaobserwowano analizując sygnały EEG i fMRI. Lewa półkula wykazuje spontaniczne oscylacje w paśmie gamma, dopasowana jest do analizy fonemów. W prawej półkuli analizującej informacje związane z prozodią mowy dominują wolniejsze oscylacje, w paśmie teta. Lewa półkula przechowując reprezentacje fonologiczne, może bardziej precyzyjnie kojarzyć symbole, prawa może za to znaleźć "intuicyjnie" bardziej odległe skojarzenia (Giraud 2007).

Czy można żyć z jedną półkulą?

[Hemisferektomia](#), czyli usunięcie jednej półkuli z powodów ciężkich problemów medycznych, stosowana jest prawie wyłącznie w przypadku dzieci, ponieważ mają one szanse odzyskać większość funkcji.

W wyjątkowych przypadkach usunięcie połowy mózgu nie powoduje upośledzenia, ale ogólnie im większe były intelektualne możliwości przed operacją tym większe upośledzenie, większość pacjentów wykazuje łagodne lub silne opóźnienia rozwoju.

Usunięcie lewej półkuli zaburza zwykle sprawność posługiwania się językiem, zwłaszcza w zakresie

złożonych struktur wymagających głębszej analizy gramatycznej.

Media pokazują rzadkie osób, które prawie całkowicie odzyskały sprawność, ignorując ich upośledzenia; oczywiście są to ważne przykłady wskazujące na możliwości regeneracji mózgu i przejścia funkcji jednej półkuli przez drugą.

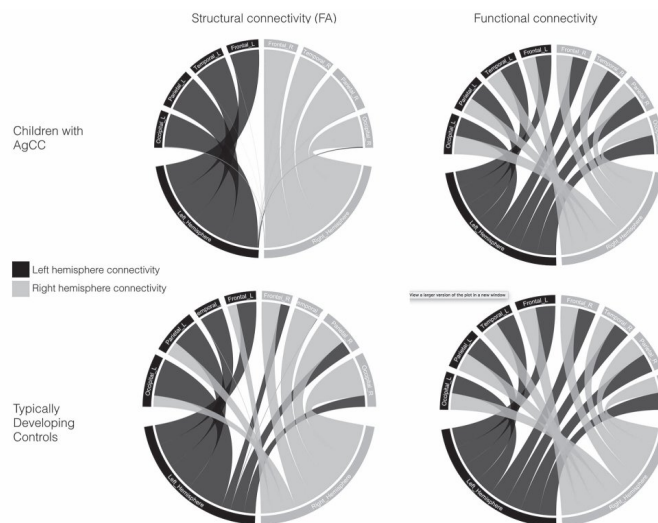
Wiele osób (w tym niektórzy psychologowie) próbuje interpretować zachowanie ludzi odwołując się do podziału na dwie półkule. **Dychotomania daje pozory zrozumienia**, ale i tak lepsze to niż tłumaczenia psychoanalitików ...

Coś mnie podkuśiło i zrobiłem głupio? To tylko Twoja prawa półkula ze swoimi własnymi celami, których nasze "ja", wewnętrzna teoria "siebie", nie akceptuje. Narracyjna, logiczna historia naszego życia po prostu nie istnieje, bo nie wszystko da się zwerbalizować.



Okazuje się, że jedna na 4000 osób [rodzi się bez spoidła](#) wielkiego! Nazywa się to **agenezą spoidła wielkiego** (AgCC). Tworzenie się spoidła zachodzi pomiędzy 10-12 tygodniem od poczęcia. Około 1/4 z tych ludzi nie wykazuje żadnych zaburzeń, ale pozostałe 3/4 ma niską inteligencję i różne zaburzenia poznawcze. Ponieważ ich mózgi są od początku pozbawione połączenia pomiędzy półkulami jest dużo czasu by doszło do reorganizacji funkcji, co widać w zwiększonej gęstości połączeń wewnątrz półkul. Chociaż brak jest połączeń strukturalnych to połączenia funkcjonalne wyglądają podobnie jak w przypadku zdrowych dzieci!

Badania przeprowadzono na grupie 20 dzieci z AgCC, porównując wyniki z dziećmi zdrowymi (TDC). Mediana IQ dla dzieci bez spoidła wielkiego to 76, a dzieci typowych 113, jest więc duża różnica, ale też duża wariancja, bo dzieci z AgCC miały IQ pomiędzy 66 a 126, a zdrowe 88-136. Nie znaleziono jednak korelacji pomiędzy IQ a konektomem strukturalnym, co wymaga dokładniejszego zbadania innych anomalii ich mózgow. Jak widać na rysunku poniżej u dzieci z AgCC nie ma połączeń pomiędzy półkulami jednakże połączenia funkcjonalne (czyli synchronizacja sygnałów świadcząca o współpracy) są wyraźnie widoczne. Te rysunki w dość nietypowy sposób pokazują jaką część połączeń z poszczególnych płatów trafia do lewej lub prawej półkuli.



