

"Różnice między mózgiem jaszczurki i człowieka są bardzo przeceniane."
[Gilles Laurent, Science 2021.](#)

A10. Mechanizmy podstawowe - mózgi

Opisujemy to, co obserwujemy i widzimy, że działa. Rzeczom namacalnym i procesom, które są obserwowalne, możemy nadać jednoznaczne nazwy. Pozostałe zjawiska możemy określać tylko za pomocą metafor, wskazując na ich powiązanie z czymś, co znamy. Metafory na temat umysłu zmieniały się zależnie od epoki. Wyobrażano sobie umysł w oparciu o najbardziej technicznie rozwinięte urządzenia.

- W starożytnej Grecji umysł porównywano do katapulty: napina się i wyzwala, te dramatyczne napięcia i katharsis widać w greckich tragediach.
- [Leibniz](#) porównywał umysł do młyna, w którym jest wiele mechanizmów, ale świadomość uważał za substancję prostą.
- [Babbage](#) wyobrażał sobie umysł tkający kolejne myśli podobnie jak krosna tkackie.
- [Freud](#) porównał umysł do systemu hydraulicznego, w którym są liczne przepływy a wysokie "ciśnienie psychiczne" powoduje zaburzenia mentalne.
- [Sherrington](#), który stworzył współczesną neurofizjologię, uznał umysł za telefoniczną centralę - czym innym mógłby być?
- W końcu drugiej dekady 21 wieku powstały komputerowe symulacje wielkich sieci neuronowych, generatywna sztuczna inteligencja, modele językowe takie jak [ChatGPT](#), [Gemini](#). Wyniki działania tych niezwykle złożonych modeli są podobne do działania naszych umysłów, jest więc rzeczą naturalną, że zaczynamy patrzeć na umysł jako rezultat działania sieci neuronowych.
- W trzeciej dekadzie tego wieku powstają nowe urządzenia, oparte na [systemach neuromorficznych](#), czyli obwodach scalonych przypominających biologiczne struktury neuronowe. Oparte na nich sieci nie będą tylko symulacjami, będą coraz bardziej przypominać prawdziwe mózgi.



Procesy zachodzące w sieciach neuronowych możemy badać symulując je za pomocą komputerów, budując modele neuromorficzne, porównując zachodzące w nich procesy z tymi w biologicznych mózgach.



A10.1 Neuronauki



Badaniem mózgów zajmują się liczne gałęzie neuronauk (ang. [neurosciences](#)), od neurochemii po psychologię eksperymentalną i nauki medyczne. W Polsce używa się zwykle terminu "[neurobiologia](#)", ale nie wszystkie neuronauki wywodzą się z biologii, dlatego powoli termin "neuronauki" jest coraz szerzej stosowany.

[Neuronauki](#) badają zjawiska zachodzące w skali czasowej od nanosekund do lat, w skali przestrzennej od metra do ułamków nanometra.

[Jest tu wiele gałęzi nauk:](#)

- [Neuroanatomia](#), anatomia porównawcza mózgów zwierząt i ludzi.
- [Neuronauki na poziomie komórkowym](#), neurobiologia neuronów i komórek glejowych, [układ glimfatyczny](#), [konektomika](#), badająca połączenia grup neuronów w mózgach, neurodynamika.
- [Neuronauki na poziomie molekularnym](#): [neurogenetyka](#), [neurochemia](#), [neurofarmakologia](#), [neuropsychofarmakologia](#), [neuroendokrynologia](#).
- Neuronauki związane z [rozwojem i dojrzewaniem układu nerwowego](#), od stadium embrionalnego.
- Neuronauki związane z chorobami układu nerwowego, takie jak [neuropatologia](#), [neurologia](#), [neurochirurgia](#), [neuropsychiatria](#), [neuropsychologia](#), [psycho-neuro-immunologia](#)...
- [Neuronauki systemowe](#), specjalizujące się w badaniu działania poszczególnych zmysłów i kontroli ruchów.
- [Chronobiologię](#), zajmującą się rytмами biologicznymi i subiektywnym postrzeganiem [upływu czasu](#).
- [Neurofizjologię](#) ogólną, zajmującą się badaniem funkcjonowania układu nerwowego metodami elektrofizjologicznymi i innymi.
- [Neurofizjologię zachowania](#) (behawioralną), która jest nauką na pograniczu zagadnień mózg/umysł, zajmuje się badaniem związków stanów mózgu i zachowania.
- [Neuronauki poznawcze](#), takie jak [neurolingwistyka](#), szukające mechanizmów tworzenia się funkcji afektywno-poznawczych, takich jak emocje, pamięć, uwaga, uczenie się ...



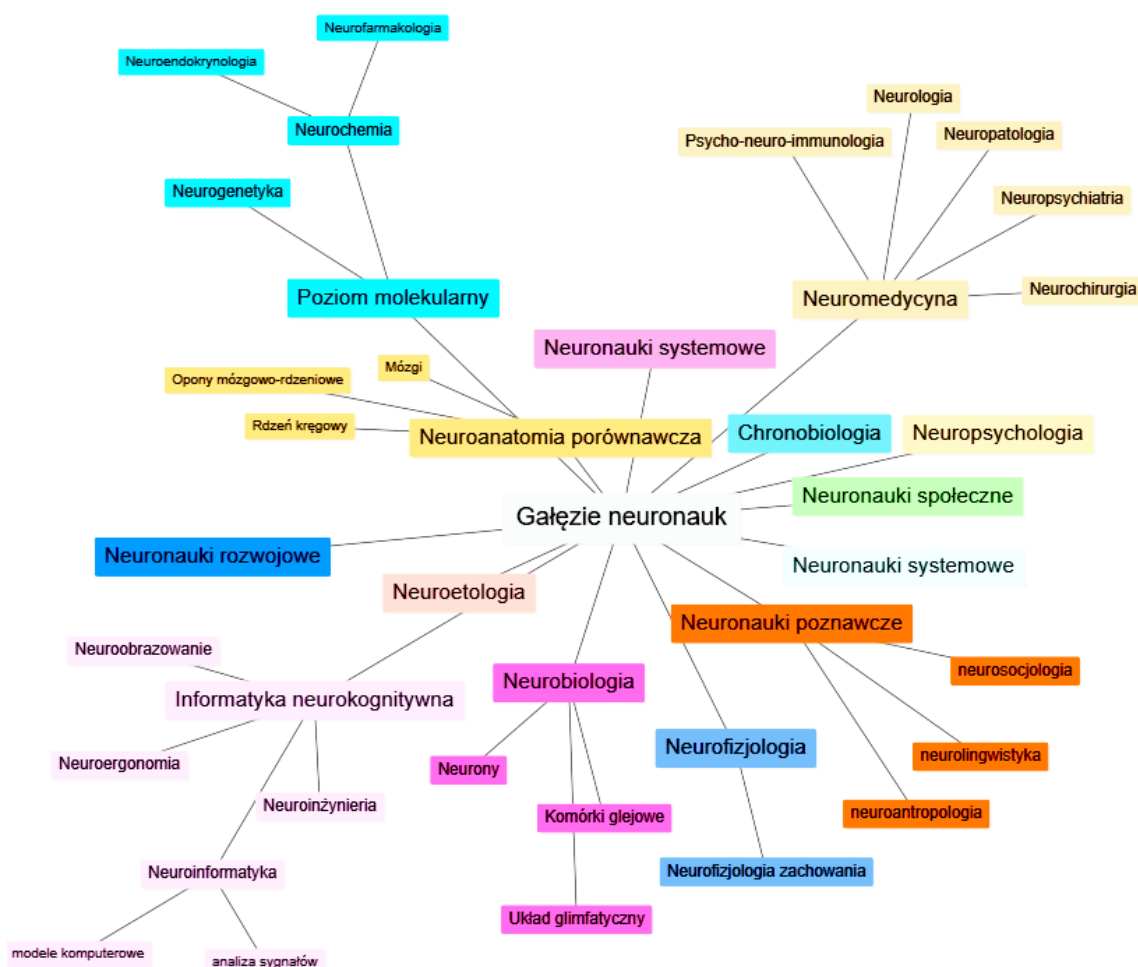
- [Neurosocjologię](#) i [neuroantropologię](#), czyli neuronauki społeczne, próba uwzględnienia czynników społecznych w rozwoju zdolności komunikacyjnych, językowych, kulturowych, możliwości i ograniczeń wynikających z procesów ewolucyjnych i neurobiologicznych.
- [Neuronauki komputerowe i systemowe](#), modelujące funkcje struktur neuronowych za pomocą symulacji komputerowych i teorii matematycznych.
- [Neuroetologia](#) komputerowa ([Computational Neuroethology](#), czyli modele komputerowe zachowania ludzi i zwierząt.
- Informatyka neurokognitywna, próbująca czerpać inspiracje z analizy działania układu nerwowego do tworzenia użytecznych algorytmów.
- [Neuroinżynierię](#), tworzenie interfejsów mózg-komputer, neuroprotezy współpracujących z układem nerwowym
- [Neuroergonomię](#) dążącą do zrozumienia i udoskonalenia relacji pomiędzy zdolnościami poznawczymi i artefaktami techniki i biznesu.
- [Neuroobrazowanie](#) i rozwój sprzętu do prowadzenia badań, pełniące rolę usługową w badaniach nad mózgiem.
- [Neuroinformatykę](#), analizę sygnałów i wszelkich danych związanych z działaniem mózgu, jak i tworzenie modeli pokazujących jak takie sygnały powstają na skutek procesów zachodzących w mózgu.

Każda z tych dyscyplin wnosi specyficzną perspektywę. Co roku [Society for Neuroscience](#) organizuje konferencje, na które przyjeżdża 25-30 tysięcy uczestników prezentując ponad 15 tysięcy prac naukowych! Niektóre zajmują się procesami zachodzącymi w skali nanometrów i pikosekund (neuronauki na poziomie molekularnym) inne badają procesy o rozmiarach całego organizmu trwającymi latami (poruszanie płetwą wieloryba przez mózg 30 metrów dalej). Pozwala to odpowiedzieć na szczegółowe pytania dotyczące wpływu czynników biologicznych na psychikę i zachowanie.

Fenomenika, czyli opis neurobiologicznych procesów na różnych poziomach, pojawi się na tych [wykładach przy omawianiu chorób mózgu](#). Parę slajdów na ten temat [jest w tej prezentacji](#).

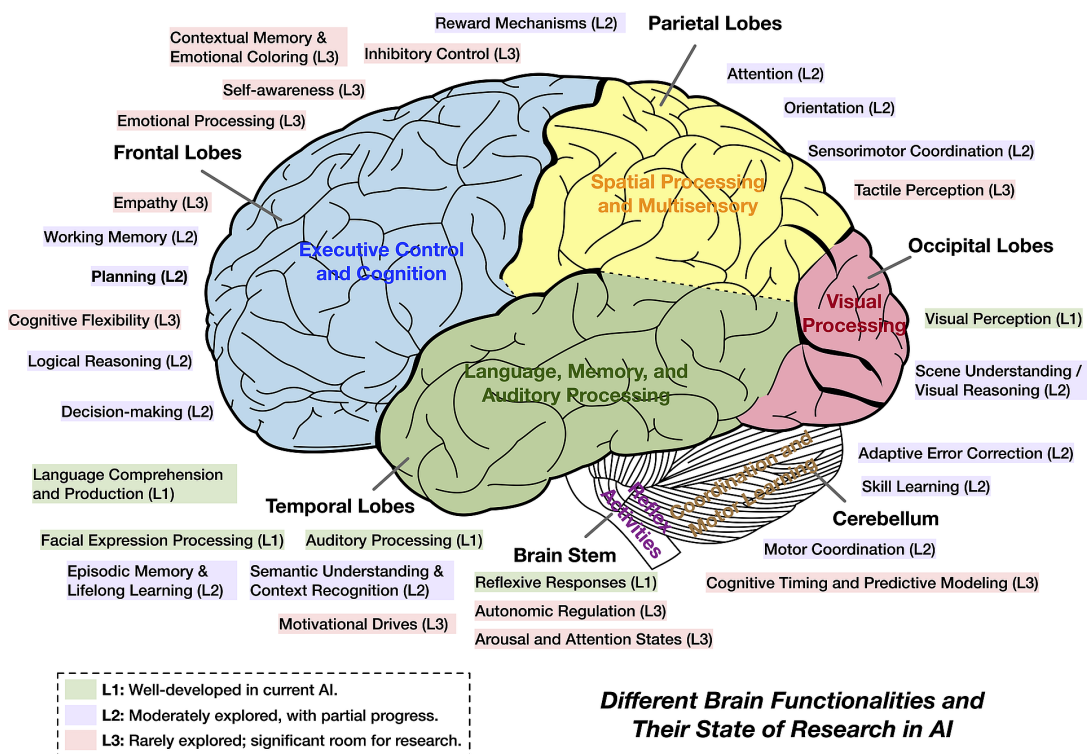
Oprócz autentycznej wiedzy na temat różnych aspektów neuronauki pojawia się coraz więcej przydomków neuro- dodanych do wszystkiego: neuro-zarządzanie, coaching, finanse, edukacja, żywność ... Neuronauki obrastają taką samą pseudonaukową otoczką jaką ma obecnie psychologia.

Nieco inny obraz wielu dyscyplin wpływających na neuronauki behawioralne, albo biologiczną psychologię, jest [na tym obrazku](#). Podsumowanie jest na poniższym grafie.



Niektóre dyscypliny naukowe związane z neuronaukami

Jakie funkcje potrafimy odtworzyć w symulacjach komputerowych? Ten graf pokazuje funkcje i obszary mózgu, które są z nimi najsilniej związane, oraz poziomy rozwoju metod AI, od względnie dobrego L1, do słabo rozwiniętego L3.



Mózg i AI, strona [Awesome-Foundation-Agents](https://www.awesome-foundation-agents.com/)

A10.2 Genetyka i zmienność organizmów

Jak mogło dojść do rozwoju inteligencji, powstania [sśaków naczelnych](#), małp, małp człekokształtnych i homo sapiens? Jak głosi chińskie przysłowie, przypisywane Lao Tzu: nawet najdalsza podróż zaczyna się od pierwszego kroku.

Idea "walki o byt" i przeżywania najbardziej przystosowanych to jeden z efektów książki "[O pochodzeniu człowieka i doborze płciowym](#)" (1871) [Karola Darwina](#). Chociaż sam Darwin był bardzo ostrożny w formułowaniu wniosków to Thomas Henry Huxley spopularyzował ideę ciągłej walki o przetrwanie, przed którą chroni nas tylko cywilizacja. Bardzo wcześnie powstał też całkiem odmienny pogląd, podkreślający bardziej współpracę niż walkę. Spór Kropotkina, uciekiniera z Rosji, który opowiadał się za współpracą, z Huxleyem opisany jest w książce Orena Harmana „[Cena altruizmu](#)”: George Price i poszukiwanie źródeł dobroci”. Kropotkin służył w wojsku i podróżując po Syberii dostrzegał współpracę różnych organizmów umożliwiającą im przetrwanie w ciężkich warunkach.

[Genetyka populacyjna](#), czyli genetyka połączona z teorią ewolucji, rozwinęła się pod koniec lat 1920, w pracach S. Wrighta, J.B.S. Haldana i R. Fishera.

Hipoteza: wszystkie zachowania społeczne kontrolowane są przez dobór naturalny i płciowy. Ale co właściwie podlega przystosowaniu w tym procesie?