Rys. z Siffredi i inn. (2020). Structural Neuroplastic Responses Preserve Functional Connectivity and Neurobehavioural Outcomes in Children Born Without Corpus Callosum. *Cerebral Cortex*.
<https://doi.org/10.1093/cercor/bhaa289>

Nie jest to telepatia między półkulami, tylko wynik neuroplastyczności, dzięki której powiększają się spoidła wielkie przednie i tylne. Już wcześniej zauważono wpływ własności tych spoidła na funkcje uwagowe. Zróżnicowanie ludzkich mózgow widoczne w strukturze konektomów i funkcjonalnych konektomach jest większe niż się początkowo wydawało. Na razie (11/2020) nie ma jeszcze badań pokazujących jak to wpływa na procesy świadome, ale jeśli połączenia funkcjonalne są w miarę normalne to jest to całkiem inna sytuacja niż w przypadku osób po komisurotomii.



B2.3. Trzy mózgi w jednym



[Ludwig Edinger](#), niemiecki anatom i neurolog, na początku XX wieku dokonał syntezy wiedzy na temat anatomii mózgow. Zauważył, że tyło- i śródmózgowie są u różnych kręgowców dość podobne, ale w przodomózgowiu zachodzą duże zmiany, od ryb, płazów, gadów do ssaków i mózgow ludzi. U ssaków stopniowo pojawia się 6-warstwowa kora nowa, neocortex. U wczesnych ssaków i starszych gromad zwierząt kora ma prostszą strukturę, nazwana paleocortex, w jądrach podstawy mózgu i innych strukturach podkorowych.

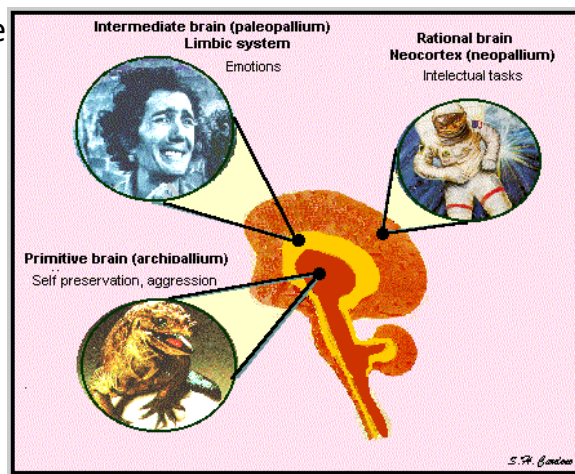
Stało się to podstawą omówionej poniżej teorii trzech głównych struktur mózgu. Inspiracją do takiego rozumienia była idea ewolucyjnego postępu, drabiny ewolucyjnej od prymitywnych organizmów do człowieka. To oczywiście jest błędny punkt widzenia, ewolucja powoduje dywersyfikację, a nie akumulację dodatkowych funkcji, nie można więc uporządkować organizmów w uporządkowany, liniowy sposób. Dopiero pod koniec XX wieku okazało się, że zarówno u ptaków jak i gadów można się doszukać kory nowej, a struktura mózgu wszystkich kręgowców jest z grubsza podobna, chociaż wielkość różnych struktur jest różna.

[Teoria Paula MacLeana](#) opierała się na podziale Edingera anatomii mózgu na trzy główne struktury.

- [Zespół R \(reptilian\)](#), obejmuje pień i śródmózgowie; to świat gadów.
- [System limbiczny](#), odpowiedzialny za emocje, zachowania społeczne; to świat ssaków.
- [Kora nowa](#) odpowiedzialna za język, abstrakcyjne myślenie; to świat małych naczelnych i ludzi.

Neuroanatomia i neurofizjologia porównawcza pokazują, że stare gatunki mają niewiele wyższych pięter mózgu. Ryby mają głównie pień i śródmózgowie, gady słabo rozwinięty układ limbiczny, ssaki (ptaki nieco mniej i w inny sposób) mają rozwiniętą korę nową.