[William D. Hamilton](#) (1964) przedstawił nowe spojrzenie na ewolucję: **geny sterują zachowaniem organizmów realizując swoje długofalowe strategie.**

Mrówki, pszczoły i inne owady podporządkowują życie jednostki całkowicie interesom ogółu. Dlaczego powstały takie zachowania altruistyczne? Strategia skrajnego altruizmu jest bardzo korzystna i stabilna z punktu widzenia genów osobników bardzo do siebie podobnych jak i całych grup społecznych silnie ze sobą powiązanych, ale nie dla indywidualnych organizmów. U owadów giną osobniki, które nie rodzą swojego potomstwa, więc nie jest to wielka strata dla roju.

Humberto Maturana stworzył pojęcie [systemu autopoietycznego](#), czyli **systemu samoodtworzającego i samoorganizującego się, pozwalającego na osiągnięcie homeostazy**. Idee te rozwinął Francisco Varela, Evan Thomson i inni badacze, podkreślając znaczenie samego systemu poznawczego, który nadaje sens odbieranym przez zmysły bodźcom, interpretując je w świetle już posiadanego modelu świata, nie mając bezpośredniego dostępu do rzeczywistości, a jedynie do efektów jej oddziaływania na system poznawczy. W kontekście teorii systemów autopoietycznych można zdefiniować **poznawanie (kognicję) jako wszystkie działania systemów żywionych, które wywołują w nich jakieś reakcje**. Takie rozumienie poznawania w przypadku organizmów biologicznych zawsze prowadzi do zmian samego systemu. Mogą to być zmiany powolne, trwające wiele pokoleń, zachodzące dzięki procesom selekcji. Organizmy biologiczne nigdy nie są idealną kopią, charakteryzuje je pewien rozrzut różnych cech budowy jak i sposobów zachowania.

Organizmy, które nie potrafią w środowisku rozpoznać zmian sprzyjających ich przetrwaniu, nie zostawiają potomstwa. Szybszym mechanizmem jest oczywiście uczenie się dzięki neuroplastyczności mózgu, pozwalające na rozwój znacznie bardziej skomplikowanych i efektywnych organizmów, a więc zdobywających więcej pożywienia i szybciej się rozmnażających.

Jak można określić, od kiedy mamy już odrębny gatunek? [Gatunek w biologii](#) to zbiór podobnych do siebie organizmów, które zdolne są do swobodnego krzyżowania i mają płodne potomstwo. Do [rodziny psowatych](#) należy obecnie 30 gatunków, które mają wspólnego przodka, ale są odrębnymi gatunkami, np. lisy, otocjony, pampasowce, majkongi, jenoty, pakożery, itd. Pomimo wielkich różnic w budowie ciała psów różnych ras wszystkie należą do jednego gatunku, wykazując największą różnorodność wśród wszystkich ssaków. Podobnie kotowate, których jest ponad 40 gatunków. Jest bardzo wiele ras kotów domowych ([infografika](#)).

Powstanie płci pozwoliło na szybsze zmiany ewolucyjne dzięki [rekombinacji genomów](#). Stało się to powszechne nie tylko u zwierząt i roślin, ale nawet u tak prymitywnych organizmów jak grzyby czy takie jednokomórkowce jak [protisty](#). Zróżnicowanie genetyczne wzmacnia odporność na choroby. Identyczne organizmy, rozmnażające się bezpłciowo, mogą wszystkie zginąć w wyniku ataku wirusa.

Organizmy zróżnicowane na skutek mieszania się genów mają szansę na przetrwanie niektórych osobników. Medycyna ewolucyjna udokumentowała obecnie wiele takich przykładów również w populacjach ludzkich. Jest ogromnie wiele sposobów rozmnażania i doboru płciowego (najwięcej wśród insektów), dzięki czemu wybierane są kombinacje genów prowadzące do najlepiej przystosowanych organizmów. Natura znalazła niezliczone sposoby na nagradzanie najsilniejszych, najzdrowszych i najsprytniejszych osobników, zostawiających najliczniejsze potomstwo.

Jeśli mieszanie genów jest tak korzystne, **dlaczego jednak nie mamy więcej płci?**

Mieszanie puli genów jest motorem ewolucji, dostarcza niezbędnego zróżnicowania cech organizmów, które w zmiennym środowisku mogą sobie radzić lepiej lub gorzej, pozwala populacji pozbyć się szkodliwych mutacji, ale też naraża na niebezpieczeństwo nowych błędów. Dwie płci przyspieszają adaptację do zmiennych warunków środowiska, krzyżowanie jest bardziej efektywne niż mutacje, dając większe szanse w wyścigu z wirusami i pasożytami.

Mówiąc o płci odwołujemy się do względnie stabilnych form organizmów, utrzymujących się w populacji i biorących udział w rozmnażaniu. W tym sensie więcej niż dwie płci mają mrówki, pszczoły i niektóre ryby. Malutkie muszki owocówki mają 5 płci, związanych z [11 wariantami chromosomów X, Y i autosomów A](#) (autosomy to chromosomy mające wpływ na cechy płciowe, tworzących jednakowe pary). Liczba typów płciowych może się zmieniać w zależności od warunków, wielkości populacji i częstości mutacji. [Wróćmy do tego zagadnienia omawiając kwestie płci](#).

Organizmy jedнопłciowe są w większości prymitywne: to bakterie, grzyby, rzadko inne. Orzęski, jednokomórkowe pierwotniaki rozmnażające się przez podział, mają wiele form, np. [tetrachyten](#) ma 7 płci (typów organizmu). Potrafią wymieniać DNA łącząc się w pary na 21 sposobów, mają więc aż 21 "orientacji seksualnych". Takie łączenie nie jest jeszcze rozmnażaniem, ale zmienia już istniejące organizmy umożliwiając lepsze dostosowanie się do panujących warunków. Ta forma rozmnażania nie jest jednak możliwa u wielokomórkowych organizmów. Nie da się w połączyć trylionów komórek ze sobą na różne sposoby bez spowodowania śmierci organizmu.

Więcej płci umożliwia jeszcze większe zróżnicowanie - ameba, mając 3 rodzaje płci, może się połączyć z 2/3 populacji, a nie tylko połową). Genom ameby jest [200 razy dłuższy](#) niż człowieka (ma nie 3 mld, a 670 mld par zasad). Bardziej złożone organizmy mają krótsze genomy, ale więcej genów regulujących ekspresję innych genów, czyli sposób wykorzystania, innych genów. Złożone organizmy nie mogą się łączyć na takiej zasadzie jak ameba, mają więc mniejszą pulę populacji, z którą mogą płodzić potomstwo.

Modele matematyczne w biologii populacyjnej pokazują, że dwie płci (mating types, czyli rodzaje organizmów zdolnych do rozmnażania) są często optymalnym rozwiązaniem. Zależy to jednak od trzech czynników (Constable i Kokko, 2018): wielkości populacji, częstości mutacji i częstości aktów rozmnażania. Jeśli liczba typów płciowych zależy od wpływu mutacji, na szanse przeżycia populacji największy wpływ ma częstość rozmnażania płciowego; w przeciwnym przypadku wystarczy rozmnażanie bezpłciowe.

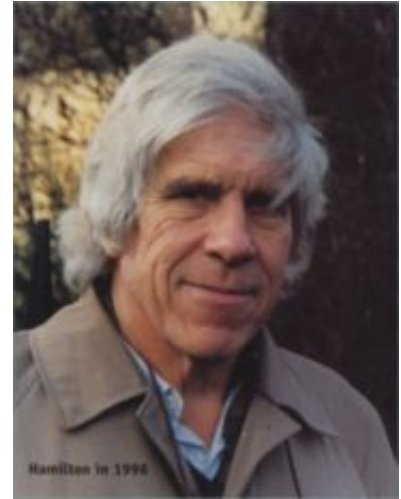
Niektóre grzyby mają ponad sto rodzajów płci, ale rozmnażają się płciowo raz na sto pokoleń. Modele matematyczne pokazują, że drobne różnice w szansach przetrwania różnych kombinacji typów płciowych redukują ich liczbę. Dynamika takich procesów jest jednakże złożona i liczba typów płciowych może się zmieniać w zależności od warunków, wielkości populacji i częstości mutacji. Istnieją trzy-płciowe mrówki ([Pogonomyrmex](#)), których królowa płodzi potomstwo z dwoma rodzajami samców, by spłodzić robotnice i królowe, do przetrwania kolonii potrzebne są 3 linie DNA.

Hermafrodytyzm występuje u roślin, robaków, małż, ryb i ludzi. Większość ryb rafowych zmienia płeć przynajmniej raz w życiu. Istnieją też śpiewające ryby z gatunku [plainfin midshipman \(Porichthys notatus\)](#), u których są dwa rodzaje samców!

Powstanie płci było korzystne bo pozwalało na mieszanie materiału genetycznego, przyspieszając wyścig ewolucyjny pomiędzy drapieżnikami i ofiarami, np. utrudniając działanie pasożytom.

"Hipoteza czerwonej królowej" (Leigh Van Valen, 1973), mówi, że system musi ciągle ewoluować, by jego przystosowanie się nie zmniejszyło. Zmiany ewolucyjne spowodowane walką z pasożytami są widoczne w budowie naszego ciała: owłosieniu, wydzielinach chroniących oczy, usta, drogi oddechowe. Kwasy żołądkowe, jelita i układ odpornościowy niszczą szkodliwe mikroorganizmy. Jednak ewolucja nie jest wszechpotężna i znamy coraz więcej przypadków oszukiwania organizmów przez pasożyty, które potrafią do nich wnikać i urosnąć do ogromnych rozmiarów.

[Tasiemiec](#) potrafi osiągnąć w ciele człowieka do 15 metrów długości! Pierwotniak [Toxoplasma gondii](#) (toksoplazmoza) wnika z jelit do mięśni, oczu i mózgu szczurów, wydzielając substancję powodującą u szczura seksualne podniecenie na zapach kota. Człowiek zarażony



William Hamilton

toksoplazmozą może zmienić swój charakter, wykazywać objawy schizofrenii, lekceważyć niebezpieczeństwo (K. McAuliffe, 2018). Badaniem takich zjawisk zajmuje się [neuroparazytologia](#), nowa dyscyplina naukowa (McAuliffe, 2018).

Jest też pewien margines zmian ekosystemów, w ramach których dobrze przystosowane gatunki mogą przetrwać. Krokodyle istnieją w niezmienionej formie od ponad 80 mln lat; większe zmiany klimatyczne mogą być jednak dla nich zabójcze. Natura nie jest statyczna, a jej ciągła zmienność powoduje, że "trzeba biec szybko by stać w miejscu", czyli wykazać dużą zdolność do adaptacji by nie utracić swojej pozycji w świecie organizmów ożywionych. To właśnie głosi [hipoteza czerwonej królowej](#). To termin wzięty z "Alicji w Krainie Czarów", opisane w popularnej książce M. Ridleya, Czerwona królowa (1999).

Romantyczne opisy doskonałości natury zapominają, że jej częścią jest również dzuma, malaryczne komary i muchy tse-tse, ogromne powodzie, susze, erupcje wulkanów, okresy wielkiego wymierania.

W 2020 roku stworzono pierwsze [biologiczne xenoboty](#), mniejsze niż milimetr, złożone z około 3000 komórek macierzystych pobranych z embrionów żab. Jest to organizm w którym można wyróżnić skórę i komórki serca, które kurcząc się i rozszerzając działają jak małe motorki. [Xenoboty potrafią się rozmnażać](#) w zupełnie unikalny sposób, sklejając swoje komórki. To nowa forma reprodukcji, pokazująca jak mogą powstać złożone wielokomórkowe organizmy. Xenoboty mogą mieć liczne zastosowania i stać się nową gałęzią biorobotyki.



A10.3 Mózgi i neurony



Co zwiększa szanse przeżycia prymitywnego organizmu? **Sprawny system regulujący jego podstawowe funkcje metaboliczne** i zapewniający homeostazę.

Potrzebne są szybkie reakcje na zagrożenia, wyspecjalizowane zmysły pozwalające na poszukiwanie pożywienia i zwiększające szansę na pozostawienie potomstwa, możliwość planowania, pamięć i orientacja. Rozumienie związków przyczynowo-skutkowych pojawiły się znacznie później. Ewolucja nie cofa się by zoptymalizować nowe funkcje, tylko buduje na tym, co wcześniej powstało. Dlatego jest tyle podobieństw mechanizmów regulujących funkcje organizmów, od genów i białek budujących komórki, po budowę neuronów i sposobów ich działania, wykorzystujących takie same cząsteczki chemiczne - hormony, neurotransmitery i neuromodulatory - do regulacji stanu organizmu.

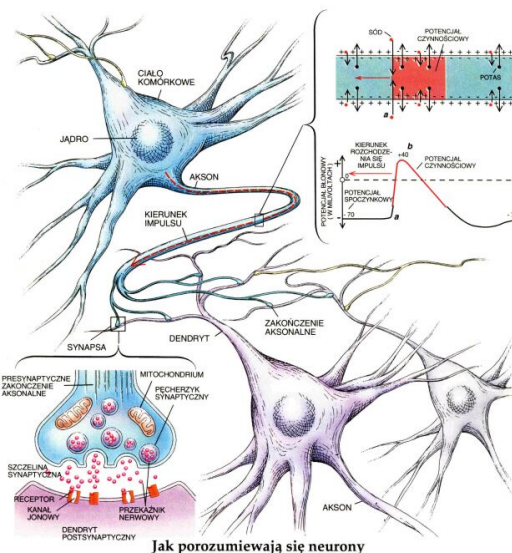
Podział funkcji należących do **trzech kategorii - regulacji, szybkich reakcji i złożonych funkcji poznawczych** - zauważył już Arystoteles, określając je mianem duszy wegetatywnej, zwierzęcej i rozumnej. W toku ewolucji w takiej właśnie kolejności rozwijały się funkcje realizowane przez układ nerwowy. Zrozumienie tego, 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](#).

Pół miliarda lat temu pierwsze organizmy wielokomórkowe rozwiązały problem koordynacji ruchu swoich wici. Małe organizmy mogły wykorzystywać koordynację procesów za pomocą różnych biochemicznych cykli, podobnie jak się to dzieje w organizmach jednokomórkowych. Komórki czuciowe uwalniając substancje chemiczne mogą wpływać na ruch kilku znajdujących się obok siebie wici.

Koordinacja szybkich ruchów odległych części ciała u meduz mających budowę radialną stała się możliwa dzięki impulsom elektrycznym, wędrującym wzdłuż aksonów neuronów na większe odległości. Chemiczna komunikacja pomiędzy komórkami, które są obok siebie pozwoliła na wykorzystanie naturalnego mechanizmu utrzymującego komórki przy życiu, czyli [pompy sodowo-potasowej](#). To dzięki różnicy [potencjałów błony komórek](#) zachodzi transport substancji odżywczych i możliwe jest życie. W neuronach spoczynkowy potencjał, wynikający z koncentracji dodatnich jonów sodu na zewnątrz i mniej licznych dodatnich jonów potasu wewnątrz komórki to około +70 mV na zewnątrz ciała komórki niż w obszarze wewnętrznym. Depolaryzacja potencjału błony komórkowej dzięki regulacji przepływu różnych jonów była możliwa dzięki stosunkowo niewielkim i prostym cząsteczkom, które nazywamy [neurotransmiterami](#).

Była to naturalna droga ewolucji, dzięki której komórki czuciowe odległych części ciała mogły przesyłać informacje do centralnych części, które kontrolowały pobudzenie komórek generujących rytmiczne ruchy. Wici meduz były prawdopodobnie pierwszymi organami sterowanymi przez neurony z długimi, cienkimi aksonami. Jednocześnie chemiczna modulacja pobudliwości neuronów dzięki synapsom reagującym na różne neurotransmitery dostarczane do szczeliny synaptycznej umożliwiła złożoną organizację sieci neuronowych, regulację ogólnego pobudzenia organizmu i odpoczynku w czasie snu, powstanie złożonych reakcji emocjonalnych, które zmieniają sposób reakcji, procesy pamięciowe. Wadą jest stosunkowo niewielkie opóźnienie przekazywania sygnałów (kilka milisekund). Dlatego istnieją też [synapsy elektryczne](#), działające znacznie szybciej. W kilku strukturach mózgu takie synapsy pomagają w szybkiej synchronizacji działania grup neuronów. Zamiast przerwy synaptycznej



Jak porozumiewają się neurony

przestrzeń między neuronami wypełniona jest przewodzącymi prąd białkami, więc nie ma opóźnienia przepływu ładunków elektrycznych.

Początkowo neurony były rozproszone, ale **cefalizacja** (wyodrębnienie się części głowowej), a następnie **encefalizacja**, specjalizacja funkcji w zwojach nerwowych, doprowadziła do całej różnorodności typów mózgów, jaką obecnie obserwujemy. Są dowody na to, że encefalizacja jest wynikiem interakcji socjalizacji zwierząt współpracujące ze sobą wewnątrz grupy (Shultz, Dunbar, 2010). Jest wiele typów neuronów i **komórek glejowych**, pełniących liczne funkcje związane z metabolizmem, naprawą uszkodzeń i przetwarzaniem informacji w układzie nerwowym. Tu jest mapa pojęć **związanych z neuronami i glejem**, a na rysunku poniżej ogólny podział systemu nerwowego na różne sprzężone ze sobą podsystemy.

Wszelkie mutacje, które zwiększały szansę przeżycia i reprodukcji we wrogim środowisku mogły się utrwalić, dzięki czemu powstawały coraz bardziej złożone organizmy. Cefalizacja doprowadziła do powstania coraz większych skupisk neuronów, ale kontrola różnych funkcji w jednej wielkiej sieci jest łatwiejsza, jeśli jej budowa będzie modułarna. System nerwowy można podzielić na kilka współpracujących ze sobą (i z resztą organizmu) podsystemów potrzebnych do regulacji podstawowych funkcji życiowych: utrzymywania homeostazy, analizy informacji zmysłowych, kontroli napięcia mięśni, cykli okołodobowych i reprodukcji.

Centralny układ nerwowy (CUN), złożony z mózgu i rdzenia kręgowego, kontroluje cały organizm, interakcję ze środowiskiem, zdobywaniem pożywienia, konkurencją z innymi zwierzętami i rozmnażaniem. Wymaga to współpracy z **Somatycznym Układem Nerwowym (SUN)**, który podlega świadomej kontroli: unerwia mięśnie szkieletowe i dostarcza sygnały z receptorów zmysłowych. Jest to część Peryferyjnego (Obwodowego) Układu Nerwowego (PUN), który wykonuje polecenia układu centralnego i dostarcza do niego informacje zwrotne.

Autonomiczny układ nerwowy (AUN lub ang. ANS) to część układu peryferyjnego, której nie potrafimy kontrolować w świadomy sposób. Jego zadaniem jest koordynacja funkcji automatycznych, nie wymagających zaangażowania na centralnym poziomie, np. skurczów serca, oddychania, ruchów perystaltycznych jelit, trawienia, wydzielania kwasów żołądkowych, wydalania, pocenia się, termoregulacji, pobudzenia seksualnego. Nerwy tego układu mają zakończenia w **mięśniach gładkich**. AUN zbiera sygnały z chemoreceptorów, baroreceptorów, przesyłając je przez nerwy czaszkowe i rdzeniowe, przechodzące przez zwoje rdzeniowe. Te sygnały docierają do neuronów znajdujących się w pniu mózgu, zgrupowanych w wielu jądrach, produkujących dużą ilość neurotransmiterów. W odróżnieniu od kory mózgu czy nawet dużych jąder podkorowych w obszarze pnia mózgu nie ma regularnej struktury. Wpływa to na regulację ogólnego pobudzenia organizmu. U ssaków w peryferyjnym układzie nerwowym znajdujemy liczne lokalne zwoje neuronowe, podobnie jak u bardziej prymitywnych zwierząt.

AUN zawiera układ współczulny i przywspółczulny, układy działające antagonistycznie.

Układ **współczulny pobudza organizm** do działania: rozszerza źrenicę, rozluźnia mięśnie oka, gruczoły ślinowe wytwarzają gęstą ślinę, serce bije szybciej, naczynia wieńcowe się rozszerzają, oskrzela rozkurczają, żołądek hamuje wydzielanie soków, żółć wolniej produkowana, perystaltyka zwalnia, nadnercza uwalniają adrenalinę, skóra się poci, włoski się jeżą, odbytnica kurczy a pęcherz rozluźnia.

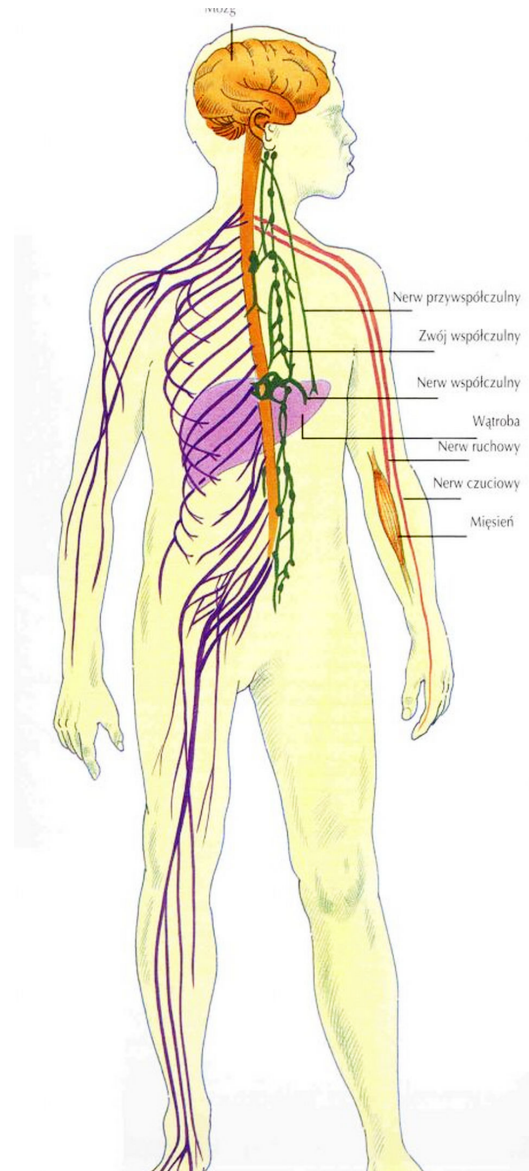
Układ **przywspółczulny** działa odwrotnie.

W sumie AUN pozwala na utrzymanie homeostazy, ale to nie wystarcza by przeżyć. Część regulacji stanu wewnętrznego organizmu oparta jest o gruczoły które produkują liczne hormony, przenoszone przez krew. Ma to wpływ na neurony znajdujące się w podwzgórzu, które przesyłają informacje do jąder wzgórza.

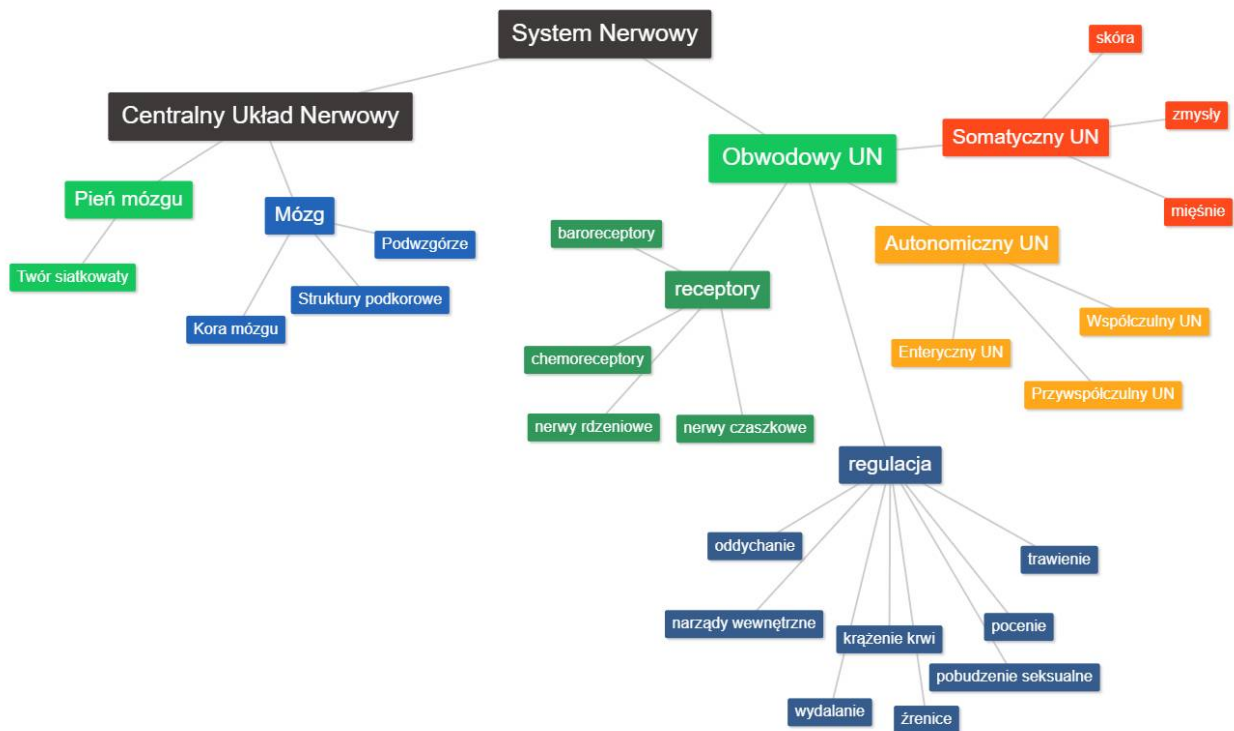
Czemu kiedy odczuwamy emocje czujemy ściskanie w podbrzuszu? W obrębie jamy brzusznej mamy **4 autonomiczne sploty**, w szczególności **splot trzewny**, określany dawniej jako mózg brzuszny. Te sploty zawierają więcej neuronów niż jest ich w rdzeniu kręgowym. Ten układ nazwano **Enterycznym Układem Nerwowym (EUN)**.

Również w jelitach znajdują się liczne neurony, połączone kilkoma ścieżkami sygnałowymi z autonomicznym systemem nerwowym, oraz podwzgórzem i ciałem migdałowatym. Te połączenia pomagają w utrzymaniu homeostazy w układzie pokarmowym, regulują procesy trawienia, wpływają na nastrój, motywację i funkcje poznawcze (Mayer 2011). Określa się to jako **oś jelita-mózg (gut-brain axis)**.

Podejrzewa się wpływ **mikrobiomu przewodu pokarmowego** na regulację poziomu serotoniny w mózgu, regulację nastroju, oraz całego metabolizmu i skłonności do otyłości, a nawet rozwój takich chorób jak schizofrenia i choroba Alzheimera. **Wstępne badania** (2018) wskazują na możliwości terapeutyczne "psychobiotyków", czyli preparatów prebiotycznych wpływających na florę bakteryjną w przypadkach różnych zaburzeń nastroju i chorób neurodegeneracyjnych.



Obwodowy (peryferyjny) układ nerwowy (PUN lub ang. PNS) otrzymuje i wysyła informacje przez nerwy kręgowy i czaszkowy, dochodzące do mięśni i receptorów czuciowych i kończące się w rdzeniu. Nerwy to wiązki aksonów, długich wypustek neuronów otoczonych osłonką mielinową, stanowiące "okablowanie" organizmu. Nerwy doprowadzające informację od receptorów zmysłowych do mózgu nazywa się czuciowymi lub aferentnymi, a nerwy wychodzące z mózgu i kontrolujące mięśnie i gruczoły nazywa się ruchowymi lub eferentnymi. Przez podstawę mózgowia przechodzi 12 par nerwów czaszkowych (numerowanych rzymskimi liczbami I do XII).



Neurokardiologia to dziedzina medycyny badająca związki pomiędzy zaburzeniami pracy serca i układem nerwowym. W sercu znajduje się około 100 zwojów (skupisk) po kilkaset neuronów w każdym, zarówno wewnątrz komór jak i na zewnątrz, regulujących lokalnie rytm skurczów. Niektóre neurony mają mechano- i chemo-receptory pozwalające im reagować na czynniki stresogenne. Lokalne mikroobwody umożliwiają automatyczną regulację, a sprzężenie z ośrodkami w pniu mózgu bardziej precyzyjną kontrolę i adaptację, przygotowanie do walki bądź ucieczki.

Centralny (ośrodkowy) układ nerwowy (CUN lub ang. CNS) składa się z mózgu, mózdzku i rdzenia kręgowego (kolor pomarańczowy). Będzie to główny obiekt naszych zainteresowań.

Mózgi na różnym poziomie złożoności świetnie opisuje strona "[The Brain From Top to Bottom](#)".

A10.4. Mózgi w liczbach i przetwarzanie informacji

Ciało człowieka, jak wszystkie obiekty materialne, składa się z atomów. Jest ich około 5-10 mld mld mld, czyli **$5-10 \times 10^{27}$ (tysiący kwadrylionów)**. Prawie wszystkie atomy naszego ciała to jeden z **6 pierwiastków: 2/3 to wodór, 1/4 to tlen**, więc jesteśmy zrobieni głównie z gazów. Węgiel to około 1/10 wszystkich atomów. Chociaż atomów wodoru jest najwięcej są bardzo lekkie, dlatego jeśli chodzi o masę **wygląda to inaczej. 65% masy ciała to atomy tlenu, 18% węgla, 10% wodoru, 3% azotu**.

Skoro w naszym ciele są głównie gazy, czemu nie unosimy się w powietrzu? Wodór i tlen są związane tworząc cząsteczki wody, a woda jest ciężka. **Około 60% naszej masy to cząsteczki wody, mózg to w 73% woda, płuca aż w 84%, mięśnie to 79% wody, nawet w kościach mamy 31% wody** (dane z [Water Science School](#)). To przykład **emergencji** nowych własności: z połączenia dwóch gazów dostajemy coś całkowicie odmiennego.