[Paul MacLean](#), pracując w Laboratorium Ewolucji i Zachowania się Mózgu, NIMH, USA, wprowadził w 1952 roku pojęcie układu limbicznego. Prowadził systematyczne badania wpływu uszkodzeń struktur mózgu na zachowania się zwierząt, od jaszczurek do małych ssaków. Dodatkowo informacje zdobyto tworząc [chimery](#) - fragmenty mózgu jednego zwierzęcia wszczepiano innemu i obserwowano jego zachowanie.



W ten sposób stwierdzono, że te trzy obszary mózgu mają różne funkcje, poczucie czasu i przestrzeni, inny rodzaj inteligencji. Ewolucyjnie najstarszy jest rdzeń kręgowy, pień mózgu oraz śródmózgowie. Dokładniej mamy:

[Pień](#), jądra podstawy mózgu i śródmózgowie, zawierające wszystkie układy regulacyjne i reprodukcyjne organizmu tworzy "[zespół R](#)" (Reptilians, gady).

- [Twór siatkowaty](#) (Reticular formation) - kontroluje stan pobudzenia umysłu, czuwania i przytomności, snu, motywacji do działania.
- [Podwzgórze](#) - reguluje homeostazę: termoregulację, rytmy biologiczne, współpracę z autonomicznym układem nerwowym, uczucie głodu i pragnienia.

Zespół R jest bardziej pierwotny niż emocje. Realizuje instynkty terytorialne, zachowania agresywne, rytualne (np. godowe), walkę o dominację, hierarchie społeczne.

Mordowanie "z zimną krwią", czyli tak jak gady! Wojny zaborcze u ludzi, szympanсів, delfinów są przejawem tych instynktów.

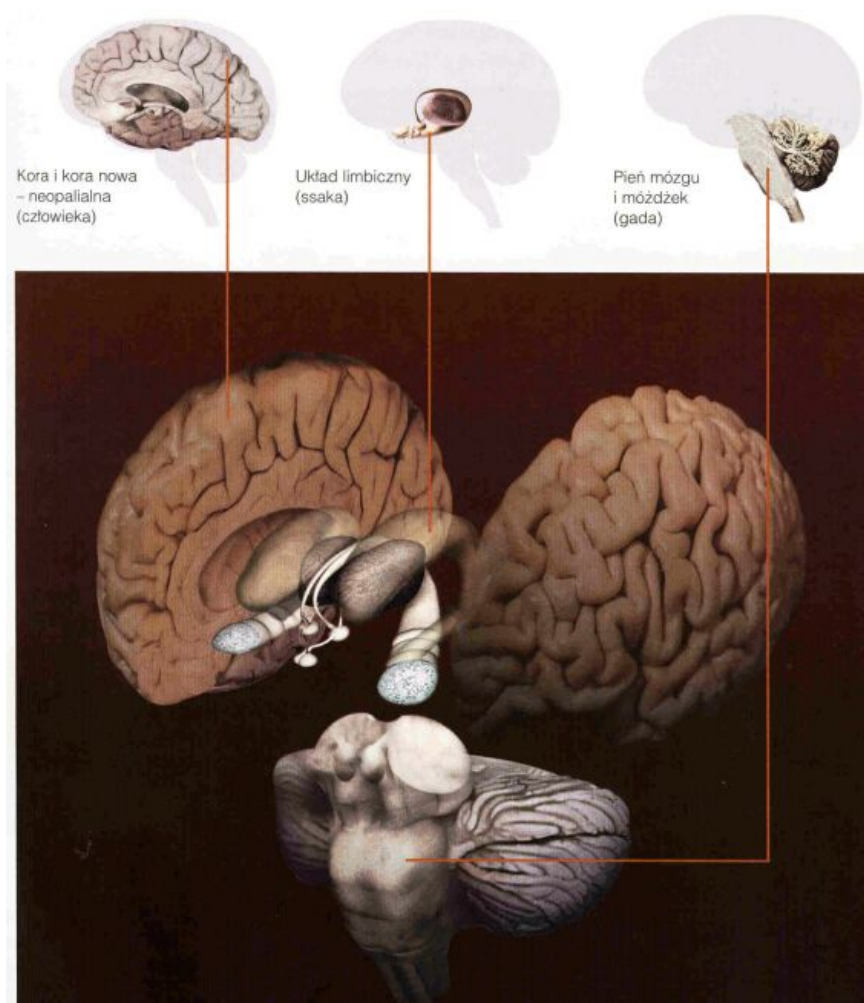
[Układ limbiczny](#) jest słabo rozwinięty u gadów, dobrze u ssaków, liczy ≤ 150 mln lat. Ssaki przeżywają silne emocje, również w snach. McLean przypisał do tego obszaru takie funkcje jak regulacja emocji, obrona, szukanie pożywienia, partnera do spółkowania, zachowania opiekuńcze, typowe zachowania instynktowne dla danego gatunku.