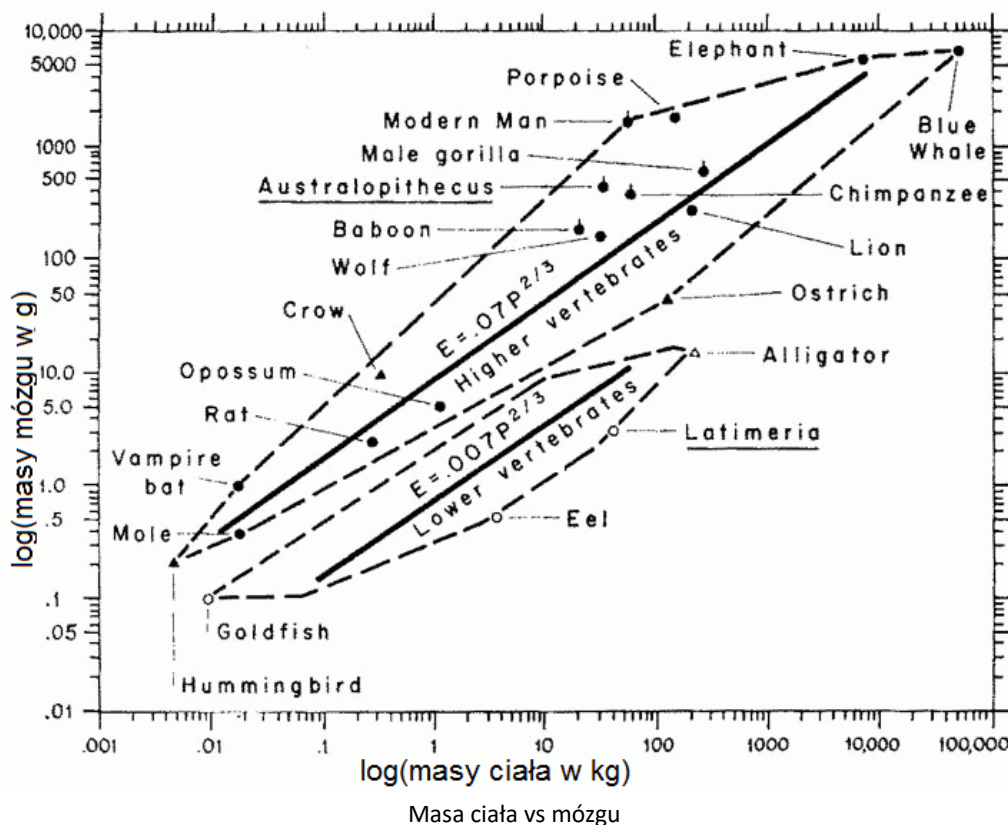
Pozostałe atomy to 1.5% wapnia, 1% fosforu, 0.5% potasu, 0.3% siarki, 0.2% sodu, 0.2% chloru, 0.2% magnezu. W sumie w naszych ciałach znaleziono 60 różnych rodzajów atomów, ale niektóre w bardzo niewielkiej ilości. Miedź to zaledwie milionowa część naszej masy (ok. 0.0002%), ale atomy miedzi są w białkach wszystkich zwierząt oddychających tlenem. Atomy litu czy molibdenu to miliardowe części naszej masy, ale pełnią ważną rolę w procesach życiowych.

Położa z 60 pierwiastków jest potrzebna do podtrzymania życia, część jest obojętna, a część szkodliwa (np. arsen, kadm, rtęć czy ołów). **Ile te pierwiastki są warte? Trochę ponad 10,000 zł.**

Mózg człowieka w liczbach

- Masa: niemowlę średnio 350 gramów, ok. 12% całkowitej wagi ciała.
- Dorosły średnio 1375 gramów (od 1.0-2.5 kg), kobiety średnio 150 gramów mniej, ale stosunek masy mózgu do masy ciała jest podobny.
- Mózg Einsteina miał 1230 gramów, a więc tyle co średnia dla kobiet, Anatol France miał mózg o masie 1017 gram, a Iwan Turgieniew 2021 gram.
- Masa mózgu dorosłej osoby to ok. 2% całkowitej masy ciała. Objętość to ok. 1.4 litra, z tego po odcisnięciu wody zostaje 130 gramów białka i niecałe 100 g. tłuszczów.

Ciekawostka: niektóre grupy religijne uzasadniają uległość kobiet wobec mężczyzn nie tylko religijnymi tekstami ale też mniejszymi mózgami. Logiczną konsekwencją takiego rozumowania powinno być uznanie mężczyzn z wielką głową za najmądrzejszych przywódców. Nie ma jednak korelacji inteligencji ludzi z wielkością ich głowy. Wielu wybitnych przywódców i uczonych było drobnej postury.



Masa mózgu na osi pionowej; masa ciała na poziomej; skala logarytmiczna, od 0.001 do 100000 kg. [Źródło rysunku.](#)

Stosunek masy mózgu do masy ciała nazywa się czasem [współczynnikiem encefalizacji](#) i uważa za istotny parametr związany z inteligencją, chociaż to całkowity rozmiar mózgu, a zwłaszcza jego złożoność koreluje się lepiej z możliwościami poznawczymi, przynajmniej u małych naczelnych (Deaner i inn. 2007). Przez wiele lat próbowano w ten sposób wykazać, że człowiek z dużym mózgiem w porównaniu do całego ciała wykracza poza świat przyrody. Niestety, marmozety mają prawie o 50% większy współczynnik niż ludzie.

Z grubsza porównanie **współczynnika encefalizacji** pokazuje pewien intuicyjnie zrozumiały porządek:

ludzie > małpy naczelne > inne ssaki (rzędu 1/100) > ptaki > gady > płazy > ryby. Dinozaur o masie wieloryba miałby mózg 100 razy lżejszy. [Najcięższe mózgi](#) ważące około 8 kg mają kaszaloty, mózgi słoni mają około 5 kg.

Kora [mózgu delfina](#) butlonosa osiąga 3745 cm², znacznie więcej niż 2275 cm² u człowieka. Jest za to o połowę cieńsza i ma trochę mniejszą objętość niż u ludzi, nie ma tak złożonych połączeń jak u ludzi.

Inteligencji nie da się jednak mierzyć jednym współczynnikiem. Gatunek *homo sapiens* jest oczywiście unikalny (jak każdy gatunek spotykany w przyrodzie), ale jakie różnice decydują o naszej inteligencji?

Zużycie energii: ok. 20% całkowitego zużycia tlenu i 25% zużycia glukozy, przy 2% masy całego ciała; mózg zużywa więc energię 10 razy szybciej niż inne części ciała.

Moc elektryczna mózgu to ok. 20-25 Watów, osiągnięta już w trzecim roku życia. Wszystkie procesy zachodzące w ciele oceniane są na 100 Watów, czyli w ciągu doby wykorzystujemy około 24h x 100 W = 2.4 kWh.



Kaszałot

W przeliczeniu na [kiloKalorie](#), w których podaje się często wartość energetyczną produktów, to około 2000 kcal.

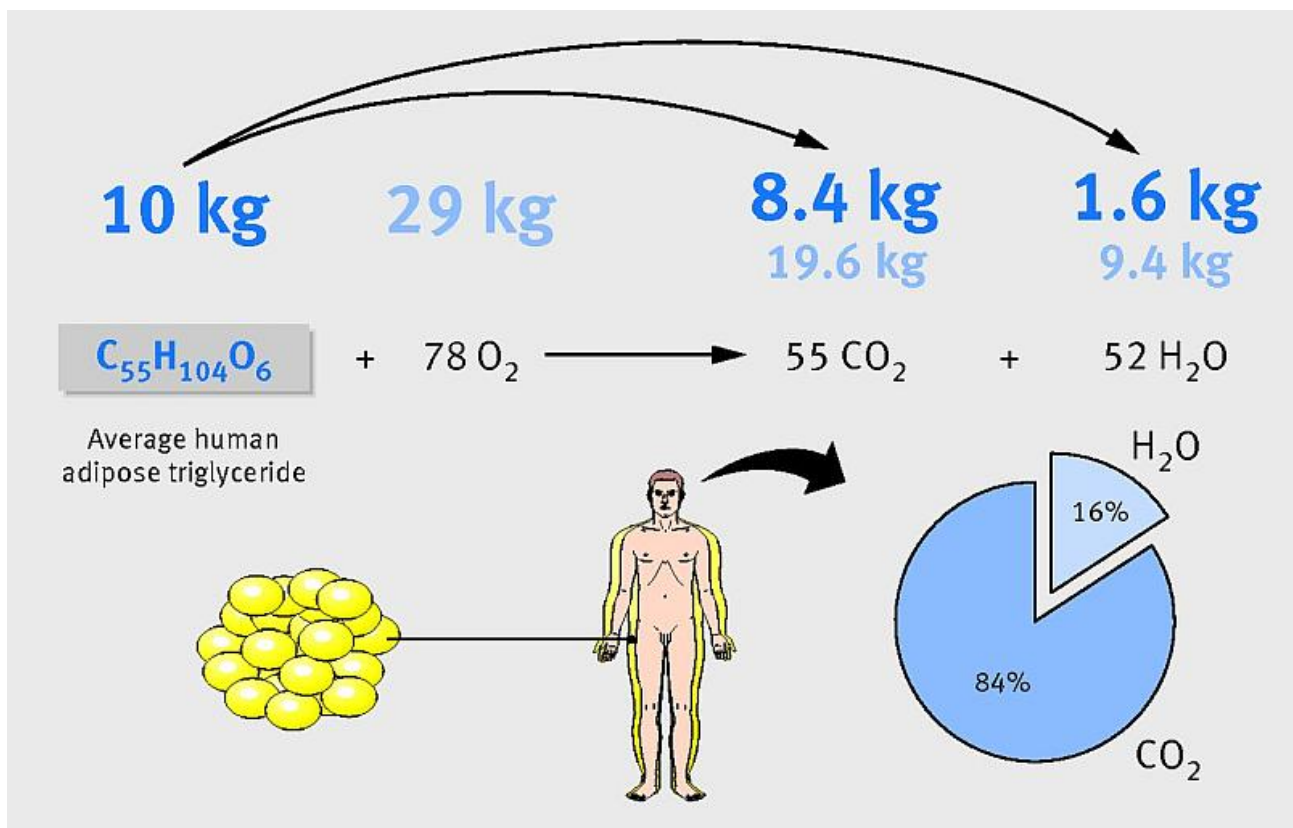
Energia 1000 cal=1 kcal = 1.16 Wh; więc 1000 kcal = 1.16 kWh. Czasami pisze się o kaloriach, chociaż chodzi o kilokalorie. Jedna kilokaloria (1 kcal lub 1000 kalorii) to ilość energii dostępnej przez trawienie podnoszącą temperaturę jednego kilograma wody o jeden stopień Celsjusza. Pożywienie ma około 2-10 kcal/gram. Średnia energia z pożywienia w Polsce to około 3400 kcal. W krajach najbiedniejszych to około 1600 kcal. Zbędna energia gromadzona jest w tłuszczach.

Dokładniejsze dane o [zużyciu energii przez mózg ludzki](#): 50% energii zużywanych jest przez postsynaptyczne receptory glutaminowe, 21% na generowanie potencjałów czynnościowych, 5% na uwalnianie neurotransmiterów, a 4% na ich recykling. 75% zużywają neurony pobudzające a 25% hamujące.

Zużycie energii przez mózg gryzonia to tylko 2% całkowitej energii zużywanej przez organizm, około 9%–12% u większości naczelnych i 20% u ludzi. Kora zużywa 40% energii całego mózgu, chociaż to mniej niż 10% wszystkich neuronów (Magistretti i Allaman, 2015).

Nasze ciało to maszyna, w której zachodzą procesy utleniania, podobne jak procesy spalania w silnikach, dzięki czemu generowana jest energia konieczna do metabolizmu, czyli zachodzenia przemian cząsteczek chemicznych podtrzymujących procesy życiowe. Pierwiastki pobieramy z pożywieniem, zamieniają się w cząsteczki tłuszczu, takie jak [triacyloglicerole](#). **W jaki sposób tracimy masę ciała?** Setki pomysłów na odchudzające diety wymyślane są bez żadnego zrozumienia mechanizmu redukcji masy ciała. Większość ludzi, w tym eksperci od diety i lekarze, wyobrażają sobie mgliście, że spalanie tłuszczów na skutek ćwiczeń produkuje energię, która zamienia się w ciepło a powstająca przy tym woda usuwana w postaci potu. Gdyby masa zamieniała się w energię zgodnie z wzorem $E=mc^2$ to zamiana jednego grama tłuszczu na energię wymagała by ponad 20 miliardów kilokalorii, czyli 10 mln razy tyle, ile dziennie spożywamy (ok. 2000 kcal).

Zaskakujące, że [dopiero w 2016 roku](#) dokładniej odpowiedziano na to pytanie szacując w jaki sposób reakcja wdychanego tlenu rozkłada cząsteczki tłuszczu (składające się z węgla, wodoru i tlenu) na dwutlenek węgla i wodę, oraz cząsteczki dostarczające energię komórkom. Biochemiczne reakcje są skomplikowane, ale podsumowując, utlenienie (spalanie) 10 kg tłuszczu wymaga 29 kg wdychanego tlenu i produkuje 28 kg dwutlenku węgla CO_2 oraz 11 kg wody H_2O . Wydechany dwutlenek węgla zawiera 8.4 kg węgla z tłuszczów i 19.6 kg tlenu, a tracona woda (w oddechu, pocie i wydalaniu) zawiera 1.6 kg tlenu z tłuszczów. W sumie zaledwie około 1/6 masy tracimy z usuwaną wodą, a 5/6 z oddechem.



Zużycie tlenu

Człowiek o masie 70 kg oddycha około 12 razy na minutę wydając około 33 mg CO_2 , w tym prawie 9 mg to węgiel. Biorąc pod uwagę zmienne tempo metabolizmu (sen, praca) wydychanych jest około 0.74 kg CO_2 , w tym z ciała usuwanych jest około 200 gramów węgla. Godzinne ćwiczenia zwiększające tempo metabolizmu około 7 razy pozwalają usunąć dodatkowo około 40 gramów węgla. Niewielka ilość dodatkowego pożywienia rekompensuje utratę tej masy.

Chociaż to daleka analogia możemy sobie wyobrazić, że płuca zasysają powietrze, dostarczając tlenu, podobnie jak gaźnik w samochodzie. W komórkach w wyniku złożonych reakcji chemicznych z udziałem cząsteczek tlenu dochodzi do procesu spalania, np. zamieniając cukier glukozę w wodę, dwutlenek węgla i tworząc cząsteczki ATP, które pozwalają na kurczenie mięśni i liczne reakcje chemiczne. Gazy usuwane są przez płuca przy wydechu. W samochodzie rozpylone paliwo zmieszane z tlenem ulega zapłonowi a rezultatem jest dwutlenek węgla, para wodna i inne gazy. Zawartość baku paliwa zamieniona w gazy jest usuwana z samochodu przez rurę wydechową. Atomy w związkach chemicznych nie giną, tylko łączą się w różne cząsteczki. Tylko w procesach jądrowych w wyniku

rozpadu ciężkich jąder dochodzi do powstawania nowych lżejszych pierwiastków i niewielkiego zmniejszenia się masy zamienianej na energię.

Liczba stanów, jakie może przyjąć mózg jest teoretycznie nieograniczona, w praktyce niezwykle duża - na pewno wystarczy by każdemu stanowi mentalnemu przypisać wiele stanów mózgu. Liczba rozróżnialnych stanów mentalnych jest trudna do oszacowania: jak można porównać, czy nasze wewnętrzne odczucie jest takie samo jak wcześniej doświadczone? Można to zrobić tylko w prostych przypadkach. Stanem mentalnym może być fizyczne odczucie związane z pobudzeniem zmysłów, postrzeżenie, intencja, chęć do działania, emocje. Nie potrafimy dobrze sklasyfikować czy opisać swoich stanów mentalnych, wymaga to rozróżnienia różnych zmieniających się w sposób ciągły stanów mózgu, więc trudno o opis werbalny, w którym każdemu stanowi przypisujemy jakieś słowo (por. np. E. Schwitzgebel [Perplexities of Consciousness](#), 2011).