W skład układu limbicznego zaliczono:

- [Kora stara](#), w tym [kora zakrętu obręczy](#), [węchomózgowie](#) (kora węchowa), reaguje na niespecyficzne pobudzenia zapachowe (dokładniejsza analiza dokonuje się w haku

hipokampa); obejmuje [korę gruszkowatą](#) (piriform cortex), [korę śródwęchową](#) i przyległe obszary.

- [Hipokamp](#), tworzący z przyległościami "[formację hipokampa](#)", jest kluczową strukturą dla pamięci epizodycznej i dla orientacji przestrzennej, sądzono też, że jest odpowiedzialny za mechanizm walki-ucieczki (choć pień mózgu pełni tu ważniejszą rolę).
- [Podpora](#) (część hipokampa), związana jest prawdopodobnie z mechanizmem oczekiwania i odkrywania nowości.
- [Jądra migdałowe](#) (amygdala) są najważniejszą strukturą dla ekspresji i kontroli strachu, agresji, zachowań seksualnych (u kastratów jądra migdałowe zmniejszają się o 30%), pamięci zdarzeń emocjonalnych. Drażnienie prądem tych obszarów wywołuje psychozy i halucynacje.
- [Podwzgórze](#) zawierające [przysadkę mózgową](#) odpowiedzialne jest za sprzężenie z [układem hormonalnym](#), wpływa też wzbudzenie i ekspresję sygnałów stresu i przyjemnych emocji ([oksytocyna](#), [endorfiny](#)).



[Kora nowa](#), której szybki rozwój nastąpił dopiero kilkadziesiąt mln lat temu jest najlepiej rozwinięta u naczelnych. W jej skład wchodzi wiele obszarów, odpowiedzialnych za szczegółową analizę informacji zmysłowych, liczne procesy poznawcze, rozwiązywanie problemów, zachowania społeczne, język, kulturę. Uszkodzenia kory nie zmieniają zachowań typowych dla danego gatunku, za to uszkodzenia układu limbicznego tak.

Czy człowiek jest już zwierzęciem racjonalno-kortykalnym? Nie bardzo i chyba nigdy do końca nie będzie, bo emocje nie da się oddzielić od racjonalnego działania.

[Psycho-neuro-immunologia](#) bada zachodzące przede wszystkim w układzie limbicznym sprzężenia pomiędzy stanami psychicznymi, pobudzeniami grup neuronów, poziomem neurotransmiterów i hormonów ([endokrynologia](#)), oraz aktywnością [układu odpornościowego \(immunologicznego\)](#).

[Rytualistyczno-hierarchiczne](#) aspekty zachowania realizowane są przez zespół R, który mają gady. Emocjonalne, [altruistyczne aspekty](#) zachowania realizuje układ limbiczny, rozwinięty u ssaków i ptaków. Racjonalne aspekty, związane z myśleniem, planowaniem, realizuje kora nowa, najlepiej rozwinięta u naczelnych, ale i u delfinów.

Zachowanie ludzi i zwierząt jest wynikiem zintegrowanego współdziałania tych trzech struktur mózgu, jednakże struktury te oddziałują na siebie w różnym stopniu u różnych ludzi.

Zmiany w obszarze pnia mózgu prowadzą zwykle do śmierci, zaburzając homeostazę organizmu. Poważne [upośledzenia umysłowe](#) u ludzi są wynikiem niedorozwoju mózgu związanego ze zmianami korowymi i limbicznymi.

Uszkodzenia kory (udary, guzy mózgu, uszkodzenia mechaniczne) powodują zaburzenia specyficznych funkcji poznawczych, przetwarzania informacji zmysłowych, zdolności językowych, pamięci semantycznej, wyobraźni, interakcji społecznych, mogą prowadzić do obniżonej inteligencji, ale zachowania pozostają typowe ludzkie.

Uszkodzenia w obrębie układu limbicznego mogą spowodować zmiany instynktownych zachowań typowych dla ssaków, takich jak komunikacja niewerbalna, obrona terytorium, poszukiwanie kontaktu, reakcje emocjonalnych, ale też pamięci epizodycznej i proceduralnej.

Uszkodzenia w obrębie pnia mózgu są bardzo niebezpieczne bo zaburzenia mechanizmów homeostazy często prowadzi do śmierci.