Bardzo duże grupy neuronów muszą ze sobą współpracować (np. w korze ruchowej) by pojawiła się silna i jednoznaczna aktywność odróżnialna od szumu w centralnym układzie nerwowym, a zmiany aktywności pojedynczych neuronów, a więc nieco odmienny stan mózgu, nie ma tu znaczenia. Stanom mentalnym, które zdolni jesteśmy rozróżnić, odpowiada więc bardzo wiele stanów mózgu. Sytuację opisuje teoria detekcji sygnałów, oparta na Bayesowskiej statystyce. Dobrze to wyjaśnia ten wykład "[Neural Decoding and Signal Detection Theory](#)".

Liczba neuronów: rozbieżności w literaturze są znaczne, tu podaję oceny dla zwierząt z pracy G.M. Shepherd, *The Synaptic Organization of the Brain* (1998), i dla ludzi z pracy R. Lent i inn., "How many neurons do you have?" *European Journal of Neuroscience*, pp. 1–9, 2011. Liczba komórek gleju jest w pracy von Bartheld i inn. (2016).

- Robak *C. elegans*, który ma podobną liczbę genów co człowiek, ma [tylko 302 neurony](#),
- mrówki lub muchy już około 1/3 miliona.
- Karaluchy i pszczoły około miliona.
- Myszy mają mniej niż 100 mln neuronów i około 10^{12} synaps.
- Koty 760 mln neuronów i 10^{13} synaps, lwy ok. 5 mld.
- Psy w zależności od rasy mają kilka miliardów neuronów.
- Delfin butlonos ok 13 mld.
- Szympansy mają ok. 28 mld neuronów, orangutany ok. 33 mld.
- Homo sapiens ok 86 mld, a w korze nowej tylko 16 mld.
- Słoń afrykański ma ponad 250 mld neuronów.

[Lista zwierząt](#) uporządkowana w/g liczby ich neuronów.

Powierzchnia kory człowieka: ok. 2500 cm^2 ; delfiny, słonie i wieloryby mają znacznie większą powierzchnię kory. Względne proporcje 4 zewnętrznych pól nieco poniżej 40% kora czołowa i przedczołowa, 24% skroniowa, 24% ciemieniowa i 12% potyliczna. Wbrew dawniejszym hipotezom [kora czołowa człowieka](#) nie zajmuje proporcjonalnie więcej miejsca niż u małych człokształtnych. Za to proporcje kory ruchowej i przedczołowej są odmienne. W szczególności [pole BA10](#) zajmuje około 1.2% kory człowieka (14 cm^3) a u małych człokształtnych poniżej 0.74%. [Ten obszar](#) odpowiedzialny jest za wiele funkcji związanych z podejmowaniem decyzji, planowaniem i koordynacją równoległych procesów, pamięcią roboczą. Obszar ten ma też u człowieka więcej połączeń z innymi regionami mózgu (świadczą o tym gęstość białej materii) niż u małych naczelnych. Jego granularna budowa cytoarchitektoniczna występuje tylko u naczelnych.

Dorośli człowiek ma ok. 86 ± 8 mld neuronów w mózgu, w tym 69 ± 7 mld w mózdzku, około 16 ± 2 mld w korze, niecałe 2 mld w obszarach podkorowych (pień, śródmózgowie, jądra podstawy mózgu). Często pisano, że człowiek ma nieproporcjonalnie duży mózg. To zależy z kim się porównujemy.

Skalowanie masy, rozmiarów i liczby neuronów zgodne z regułami dla gryzoni daje przy masie ciała 70 kg masę mózgu tylko 145 gramów. Dla osiągnięcia 100 mld neuronów potrzebna by była masa mózgu ok. 45 kg. Liniowe skalowanie dla małych naczelnych pokazuje, że dla masy 75 kg i wielkości ludzkiego ciała mamy liczbę neuronów zgodną z oczekiwaniami (Azavedo i inn., 2009). To orangutany i goryle są wyjątkami, mają nieproporcjonalnie małe mózgi nie pasujące do liniowego skalowania! Ich mózgi mają 0.5-1% masy ciała, nasze 2%.

Dlatego poprzednie porównania alometryczne uwzględniając te gatunki pokazywały wielokrotnie większe mózgi niż należało się spodziewać!

[Synapsy neuronów:](#)

- kora 4000/neuron, 3×10^{13} połączeń,
- mózdzek 3×10^{12} połączeń,
- pozostałe 2×10^{13} połączeń,
- razem 5×10^{13} , czyli 50 bilionów, ale niektóre opracowania podają nawet 2.4×10^{14} , czyli 240 bilionów.

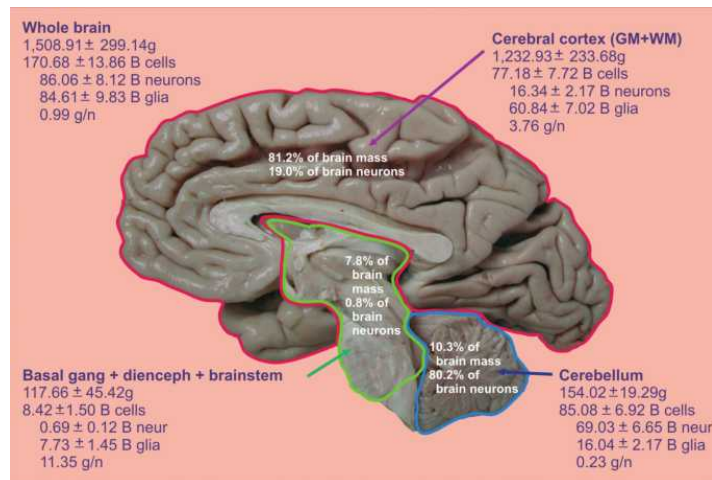
Około 3 roku życia człowiek ma 10^{15} synaps, liczba ta zmniejsza się kilkukrotnie wraz z wiekiem (uczenie następuje częściowo dzięki selekcji połączeń).

W szczytowym okresie powstaje 1-2 mln nowych połączeń na sekundę!

Milimetr sześcienny kory zawiera około 50.000 neuronów; typowy wksel w analizie rezonansu ma $5-8 \text{ mm}^3$, więc zawiera 250-400 tysięcy neuronów. Jeśli mamy ok. 6000 synaps/neuron to w milimetrze sześciennym mamy 300 mln synaps a w woksle 1.5-2.4 mld synaps. W badaniach za pomocą rezonansu MRI widzimy więc ogromnie dużo neuronów i synaps.

Półowa komórek w mózgu to komórki gleju, które też się między sobą komunikują, chociaż stosunkowo powoli. Przekonanie, że komórek gleju jest 10 razy więcej niż neuronów okazało się pomyłką, nowsze techniki oceniają ich liczbę na zbliżoną do liczby neuronów ([J. Computational Neurology 524\(18\), 2016](#)).

[Mózg Einsteina](#) miał nieco więcej komórek glejowych niż przeciętnie w obszarach ciemieniowych, ale różnice nawet o czynnik dwa w masie mózgu (1 lub 2 kg) nie mają większego wpływu, czemu z komórkami gleju miało być inaczej? Porównania liczby komórek gleju w mózgu [Einsteina były krytykowane](#).



Dla myszy: 16 milionów neuronów, średnio 7800 synaps/neuron (w/g Braitenberg, Schüz 1998).

Pojedyncza synapsa daje mały wkład do całkowitego [potencjału postsynaptycznego \(EPSP\)](#); potrzeba 5-300 niemal jednoczesnych pobudeń by wywołać impuls.

Kora wzrokowa szczura: wkład synapsy rzędu 0.8mV, a minimalnie konieczna jest depolaryzacja rzędu 20mV.

[Substancja biała](#) to skupiska aksonów i dendrytów, które otoczone są osłonką mielinową, zwiększającą szybkość przewodnictwa nerwowego.

W wieku 20 lat mężczyźni mają średnio około 175 tysięcy km białych włókien, kobiety 150 tys. km (Marker i inni 2003). Cienkie włókna zanikają w tempie ok. 1% rocznie więc w wieku lat 80 ich długość jest już poniżej 100 tys. km.

Czasy reakcji dzięki zanikowi cienkich włókien się skracają - energia neuronalna pobudza mięśnie nie rozpraszając się po drodze, jednakże powyżej 40 roku życia procesy neurodegeneracyjne powodują stopniowe spowalnianie czasów reakcji.

[Pojemność pamięci człowieka](#): naiwne oszacowanie, traktując stan każdej synapsy jako 10 bitów informacji,

jest rzędu $10 \times 10^{14} = 10^{15}$ bitów = 1 Petabit.

Oszacowanie tempa świadomego przepływu informacji (nieświadome jest znacznie większe).

Wzrok dostarcza nie więcej niż 5000 bitów/sek, pozostałe zmysły tylko 100 bitów/sek,

Oszacowanie: 5 sakkad/sek, pole ostrego widzenia to 2 stopnie;

Księżyc ma 1/2 stopnia łuku, widać na nim ok. 12 elementów o wielkości $0.5/12 = 0.04$ stopnia.

W polu widzenia jest $(2/0.04)^2 = 2500$ pikseli, max. 20 bitów/pikseli, ok. 50 kbit/pole.

Zapamiętanie takiego obrazu wymaga ok. 10 sek, czyli szybkość to ok. 5 kbit/sek. W ciągu 60 lat życia daje to około 10 Terabitów.



Ile widać tu elementów?

Naiwne oszacowanie mocy obliczeniowej mózgu można zrobić tak: jeśli 10^{14} połączeń zmieni swój stan 100 razy na sekundę (100 Hz to bardzo wysoka częstość w mózgu), to daje to 10^{16} operacji/sek = 10 Petaflopów. To raczej zawyżone oszacowanie, bo neurony nie działają niezależnie, w danej chwili silnie pobudzonych neuronów może być zaledwie 1%, operacje w komputerze są na 32, 64 lub 128 bitach jednocześnie, więc równoważna moc obliczeniowa raczej nie przekracza 1 PFlopa.

Takie rozważania nie mają jednak wielkiego sensu, bo sposób działania mózgu różni się znacznie od zwykłego komputera, ale też od systemów neuromorficznych. W komputerze mamy zegar, wszystko działa zgodnie z jego taktami, do centralnego procesora ładowane są instrukcje i dane z pamięci. W mózgu nie ma takiego zegara, procesy są asynchroniczne, dane nie są zapisane w komórkach pamięci tylko w sposób rozproszony, wzorce aktywacji rozległych sieci neuronowych są odpowiedzialne za przywołanie złożonych struktur pamięciowych, a nie danych, które przechowywane są w izolowany od siebie sposób w pamięci komputera. Słowo "pamięć" ma więc całkiem inne znaczenie w neurobiologii i informatyce.

W przypadku komputerów mamy standardowe zadania, wiadomo ile potrzeba wykonać operacji by je rozwiązać, możemy więc zmierzyć czas ich wykonania i porównywać szybkość komputerów. W przypadku mózgu nie mamy takich zadań, które moglibyśmy użyć by ocenić szybkość działania mózgu oceniając ile operacji wykonał w ciągu sekundy. Możemy jedynie porównywać czasy reakcji na różne bodźce czy szybkość wykonywania pewnych działań logicznych, ale nie wiemy ile operacji musi wykonać mózg by je rozwiązać. Szybkie reakcje możliwe są w 100-200 milisekund, co pozwala na jedynie 10-20 kroków (w każdym zmienia się globalny stan aktywacji mózgu, następuje synchronizacja licznych obszarów).

Szczegółowe symulacje działania neuronów za pomocą komputera wymagają oczywiście wielkich mocy obliczeniowych. Neurony mają skomplikowaną geometrię, tysiące receptorów na swoim ciele, setki różnych typów kanałów jonowych, reagujących na obecność neurotransmiterów lub napięcie na błonie neuronu, zachodzą w nich liczne reakcje biochemiczne. Sztuczne neurony realizowane

programowo lub sprzętowo (neurochipy) są bardzo uproszczonym modelem tego jak z pobudzeń docierających do neuronu tworzy się potencjał czynnościowy, pobudzenie przesyłane do innych neuronów.

Mózg zbudowany na obwodach VLSI oceniany był koło 2010 roku na 10x10x32 metry, 10 TB RAM, 1-10 Pflopów (1 Pflop = 1000 mld operacji na długich liczbach na sekundę).

Najszybszy superkomputer [Summit](#) w 2019 roku oferował moc obliczeniową rzędu 200-1000 Pflopów używając 9 216 procesorów IBM POWER9 i 27 648 procesorów graficznych Nvidia Tesla V100 (2 397 824 rdzeni CPU+GPU) oraz 10 petabajtów pamięci RAM i 250 PB pamięci dyskowej, oraz potrzebując 13 MW mocy. Najnowszy i najszybszy (2022) superkomputer "Frontier" (Oak Ridge National Lab, USA) ma podobną liczbę procesorów CPUs, ale prawie 9 mln rdzeni, potrzebuje 21 MW mocy, i wykonuje ponad miliard miliardów (10^{18}) złożonych operacji na sekundę. To ponad 50 Gflop (miliardów operacji) na wat, czyli około 1 Pflopa na 20 Watów.

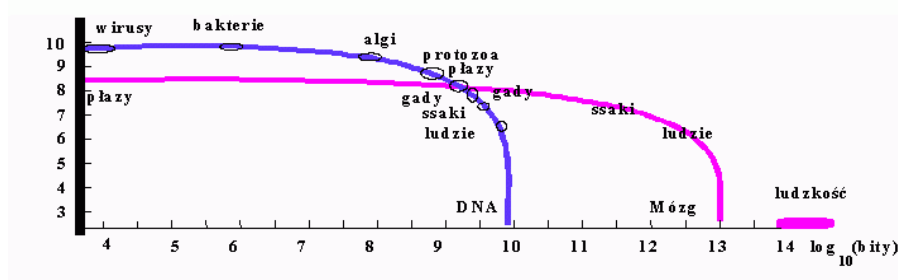
Takie szybkości przekraczają znacznie możliwości działania mózgu a efektywność w stosunku do potrzebnej mocy jest podobna. Dlaczego więc superkomputery nie potrafią jeszcze wykonać wszystkiego, co ludzkie mózgi? Architektura komputerów i sieci neuronów jest całkiem inna. Neurony działają powoli, w skali milisekund, za to jest ich bardzo dużo i mają pomiędzy sobą bardzo wiele połączeń. W 2020 roku istniały już neuromorficzne układy scalone, takie jak IBM TrueNorth czy Intel Loihi, na których można zbudować [kognitywne komputery](#). Najnowsze procesory [Cerebras CS-1](#) mają 1.2 biliona tranzystorów na jednej płytce, a CS-2 ma aż 2.6 bln tranzystorów i prawie milion rdzeni - to już jest porównywalne z 3 mln kolumn korowych mózgu człowieka. W ciągu dekady możliwości technologiczne budowy sztucznych mózgów zbliżyły się więc znacznie do biologicznych.



Superkomputer

Samoloty nie muszą być dokładnie modelami ptaków by szybciej latać. Kasparov przegrał z [Deep Blue](#) wykonującym zaledwie miliardy operacji na sekundę, więc szybkość obliczeń przeznaczona na procesy kojarzeniowe i myślenie jest tylko tego rzędu. Przegrana mistrzów świata w GO z programem AlphaGo Zero nie wymagała takich mocy obliczeniowych.

Wyzwania dla symulacji komputerowych ludzkiego mózgu są związane ze skalą, złożonością, szybkością i integracją modeli na różnym poziomie złożoności ([Nature 571, S9, 2019](#)).