[Rozwój mowy](#) poprzedził język gestów i dźwięków, które wydają zwierzęta. Stymulacja prądem struktur układu limbicznego jak i jąder w pniu mózgu (np. oliwek dolnych) u małp prowadzi do wydawania specyficznych wokalizacji (pisków, pomruków, świergotów, jęków) dla danego gatunku (Jurgens, 1979; 1982). Antropolodzy zauważyli korelację rozwoju krtani i praworęczności, więc rozwój mowy i praworęczności był prawdopodobnie skorelowany.

Spełnienie potrzeb podstawowych jest zwykle warunkiem koniecznym do aktywacji potrzeb wyższego rzędu.

[Hierarchia potrzeb człowieka](#) opracowana została w ramach psychologii humanistycznej przez [Abraham Maslowa](#) i innych psychologów. Zwykle wyróżniano 5 lub więcej poziomów.

- Potrzeby fizjologiczne (jedzenie, picie, sen, ruch),
- Potrzeby bezpieczeństwa (ochrona osobista, stabilność i porządek),
- Potrzeby społeczne (przynależność do grupy, akceptacja społeczna).
- Potrzeby uznania osobistego (szacunek, status, potrzeba bycia lubianym/kochanym).
- Potrzeba samorealizacji, poznania, potrzeby transpersonalne (duchowe).

Zespół R umożliwia przetrwanie, ochronę przestrzeni życiowej.

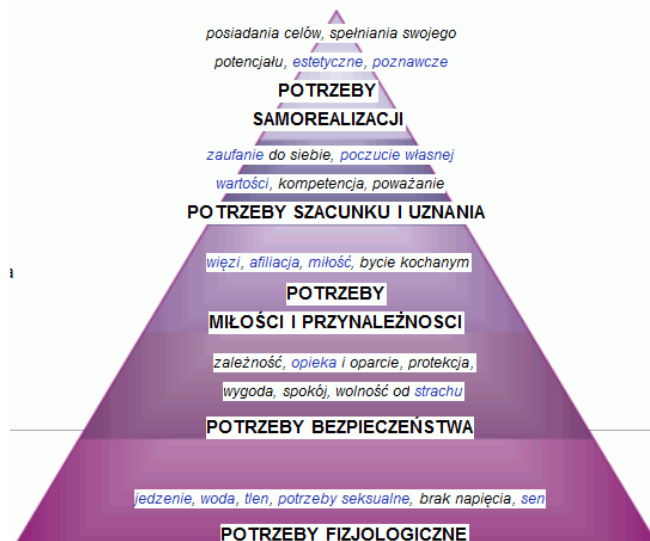
Układ limbiczny realizuje potrzeby społeczne i potrzeby uznania osobistego.

Kora nowa po spełnieniu potrzeb podstawowych pozwala na rozwój, samorealizację.

Wyższe potrzeby mogą dominować, ale w procesie rozwoju muszą najpierw być spełnione potrzeby podstawowe!

Taki podział pozwala na nową interpretację starych idei.

Platon pisał o ciemnej i jasnej stronie natury ludzkiej, używając metafory rydwanu ciągniętego przez czarnego konia, który może być identyfikowany z zespołem R, i białego konia, który można powiązać z funkcjami układu limbicznego. Jego woźnica to kora mózgu, próbująca opanować impulsy płynące ze starszych obszarów mózgu.



[Sigmund Freud](#) (1920) podzielił psychikę na [trzy warstwy](#):

- [Id](#) - ciemna, ukryta, niezorganizowana natura zwierzęca, pęd do przyjemności, zaspokojenia, agresji, popęd seksualny i terytorialny, realizowany przez zespół R i układ limbiczny.
- [Ego](#) - kontroluje emocje, jest podstawową strukturą osobowości, tylko w połowie uświadamianą, zorganizowaną, defensywną; realizowane jest przez układ limbiczny i korę.
- [Superego](#) - zorganizowana część osobowości, świadomość społeczna, odpowiedzialność, sumienie, poczucie winy, ideały, poznanie abstrakcyjne, realizowane przez korę nową.

Ten podział stał się bardzo popularny i przeniknął do kultury masowej. Przyczyniło to się w znacznej mierze do popularyzacji modelu MacLeana.