Ilość informacji genetycznej (w bitach) wykreślona w zależności od daty powstania (linia niebieska), oraz ilość informacji pozagenetycznej, gromadzonej w mózgach (linia czerwona). Na osi pionowej czas w latach w skali logarytmicznej. Informacja genetyczna przez ostatni milion lat nie uległa istotnemu zwiększeniu, podczas gdy informacja pozagenetyczna ciągle rosła.

Oszacowania neuroanatomiczne: mózg maksymalizuje ilość połączeń.

Jeśli każdy neuron połączyć z każdym innym to wypełnią kulę o promieniu 80 metrów!

Jeśli między neuronami założyć 10.000 przypadkowych połączeń na neuron to nadal będzie kula o promieniu kilka metrów.

Wniosek: mózg ma specyficzną strukturę, chaos może panować w małej skali, ale w dużej skali panuje porządek i tylko nieliczne obszary się ze sobą komunikują.

Jakby nie patrzeć geny nie mogłyby określić dokładnie budowy nawet 1/1000 wszystkich synaps.



A10.5. Homeostaza i pień mózgu



Z funkcjonalnego punktu widzenia do przeżycia potrzebna jest:

- informacja o stanie wewnętrznym do regulacji stanu organizmu (homeostaza, AUN, podwzgórze);
- receptory i efekторы 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).

Koordynacja różnych funkcji w organizmach wielokomórkowych wymagała rozwinięcia podstawowych mechanizmów regulacyjnych. Regulacja procesów pozwalających utrzymać organizm przy życiu zachodzi na wielu poziomach, od genetyki i epigenetyki oraz

mechanizmów komórkowych, przez procesy metaboliczne, regulację poziomu wszystkich pierwiastków niezbędnych do prawidłowego funkcjonowania (żelazo, miedź, wapń, sód, potas itd.), oraz poziomu różnych hormonów i neurotransmiterów, ciśnienia krwi, natlenienia, poziomu dwutlenku węgla i innych gazów, insuliny, licznych płynów, kwasów żołądkowych, wydalania, temperatury ciała i wielu parametrów fizjologicznych. Jesteśmy świadomi tylko tych procesów, które można zmienić przez reakcje behawioralne. Pragnienie, głód, ból czy chęć wypróżnienia popychają nas do działania. W wielu przypadkach nieświadomie szukamy pożywienia zawierającego potrzebne organizmowi pierwiastki (np. sól, zawierającą sód), ale niezdolność do uświadomienia sobie, czego potrzebujemy ma tragiczne skutki.

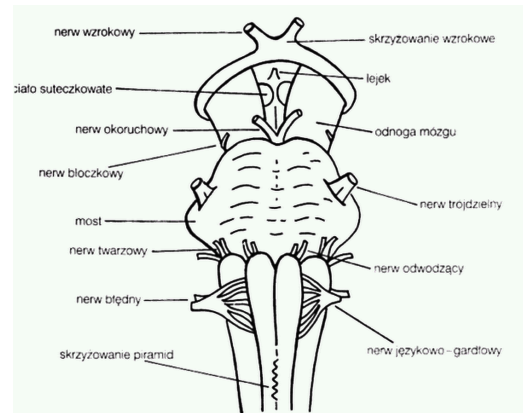
Równowaga złożonych procesów nie daje się często utrzymać bez przygotowania na zmiany. Dlatego pojawiło się pojęcie równowagi dynamicznej, określanej jako [allostaza](#), czyli utrzymanie równowagi przez przygotowanie się do zmian. Dobrym przykładem są rytmy okołodobowe, które są dość regularne, więc organizm może nauczyć się przewidywać potrzeby o różnej porze. Ciśnienie krwi i tętno może się chwilowo znacznie podnieść w sytuacji zagrożenia. Reakcje na różnorodne wymagania środowiska zależą od bardzo wielu indywidualnych czynników, od genetyki, procesów rozwojowych, doświadczeń z dzieciństwa, do ostatnio przeżytych doświadczeń, tak trywialnych jak picie kawy. Szybkość powrotu do równowagi homeostatycznej jest bardzo istotna, tego typu parametry badane są w czasie badań medycznych.

Brak witaminy C wywołuje [szkorbut](#), odpowiedzialny za śmierć około dwóch milionów żeglarzy pomiędzy 16 a końcem 18 wieku ... Magellan stracił 210 z 230 marynarzy swojego statku, głównie z powodu szkorbutu. Nasze receptory poziomu witaminy C, podobnie jak wielu innych substancji, nigdy się nie rozwinęły. Ewolucja mogła wyeliminować te organizmy, które nie reagowały na niebezpieczne bodźce, ale braki witaminy C powodują chorobę dopiero po miesiącu, a w zimie w umiarkowanym klimacie i tak nie było dobrego źródła witamin. Owoce cytrusowe nie dały się przechowywać bez chłodzi, a kiszona kapusta znana jest dopiero od paru tysięcy lat.

Pień i podstawa neuronalna, zawierającą podstawowe układy regulujące [homeostazę](#) organizmu nazywany jest też "zespołem R" (od Reptilians, gady). Zespół R jest bardziej pierwotny niż obszary mózgu kontrolujące emocje, mają go już zwierzęta zimnokrwiste.

Pień mózgu wpływa na pozostałe obszary zarówno przez bezpośrednią stymulację jak i regulację poziomu różnych neurotransmiterów oraz nieswoiste pobudzenia większych obszarów mózgu.

W części przedniej widzimy głównie wejścia i wyjścia różnych wiązek nerwów prowadzących do i od rdzenia. Przechodzą tędy wszystkie nerwy kontrolujące ruchy mięśni, oprócz pionowego ruchu oczu. Większość uszkodzeń tego obszaru prowadzi do paraliżu lub niedowładów różnych grup mięśni.



Pień mózgu z przodu

Swoiste (specyficzne) drogi nerwowe biegną od receptorów przez pień mózgu i wzgórze do pól receptywnych kory (np. droga wzrokowa, słuchowa, smakowa i węchowa), przez nieliczne pośrednie synapsy, działając szybko i oddzielając strumienie informacji o różnych modalnościach. Wywołuje to szybkie, pierwotne aktywacje kory zmysłowej.

Nieswoiste (niespecyficzne) drogi nerwowe prowadzą do [tworu siatkowatego](#), który otrzymuje informacje od wszystkich zmysłów i dzięki temu przez drogi wstępujące biegnące przez wzgórze może pobudzić liczne obszary kory, przygotowując je do analizy specyficznych bodźców. Jest to potencjał wtórny, pojawiający się 20-80 ms po potencjale pierwotnym. Jądra w przedniej części mostu wydzielają acetylocholinę (ACh), która wpływa hamująco na aktywność połączonego z nimi jądra siatkowatego wzgórza. Efektem jest przesłanie do kory dodatkowych sygnałów powodujących desynchronizację zachodzących tam procesów i ułatwiających proces poszukiwania interpretacji dochodzących bodźców (Sadowski, 2005).

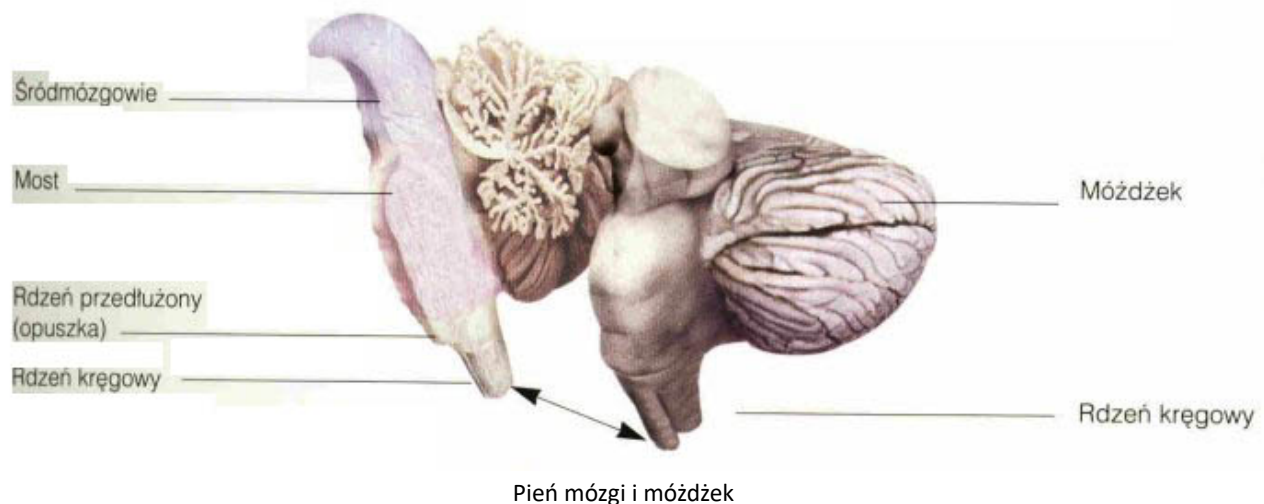
3. Struktury tworu siatkowatego.



Budowa pnia mózgu: trzy główne struktury patrząc od rdzenia to:

- [rdzeń przedłużony \(Medulla oblongata\)](#),
- [most \(pons\)](#) i
- [śródmózgowie \(mesencephalon\)](#).

Jego naturalnym przedłużeniem jest [międzymózgowie](#) obejmujące wzgórze, szyszynkę, przysadkę i okolice przylegające do trzeciej komory mózgu, pomiędzy przednim i tylnym spoidłem.



- **Rdzeń przedłużony** zawiera jądra kontrolujące funkcje odruchowe: oddychanie, ciśnienie tętnicze, ssanie, żucie, połykanie, kontrola odruchów wymiotnych, kichania, kaszlu, ziewania, wydzielania potu.
- Jądra oliwek w rdzeniu przedłużonym obliczają informację słuchową, szczególnie różnice czasu dotarcia dźwięków do lewego i prawego ucha, co umożliwia przestrzenną lokalizację bodźców słuchowych.

Ośrodki oddechowe w pniu mózgu: jądro pasma samotnego w tylnej (grzbietowej) części rdzenia przedłużonego wysyła projekcje do jądra dwuznacznego (nucleus ambiguus) a stamtąd przez rdzeń do mięśni kontrolujących ruch klatki piersiowej przy wdechu.

Drugi ośrodek oddechowy mieści się w jądrze dwuznacznym i jądrze zadwuznacznym (nucleus retroambiguus), kontroluje zarówno wdech jak i wydech.

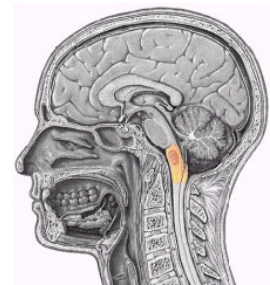
Nieprawidłowe działanie tych jąder powoduje zaburzenia oddychania, np. **bezdech śródsenny**, na który cierpi ok. 4% mężczyzn i 2% kobiet.

Jeśli zatrzymanie oddechu trwa dłużej niż 10 sekund 10 razy w ciągu godziny spada ilość tlenu we krwi a wzrasta ilość dwutlenku węgla. Prowadzi to do senności w ciągu dnia, trudności w koncentracji uwagi, zaburzeń pamięci i bólów głowy.

Ośrodki oddechowe są dość odporne na uszkodzenia pnia mózgu, ale mogą ulec uszkodzeniu w wyniku udaru.

Niemowlęta muszą dobrze kontrolować odruchy wykrztuśne by mleko nie zalało im płuc;

prawdopodobnie błędy działania tego systemu odpowiedzialne są za **zespół nagłej śmierci łóżeczkowej**, chociaż jest też kilka innych hipotez.



Rdzeń przedłużony

Kichanie: w wyniku podrażnienia błony śluzowej nosa następuje stymulacja **nerwu trójdzielnego** wywołująca odruch kichania, może go też wywołać **światło słoneczne** (u 1/4-1/3 populacji).

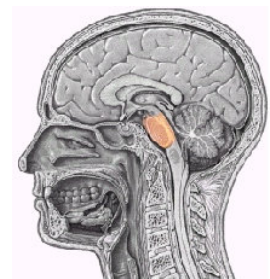
Główne struktury zaangażowane w ten odruch są w rdzeniu przedłużonym, to okolica **jądra samotnego** (kichanie wiąże się z oddechem) i jądra nerwu trójdzielnego.

Okoliczne obszary (jądro dwuznaczne i jądro samotne) zaangażowane też są w odruch połykania.

Ośrodek wymiotny mieści się w rdzeniu przedłużonym i jest znacznie bardziej skomplikowany: chemoreceptory w polu najdalszym (to jeden z **narządów okołokomorowych** na dnie czwartej komory) reagują na substancje w krwi, gdyż w tym obszarze **bariera krew-mózg** jest nieuszczelniona. Ośrodek wymiotny otrzymuje informacje z **jąder przedsionkowych** (zmysł równowagi), mózdzku, jądra nerwu trójdzielnego, jądra samotnego, jąder ślinianek, ośrodków oddechowych, a wysyła informacje do jąder w moście, jądra dwuznacznego a także jąder kontrolujących ruch mięśni twarzy.

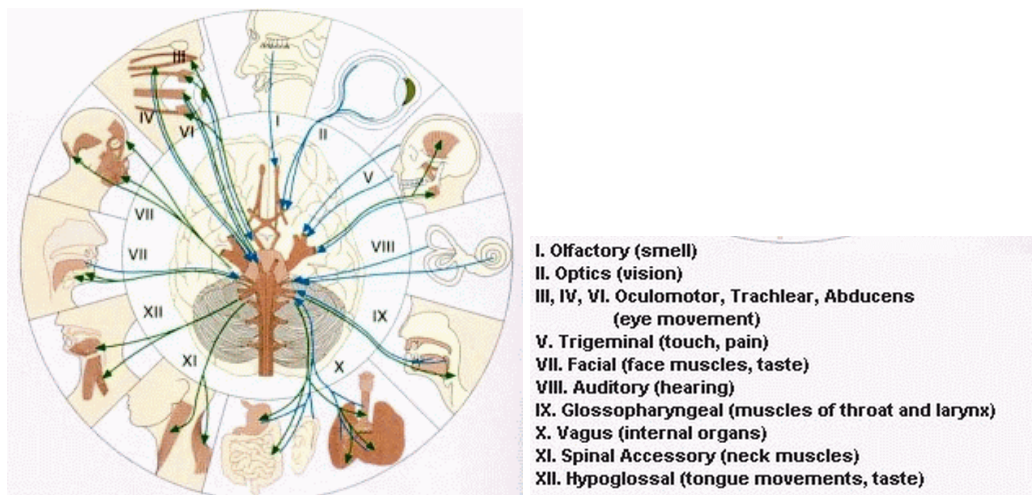
Uwaga, wymioty !

- **Most** pokryty jest od zewnątrz oponami mózgowo-rdzeniowymi, stąd jego wygląd.
- Łączy się z konarami środkowymi mózdzku i konarami górnymi mózdzku biegnącymi do śródmózgowia.



W. Hamilton

Przez przednią część mostu przebiegają liczne **szlaki nerwów czaszkowych**. Wstępne przetwarzanie bodźców przed dojściem do wzgórza to rola jądra: podjęzykowego, językowo-gardłowego, grzbietowe nerwu błędnego, przedsionkowo-ślimakowego, twarzowego, odwodzącego, jądra nerwu trójdzielnego, oraz jądra dwuznacznego i jądra samotnego, oraz licznych jąder produkujących neurotransmitery i kontrolujących działanie całego mózgu.