Odmiernym poglądem było przekonanie, że człowiek z natury rzeczy jest dobry, a cywilizacja jest źródłem zła. Mit "[szlachetnego dzikus](#)", gentlemana natury, pojawił się ok. 1580 r i rozwinął w czasach romantyzmu w 18 wieku, propagowany przez [J.J. Rousseau](#)) i później [sentymentalistów](#) w 19 wieku. Takie poglądy przetrwały do dzisiaj w literaturze (np. liczne opowiadania o Tarzanie czy historii Karola Maya o szlachetnych Indianach).

[Richard Leakey](#), słynny antropolog, twierdził, że wojny pojawiły się dopiero po powstaniu rolnictwa. Okazało się jednak, że to fałszywy obraz świata! Inteligencja zwierząt służy im do polowania i zabijania! Etolodzy byli całkowicie zaskoczeni wojnami wśród szympanów (np. [wojna szympanów z Gombe](#) 1974-77, obserwowana przez Jane Goodall).

Cywilizacja pozwala zaspokajać potrzeby i tłumi instynkt agresji, ale jednocześnie daje możliwości zniszczenia w skali globalnej.

Skąd się bierze zło w człowieku? Bardziej precyzyjnie, skąd się bierze agresja? Według Freuda agresja ma swoje źródło w id, zbyt słabym tłumieniu przez korę starą i nową pierwotnych popędów. Zło jest złamaniem norm społecznych, zwykle związanych z nakazami religijnymi (dobrze się wesprzeć najwyższym autorytetem). Superego potrzebne jest każdej społeczności by utrzymać normy społeczne, oparte na sumieniu, poczuciu i wyznawaniu win, ceremoniach skruchy. Impulsy łamiące akceptowalne reguły postępowania są tłumione przez superego, uznawane za podszepty

szatana, coś zewnętrznego, nie-ja. Takie idee można też rozpatrywać z punktu widzenia [wczesnej ewolucji naszego gatunku](#).

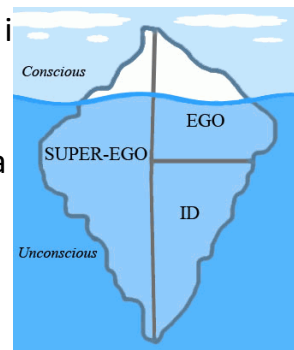
[Psychopatia](#) może wiązać się z brakiem zdolności do [empatii](#): słabe sprzężenie kory, układu limbicznego i kompleksu R, pomimo normalnej inteligencji, mogą powodować działanie zdominowane przez kompleks R.

Inny podział według Freuda to przeżycia i działania [świadome](#), [przedświadome](#) i [nieświadome](#), czyli skryte pragnienia, traumatyczne wspomnienia, nieakceptowalne społecznie idee, kontrolujące nasze zachowanie. Bardziej pasuje to do podziału na dwie półkule i odrębne pragnienia obu; prawa półkula wpływa na nasze zachowanie zwykle w trudny do uświadomienia sposób.

Niewłaściwe odwołania do nieświadomości (podświadomości) u Freuda

pokutują do dzisiaj: nieświadomość nie jest składnicą mrocznych pragnień, chociaż niektóre stany umysłu mogą być tłumione przez inne w wyniku

konkurencyjnych procesów. **Nieświadomy umysł jest zbiorem automatycznych procesów, do których nie mamy dostępu korzystając z introspekcji.** Częściowo można takie procesy wykryć za pomocą neuroobrazowania i je sobie uświadomić oraz próbować kontrolować za pomocą [neurofeedback](#).



Z grubsza jest to użyteczny podział funkcji i nadal często przywoływany, ale ... U ssaków układ limbiczny uległ znacznemu przekształceniu, ewolucji podlegał cały mózg, nie można się całkiem cofnąć ale pewne struktury mogą się mocno zmienić.

Kolejność rozwoju różnych struktur w procesach ewolucyjnych nie była taka prosta, gady i ptaki mają również instynkty i emocje, te zachowania nie pojawiły się wraz z pierwotnymi ssakami. Układ limbiczny nie jest zaangażowany tylko w emocje a kora tylko w funkcje poznawcze. **Kora nie jest tylko dodatkiem!** Tworzy z pozostałymi obszarami jedną, funkcjonalną i neuroanatomiczną całość, do pewnego stopnia kontrolując struktury podkorowe. Mechanizmy działania uwagi regulują jaka informacja do kory doptywa (LeDoux 2000, 2002).

Sens wyodrębnienia układu limbicznego od innych struktur podkorowych bywa kwestionowany, gdyż w normalnym mózgu nastąpiła integracja funkcji i nie można rozbić jego działania na niezależne elementy.