12 nerwów czaszkowych

Most dostarcza [mózdkowi](#) informacji o sygnałach sterujących mięśniami, mózdek przesyła dodatkowe sygnały modyfikujące szczegóły skurczów mięśni.

Uszkodzenia podstawy mózgu mogą prowadzić do niekontrolowanych krótkich epizodów płaczu (rzadziej śmiechu), może to być zapowiedzią udaru pnia mózgu.

Niektóre uszkodzenia mogą doprowadzić do specyficznych gwałtownych ruchów gałki ocznej (częściej jest to jednak związane z uszkodzeniami śródmózgowia).

Nie poruszyliśmy tu wielu tematów, np. termoregulacji organizmów zmiennie i stałocieplnych przez regulację przepływu krwi, pętli sprzężeń zwrotnych umożliwiających regulację. Ogólne mechanizmy homeostazy opisane są w wykładach "Boundless Biology" [na platformie Lumen](#).

Utrzymanie homeostazy jest najważniejsze dla przeżycia organizmu. Służą temu wszystkie systemy regulacyjne: chemiczny (hormony, neurotransmitery), immunologiczny (limfocyty), mikrobiota jelitowa, autonomiczny układ nerwowy jak i centralny układ nerwowy. Homeostaza to nie tylko mechanizmy regulujące poziom wody czy glukozy, sodu czy potasu. Nerki zwalniają filtrację, hormony rozkładają komórki tłuszczowe dostarczając energii, ale jednocześnie pojawiają się sygnały, które wpływają na zachowanie całego organizmu. Zwierzęta potrafią zauważyć suchość w jamie gębowej i zaczynają poszukiwać wody. W porze suchej wielkie stada zwierząt przemieszczają się na duże odległości by znaleźć źródła wody, a to wymaga pamięci przestrzennej.

Częścią regulacji homeostatycznej są wszystkie odczucia płynące z ciała, ale również uczucia, które stanowią motywację do działania potrzebnego dla utrzymania dobrostanu organizmu w tych sytuacjach, w których autonomiczne mechanizmy nie wystarczą. Mechanizm powstawania uczuć opisał szczegółowo Damasio w książce "Odczuwanie i poznawanie" (2022).



A10.6. Hormony i neurotransmitery.



Działanie mózgu można też próbować zrozumieć na poziomie mechanizmów fizjologicznych, sterowanych przez układ dokrewny, czyli [hormonalny](#). Hormony mogą działać lokalnie, na komórki je wydzielające, na sąsiednie komórki, ale większość działa globalnie, regulując procesy zachodzące w całym organizmie. Niektóre działają dość szybko, w skali kilku sekund, inne powoli, zmieniając predyspozycje organizmu na wiele dni a nawet lat (np. w okresie dojrzewania).

Neurotransmitery działają w ciągu ułamków sekund, wydzielane są lokalnie w międzysynaptyczne szczeliny, lub wędrują z jąder pnia mózgu lub międzymózgowia do różnych obszarów kory. Znanych jest [około 30 molekuł, pełniących rolę neurotransmiterów](#), i kilka razy więcej neuromodulatorów wpływających na procesy synaptyczne. Do tej kategorii zalicza się też niektóre hormony. Neurotransmitery wiążą się z receptorami neuronów zmieniając przepływ jonów do i z ich wnętrza, zmieniając pobudliwość neuronów. **Hormony mają bardziej złożone działanie**, mogą wpływać na ekspresję genów, produkcję i aktywność różnych białek, zmieniać procesy metaboliczne pobudzając komórki do wzrostu lub śmierci. Na przykład jedną z funkcji testosteronu jest pobudzanie rozwoju mięśni, a różne hormony stresu mogą uszkodzić komórki układu immunologicznego, sprzyjając rozwojowi chorób. Częsteczek hormonów mają swoje receptory, do których się mogą doczepić, zmieniając właściwości białek i całych komórek w określonych częściach ciała. Zaburzenia hormonalne mogą więc dotyczyć zarówno ilości wytwarzanych hormonów jak i budowy receptorów, które reagują na ich obecność.

Widać więc podobieństwa i różnice pomiędzy układem hormonalnym i układem neuromodulacji. Interakcje tych obu układów są bardzo skomplikowane. Szczególną rolę koordynującą te procesy pełni [podwzgórze](#). Chociaż jest to niewielka struktura wydzielane przez nią liczne hormony i neurotransmitery regulują metabolizm, poczucie głodu i pragnienia, rytmy okołodobowe, sen, temperaturę ciała, popęd seksualny i zachowania opiekuńcze, wpływają na wiele aspektów relacji społecznych.

Przykładem takiej regulacji jest oś [podwzgórze-przysadka-nadnercza](#) (ang. hypothalamic–pituitary–adrenal axis, **HPA axis**). Aktywacja neuronów w mózgu odpowiedzialna za procesy psychiczne ma w ten sposób wpływ na układ hormonalny, wiele funkcji związanych z poziomem kortyzolu, stresem i zaburzeniami nastroju, depresją, chronicznym zmęczeniem. Bioelektryczno-biochemiczne ścieżki sygnałowe regulują procesy interakcji między fizjologicznymi a psychologicznymi procesami.

W ciele człowieka odkryto prawie [80 rodzajów hormonów](#), sama [przysadka mózgowa](#) produkuje przynajmniej 10 różnych hormonów, spełniających wiele funkcji. Hormony jak i neurotransmitery tworzą się w wyniku stosunkowo prostych reakcji z różnych prekursorów, głównie cholesterolu lub białek.

Nadnercza uwalniają duże ilości kortyzolu, oraz katecholaminy: [adrenalinę \(epinefrinę\)](#), [noradrenalinę](#) i [dopaminę](#).

Adrenalina uwalniana jest w dużych ilościach w przypadku silnych emocji, stresu, umożliwia pobudzenie szybkich reakcji na zagrożenie, przyspiesza bicie serca, podnosi ciśnienie krwi, rozszerza źrenice, oskrzela i krtań, reguluje poziom glukozy (cukru) we krwi.

Noradrenalina również zwiększa pobudzenie i czujność, przytomność, koncentrację, poprawia pamięć, wywołuje niepokój i stany lękowe. Jej efekty są podobne do adrenaliny: przyspiesza rytm serca, zwiększa ciśnienie krwi, poziom glukozy, dopływ krwi do mięśni, zmniejsza dopływ do układu pokarmowego, aktywność jelit i oraz hamuje opróżnianie pęcherza moczowego.

Dopamina ma wiele funkcji. Jest odpowiedzialna za napęd ruchowy, niedobór dopaminy występuje w chorobie Parkinsona, uniemożliwiając koordynację napięcia mięśni. Jest odpowiedzialna za procesy emocjonalne w układzie limbicznym, i wpływa na wyższe czynności psychiczne. W podwzgórzu wpływa na regulację wydzielania hormonów.

Nadnercza wytwarzają też niewielkie ilości androgenów ([testosteronu](#) i [androsteronu](#)).

[Chińczycy izolowali hormony płciowe](#) i hormony przysadki mózgowej, używając ich w celach medycznych już ponad 2200 lat temu.

Moda na substancje określane jako [suplementy nootropowe](#) opiera się na przekonaniu, że ich przyjmowanie zwiększa sprawność poznawczą mózgow.

Teoria 4 fluidów, czyli "humorów" [Hipokratesa](#) (~ 460-377 pne.), była do XIX wieku podstawą medycyny europejskiej i arabskiej.

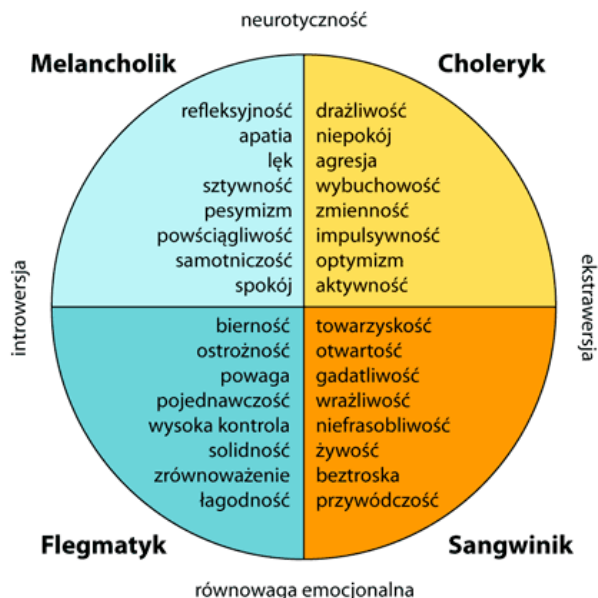
Krew, flegma, żółć, czarna żółć, miały być w równowadze, od której zależał [temperament człowieka](#).

- sangwiniczny (sanguis - krew): pogodny, zabawny, towarzyski, gadatliwy;
- choleryczny (od chole - żółć), czyli porywczy, energiczny, skłonny do przewożenia;
- melancholiczny (od melas chole - czarna żółć): uczuciowy, wrażliwy, depresyjny.
- flegmatyczny (od phlegma - śluz): powolny, zrównoważony, obserwator;



[Humory](#) wiązały się z porami roku, pierwiastkami i organami ciała, czyli z sensem wszystkiego:

Humor	Pora roku	Pierwiastek	Własności	Organ	Nazwa
Krew	Wiosna	Powietrze	Ciepły i wilgotny	Wątroba	Sangwiniczny
Żółć	Lato	Ogień	Ciepły i suchy	Pęcherzyk żółciowy	Choleryczny
Czarna żółć	Jesień	Ziemia	Zimny i suchy	Śledziona	Melancholiczny
Flegma	Zima	Woda	Zimny i mokry	Mózg/płuca	Flegmatyczny



Współcześnie **4 humory można powiązać z psychologiczną teorią osobowości** opartą na kwestionariuszu [Myersa-Briggsa](#), uwzględniającą 4 cechy, nazywane wymiarami:

- Ekstrawersja/Introwersja, czyli nastawienie na zewnątrz lub do wewnątrz (dynamika wewnętrzna czy sterowana z zewnątrz).
- Poznanie szczegółowe, przez badanie czy poznanie intuicyjne (preferencje lewej i prawej półkuli, percepcjonista/intuicjonista).
- Myślenie/Odczuwanie, logika i przekonania, czy subiektywne reakcje emocjonalne w podejmowaniu decyzji (myśliciel/uczuciowiec).
- Osądzanie i planowanie czy obserwacja i elastyczne reakcje.

Dla 4 preferencji jest 16 możliwych kombinacji, więc można określić 16 typów osobowości oznaczanych kodami literowymi, np. trzy najpopularniejsze typy osobowości to:

- [ISFJ](#) (Introwertyk Percepcjonista Uczuciowiec Sędzia) to 13.8% populacji USA,
- [ESFJ](#) (Ekstrawertyk Percepcjonista Uczuciowiec Sędzia) to 12.3%, a
- [ISTJ](#), Introwertyk Percepcjonista Myśliciel Sędzia to 11.6% populacji USA.

Podstawą działania mózgu są jednak procesy biochemiczne, warto więc rozpatrywać mózg na poziomie molekularnym.

Można wyróżnić podsystemy oparte na różnych [neuroprzekaźnikach](#), niektóre z nich są też [hormonami](#): równowaga ich działania odpowiedzialna jest za [homeostazę](#).

Mamy dwa [autonomiczne układy nerwowe](#), sterujące funkcjami wegetatywnymi: [układ współczulny](#) (pobudzający, w którym działa [adrenalina](#) i [dopamina](#)), i [układ przywspółczulny](#) (hamujący, głównie [acetylocholina](#), która może też działać w niektórych obszarach mózgu pobudzająco).

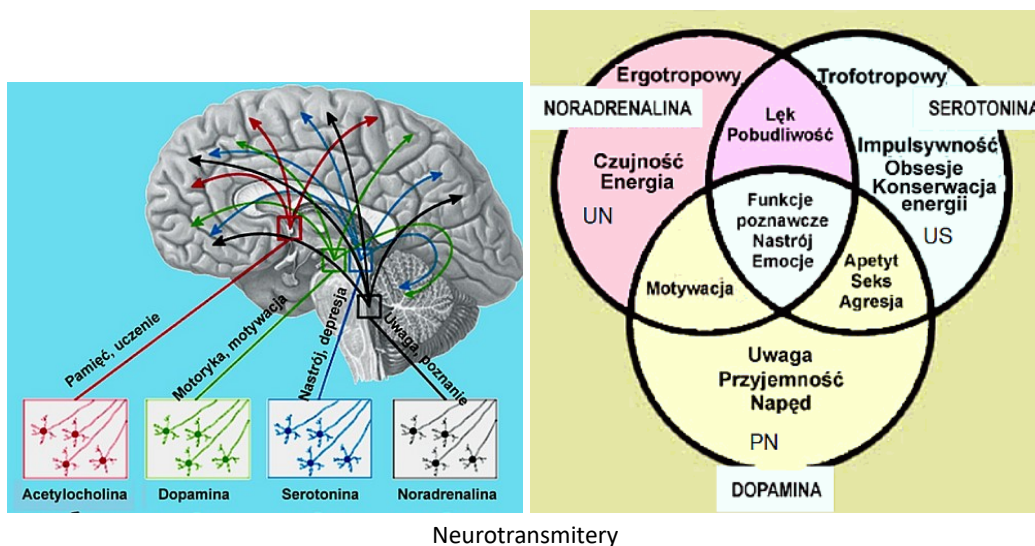
Mamy dwa podsystemy mózgu, w których dominuje dopamina i acetylocholina, przesyłana przez długie aksony (projekcje) do poszczególnych obszarów mózgu:

- emocjonalny, gdzie dominują niespecyficzne projekcje dopaminergiczne,
- racjonalny, gdzie mamy niespecyficzne projekcje cholinergiczne.

W pewnym stopniu te podsystemy można rozpatrywać jako nadbudowane na układzie autonomicznym.

Naruszenie równowagi tych systemów prowadzi do choroby psychicznej (I. Bohr, 2000).

4 humorom odpowiadają więc 4 inne substancje, 4 neurotransmitery, [acetylocholina](#), [dopamina](#), [serotonina](#) i [noradrenalina](#).



Dopamina przyczepia się do wybranych (swoistych) receptorów w błonie neuronu. Jej prekursorem wnikającym do mózgu jest tyrozyna. Nie pomaga w kreatywnym myśleniu, ale są dowody na to, że sprzyja myśleniu konwergencyjnemu (Colzato i inni 2015). Jej rola zależna jest od miejsca działania:

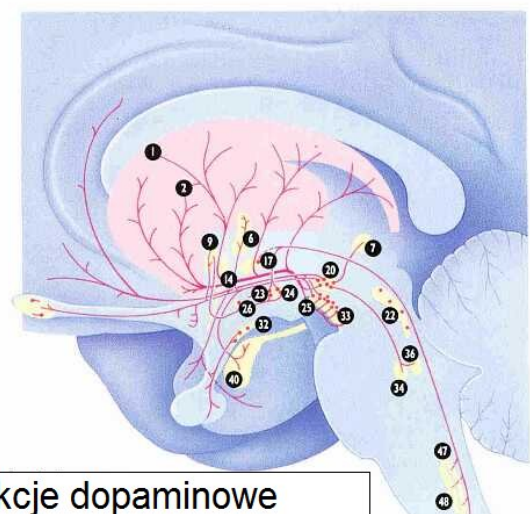
- w układzie pozapiramidowym (jądra podstawy mózgu, istota czarna, 22) dopamina odpowiada za napęd ruchowy, koordynację oraz napięcie mięśni (niedobór powoduje chorobę Parkinsona, wahania poziomu zespołu Tourette'a);
- W układzie limbicznym odpowiada za procesy emocjonalne, mechanizm nagrody i motywację do działania;
- w podwzgórzu (40) reguluje wydzielanie hormonów, a szczególnie [prolaktyny](#) (związanej z laktacją);
- dopamina w jądrze półleżącym (14) wywołuje poczucie euforii, stąd gra rolę w uzależnieniach (np. kokaina stymuluje wydzielanie dopaminy).