Uszkodzenie specyficznego obwodu scalonego prowadzi do specyficznych błędów w komputerze, ale to nie oznacza, że tylko ten element jest odpowiedzialny za daną funkcję. W doniesieniach o naukowych odkryciach często pojawiają się doniesienia o odkryciu kluczowych obszarów odpowiedzialnych za świadomość czy wolę. Uszkodzenia wielu elementów komputera czy telewizora powoduje zanik obrazu, ale to nie znaczy, że to właśnie te elementy są za obraz odpowiedzialne. Warunek konieczny, by coś prawidłowo działało, to jeszcze nie warunek wystarczający. Ścisła lokalizacja funkcji wydaje się mało prawdopodobna, nawet w przypadku tak ogólnego podziału funkcji jak u MacLeane'a.

Dlaczego po tylu latach ewolucji struktury gadów nie zostały całkiem wyeliminowane? Główne przyczyny są dwie:

- Do czasu rozwoju społeczeństw osiadłych (a więc nie dawniej niż kilkanaście tysięcy lat) agresja stanowiła szansę na przetrwanie i ochronę swojego terytorium, nie było więc nacisku na selekcję pozbawiającą człowieka niższych instynktów. Nowe struktury mózgu pozwalają na pewien kompromis pomiędzy koniecznością współpracy w grupie, a ochroną interesów osobistych. Natura eksperymentuje i widać duże zróżnicowanie, od altruistów poświęcających się całkowicie dla dobra innych, do egoistów, zajmujących się tylko sobą. Można to w pierwszym przybliżeniu interpretować jako dominację jednej z trzech struktur.
- Ewolucja nie jest wszechmocna i nie projektuje inteligentnie swoich produktów. Z punktu widzenia genetyki niemożliwe jest cofnięcie się do punktu zero i zaczęcie od nowa; rozwój kory nowej mózgu (neocortex) pokazuje jak obecna, 6-warstwowa kora powstaje z prostszej kory starej, cofając się krok do tyłu i budując dalej nowe warstwy. Nie ma możliwości zmiany całego planu życia i rozpoczęcia od nowa, poza oczywiście zniszczeniem całego życia i rozpoczęcia od bakterii, ale wtedy historia się powtórzy, chociaż pewnie w całkiem inny sposób ... a istoty inteligentne zdziwią się i zapytają: "dlaczego my"?

Chociaż model trójdzielnej struktury mózgu nie nadaje się do precyzyjnego opisu zachowań zwierząt czy ludzi to daje pozory zrozumienia: prymitywne zachowania terytorialne, reakcje emocjonalne i racjonalne decyzje. Dlatego łatwo było w oparciu o ten model stworzyć pseudonaukę odwołującą się do trzech struktur mózgu przypisując im 3 kolory i używając (bez zrozumienia) ogólnych pojęć wziętych z neuronauk by charakteryzować "genetyczny kod twojej osobowości".

Przykładem jest [System Treningowy Structogram](#), który obiecuje doskonałe poznanie samego siebie i sukcesy w biznesie. Trzy części mózgu ma być według tego ujęcia niezmienną genetycznie ustaloną biostrukturą. Skrajny przykład pseudonaukowego bełkotu to stwierdzenie "Przyczyna indywidualnego poziomu działania trzech części mózgu leży w neuroprzekaźniku - homeostazie". Organizacja działa z powodzeniem w wielu krajach świata i ma tyle wspólnego z nauką co [frenologia](#).

Zadania:

Wykonajcie ćwiczenia z balansowaniem i testy stronności, opiszcie swoje wrażenia.

Co wiem o sobie w wyniku obserwacji swoich mentalnych stanów, a co dzięki obserwacji skutków swojego działania? Czy mogę to powiązać z prostymi modelami mózgu omawianymi w tym wykładzie czy też są one niewystarczające?

Przykładowe pytania.

1. Co zwiększa szanse przeżycia organizmu? Jak to się wiąże z poglądami Arystotelesa?
2. Czemu karaluchy mają włoski na nogach?
3. Narysuj, gdzie mieści się 6 płatów kory mózgu.
4. Na czym polega wyjątkowość mózgu człowieka?
5. Czy szczur o masie mózgu takiej jak człowiek byłby równie inteligentny?

6. Mózg słonia jest większy niż człowieka; czemu słoń nie jest od nas bardziej inteligentny?
7. Oceń, jaki procent mózgu wykorzystujemy. Jaki sens można nadać temu pytaniu?
8. Jakie sprzeczne wymagania stoją przed mózgami i jak natura je rozwiązuje?
9. Czy komputery mogą działać intuicyjnie?
10. Jaka jest rola interpretera i jak się przejawia u pacjentów z komisurotomią.
11. Jakimi metodami bada się lateralizację funkcji mózgu?
12. Jakie są różnice anatomiczne między półkulami mózgu?
13. Co to jest komisurotomia i jakie wnioski płyną z badań pacjentów po takim zabiegu?
14. Jak można scharakteryzować różnice w przetwarzaniu informacji wzrokowej lewej i prawej półkuli?
15. Jakie są efekty uszkodzeń lewej i prawej półkuli?
16. Jakie zmiany w rozumieniu postaw moralnych powoduje komisurotomia.
17. Czy świadomość mieści się w lewej półkuli? Co się dzieje jeśli ją wyłączymy?
18. Jakie znaczenie ewolucyjne mogła mieć specjalizacja półkul?
19. Co to jest aprozodia?
20. Czemu kot widziany w lewym polu widzenia znika, gdy machamy ręką w prawym polu widzenia?
21. Czy można w pełni "poznać siebie"? Co takiego chcemy się dowiedzieć?
22. Co może oznaczać nieokreślony niepokój emocjonalny?
23. Jak można interpretować stwierdzenie: "To jeszcze do mnie nie dotarło"?
24. Jak można sprawdzić sprawność swojego spoidła?
25. Na czym opiera się teoria MacLeana.
26. Jak wiąże się teoria 3 mózgów MacLeana z ideami Freuda?
27. Jak wygląda hierarchia potrzeb Masłowa.
28. Krytyka teorii MacLeana.
29. Czemu nowa frenologia oparta na teorii MacLeana nie ma sensu.
30. Dlaczego po tylu latach ewolucji struktury gadów nie zostały wyeliminowane?

Literatura

1. [Budohoska W, Grabowska A](#), Dwie półkule - jeden mózg, Wiedza Powszechna, Warszawa 1994
2. Draaisma D, Rozstrojone umysły. PIW 2009
3. Gazzaniga M, [Istota człowieczeństwa](#). Co czyni nas wyjątkowymi. Wyd. 2, 2020.
4. Gazzaniga M, Po obu stronach mózgu. Moja przygoda z neuronauką. Copernicus Center Press 2017
5. Gazzaniga M, O tajemnicach ludzkiego umysłu. Biologiczne korzenie myślenia, emocji, seksualności, języka i inteligencji. Książka i Wiedza, Warszawa 1997
6. Gazzaniga M, Who is in charge? Free Will and the Science of the Brain. Ecco 2011
7. Giraud AL, Endogenous cortical rhythms determine cerebral specialization for speech perception and production. Neuron 2007 Dec 20;56(6):1127-34.
8. Górska T., Grabowska A., Zagrodzka J., red, Mózg a zachowanie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1997
9. Herculano-Houzel S, [The human brain in numbers: a linearly scaled-up primate brain](#). Front. Hum. Neurosci. 3, 1-31, 2009

10. Ingram J, Płonący dom. Odkrywając tajemnice mózgu. Prószyński i Ska, 1997.
11. Janiszewski L, G. Barbacka-Surowiak, J. Surowiak, Neurofizjologia porównawcza Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1993.
12. LeDoux J, Mózg emocjonalny. Wyd. Media Rodzina, Poznań 2000.
13. LeDoux J, Synaptic Self. How are brains become who we are. Viking 2002.
14. Lennie P. (2003). [The Cost of Cortical Computation](#). Current Biology 13, 493–497, 2003.
15. Mroziak J, Równoważność i asymetria funkcjonalna półkul mózgowych. Uniwersytet Warszawski, Warszawa 1992
16. Pinto Y. i inn. Split brain: divided perception but undivided consciousness. Brain (2017) aww358
17. Roth G, Dicke U, [Evolution of the brain and intelligence](#). Trends in Cognitive Sciences 9(5), 250-257, 2005
18. [Uomini N.T, Prehistory of handedness](#), Journal of Human Evolution 57(4): 411-419, 2009

Popular:

19. [Greater Good Magazine](#).
20. [Akson.pl - upośledzenia umysłowe](#), choroby mózgu.

Cytowanie: Włodzisław Duch, Wstęp do Kognitywistyki. Rozdz. B02. Działanie mózgu: najprostsze teorie I. UMK Toruń 2021.

W. Duch, [Wstęp do kognitywistyki - spis treści](#)

[B03. Działanie mózgu: najprostsze teorie II.](#) |