[Dopamina](#) uwalniana jest w kilku jądrach:

- [miejsca sinawym](#) pnia mózgu (48),
- [istocie czarnej](#) śródmózgowia (22),
- brzusznyemu polu nakrywki (33),
- [podwzgórzu](#) (40),
- [jądrze półleżącym](#) (14).

[Andrew Huberman o systemie dopaminowym](#) (YouTube) i skupianiu się na celach. Dopamina zwiększa aktywność niektórych obwodów mózgu i tłumi inne, wywołując efekt skupienia się na zadaniach i percepcji, zwiększając naszą motywację.

Błąd przewidywania nagrody dopaminy odgrywa kluczową rolę w naszym zachowaniu, ponieważ porównuje przewidywaną nagrodę z rzeczywistą otrzymaną nagrodą, wpływając na naszą motywację i poziom satysfakcji. Układy dopaminy i serotoniny odgrywają kluczową rolę w odczuwaniu radości i szczęścia. Kontrola działania własnego układu dopaminowego jest kluczowa w osiągnięciu samokontroli, realizacji zaplanowanych zadań..



Projekcje dopaminowe

[Acetylcholina](#) jest najważniejszym neuromodulatorem w obwodowym układzie nerwowym, przyczepia się do [receptorów nikotynowych](#) lub [muskarynowych](#).

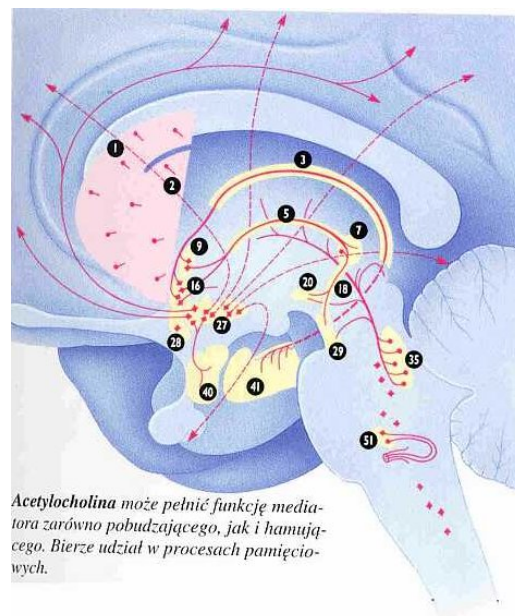
Acetylcholina powoduje:

- rozszerzenie naczyń krwionośnych
- skurcze mięśni gładkich oskrzeli, jelit i pęcherza moczowego
- zwężenie źrenicy
- zwiększenie wydzielania gruczołów
- skurcz mięśni prążkowanych (receptory nikotynowe)
- obniża ciśnienie krwi
- zwalnia częstość akcji serca
- zmniejsza siłę skurczu mięśnia sercowego

W CUN Ach działa jako neuromodulator, pobudzająco, w procesach konsolidacji pamięci, regulacji cykli snu, inicjacji snu REM.

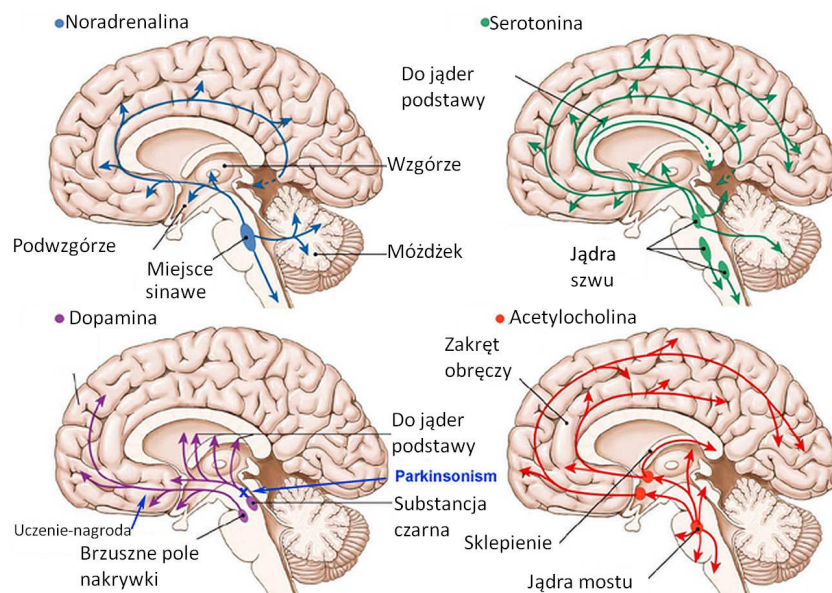
Uwalniana jest w:

- nakrywce pnia mózgu, w [jądrze konarowo-mostowym nakrywki](#) (35);
- [jądrze podstawnym Meynerta](#) (27)
- [jądrze przyśrodkowym przegrody](#) (16).



Acetylocholina może pełnić funkcję mediatora zarówno pobudzającego, jak i hamującego. Bierze udział w procesach pamięciowych.

Projekcje acetylocholinowe



Dominacja projekcji dopaminergicznych

Euforia, duża aktywność
Wysoka ekspresja emocji
[Mania](#), zachowania euforyczne

Dominacja projekcji cholinergicznych

Opanowanie; chłodna analiza
Niska ekspresja emocji
[Schizofrenia](#), depresja

Procesy emocjonalne

Procesy poznawcze

[Hipermnezja](#), brak selektywności,
chaos myślowy, niepewność

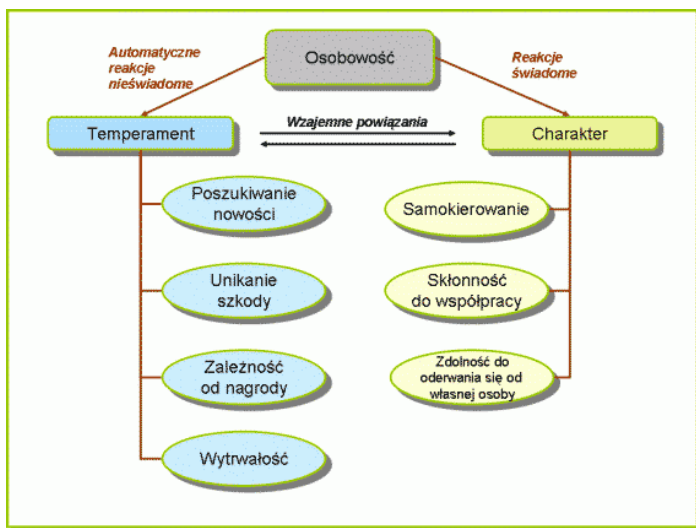
Lepsza pamięć, uczenie się,
percepcja, łatwiejsze kojarzenie

Osobowość jest wynikiem temperamentu, nieświadomych automatycznych reakcji uwarunkowanych genetycznie, oraz charakteru, określonego przez środowisko, świadomych reakcji.

[Temperament i Cechy Osobowości](#) w/g kwestionariusza [Cloningera](#): 4 wymiary opisujące temperament i 3 cechy charakteru.

1. Poszukiwanie Nowości (PN), aktywna reakcja, dopamina.

2. Szkoły (US), hamowanie działań szkodliwych, serotonina.
3. Uzależnienie od nagrody (UN), podtrzymywanie działań przyjemnych, noradrenalina.
4. Wytrwałość (WY), samodzielne podtrzymywanie podjętych działań.
5. Samokierowanie (SD), celowość i pewność.
6. Współpraca (CO), tolerancja, skłonność do pomagania.
7. Przekraczanie siebie (ST), autotranscendencja, duchowość.



Inne modele osobowości również opierają się na podobnych cechach.

Najlepsze uzasadnienie neurobiologiczne (por. prace [Colin G. DeYoung](#)) ma obecnie model "wielkiej piątki" (Big Five), uwzględniający pięć czynników definiujących osobowość.

Są to biologicznie uwarunkowane czynniki mające istotne znaczenie przystosowawcze, w znacznym stopniu dziedziczne, niezmiennie i uniwersalne (niezależne od płci, rasy, czy kultury).

Pięć wymiarów osobowości (nie są one całkiem niezależnymi czynnikami):

- Ekstrawersja-introwersja, intensywność, energia interakcji społecznych, czerpanie z tego pozytywnych emocji, w przeciwieństwie do zamknięcia się w sobie, ostrożności i nieśmiałości.
- Nastawienie ugodowe-antagonistyczne, współczujące i przyjacielskie, zamiast antagonistycznego i podejrzliwego.
- Sumienność i zorganizowanie, wytrwałość, planowanie, vs niedbałość, spontaniczności "jakoś będzie".
- Neurotyczność, nierównowaga emocjonalna, częsta ekspresja negatywnych emocji (gniewu, strachu, poczucia winy), silny stres w odróżnieniu od stabilności emocjonalnej, poczucia bezpieczeństwa i zaufania.
- Otwartość na nowe doświadczenia, przygody, ciekawość, chęć zmian vs. ostrożność i konserwatyzm.

Oceny osobowości różnych ludzi zwykle uwzględniają te 5 wymiarów, ale oceny polityków tylko dwa: czy są energetyczni i godni zaufania (Politicians' uniquely simple personalities, Nature, February 6, 1997).

Zdrowie psychiczne to kwestia delikatnej równowagi ...

Na osobowość może wpłynąć zmiana ukrwienia mózgu, np. mikroudar, który spowoduje brak dopływu krwi do jakichś struktur, lub znacznie silniej przeszczep serca, które będzie w inny sposób zasilać mózg.

Mogą też na nią wpłynąć zmiany w biochemii organizmu, np. usunięcie pęcherzyka żółciowego. Wszelkie zmiany w organizmie jak i zmiany środowiskowe mogą wpłynąć na zmiany funkcjonalnych relacji pomiędzy różnymi obszarami mózgu, a to wpływa na osobowość. Można w ten sposób zrozumieć wiele ogólnych skłonności, form zachowania, ale czy to zrozumienie poprawne lub jedyne? Korelacje poziomu neurotransmiterów i ich wzajemne proporcje są ważne, ale nie wyjaśniają mechanizmów kontroli zachowania. Potrzebny jest dokładniejszy model przepływu informacji i jej interpretacji.

Każdy fakt ma proste wyjaśnienie, niestety zwykle błędne ...

Przykład: [psychoanaliza](#). Brak możliwości weryfikacji, więc wyjaśnia wszystko i nic - pseudonauka, zwykle pomocna nie bardziej niż wieczór przy piwie w pubie.

A jednak psychoterapia (również psychoanaliza) może wywoływać pozytywne skutki, jeśli tylko człowiek pragnie się zmienić i silnie się pobudzi emocjonalnie, nieważne czy z prawdziwych czy czysto wymagowanych powodów, stwarza to szansę zmiany. Mózg zmienia się dzięki neuroplastyczności.

[Mapa pojęć neuro-psycho](#) pokazuje podstawowe pojęcia związane z procesami zachodzącymi w mózgu, ich oceną, oraz ich powiązaniem z konstruktami psychologicznymi.

W pniu zidentyfikowano 9 jąder serotonergiczných, czyli wydzielających neurotransmitter [serotoninę \(5-HT, 5-hydroksytryptamina\)](#). Jądra produkujące serotoninę:

22- [jądra szwu](#) (raphe nucleus), 9 par w całym pniu;

34- [miejsce sinawe](#) (locus coeruleus);

36- [jądro przyramienne](#) boczne;

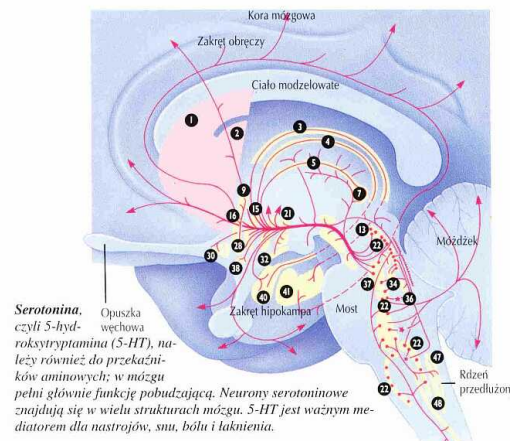
37- [jądro górne środkowe](#) (nucleus intercalatus);

47- [jądro pasma samotnego](#).

Projekcje tych jąder zmierzają do podwzgórza (21), układu limbicznego: ciała migdałowatego (40), hipokampu (41), zakrętu obręczy, jądra ogoniastego (1) i skorupy (2).

W mózgu (80% serotoniny jest w jelitach) gra ważną rolę w regulacji faz snu, nastroju, apetytu, odruchu wymiotnego i popędu seksualnego. Zaburzenia poziomu serotoniny wiążą się z depresją, migrenami, stanami lękowymi, oraz [cyklofrenią \(zaburzeniem afektywnym dwubiegunowym\)](#).

Układ serotoninowy jest aktywowany przez natychmiastowe nagrody i pozytywne doświadczenia.



Projekcje serotoninowe

[Miejsce sinawe](#) (34), położone z tyłu (grzbietowo) mostu, o rozmiarach ok. 10-14 mm, jest najważniejszym jądrem produkującym [noradrenaline](#) (norepinefrynę), neurotransmitter regulujący stopień pobudzenia mózgu jak i niektóre funkcje autonomiczne (np. [termoregulację](#)). Podwyższona wrażliwość na działanie noradrenaliny w części podstawno-bocznej jąder migdałowatych (40) jest odpowiedzialna za stany lękowe wynikające ze stresu, w tym za ostry [zespół stresu pourazowego](#) (posttraumatic stress disorder, PTSD). Norepinefryna jest też powiązana z pobudzaniem wydzielania dopaminy. Przerywany post stymuluje uwalnianie norepinefryny i zwiększa dopaminę, tworząc poczucie oczekiwania i zachowania zorientowane na cel.

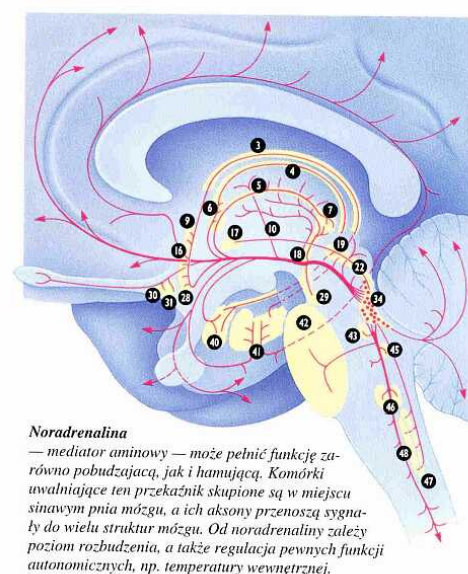
Silny stres zaburza działanie jądra sinawego.

PTSD może rozwijać się powoli, od tygodni do miesięcy, wywołując opóźnione reakcje stresowe, poczucie odrętwienia i przytępienia uczuciowego, niezdolność do przeżywania przyjemności, bezsenność, lęki i stany depresyjne, nawroty przeżyć urazowych sytuacji, a nawet załamanie i brak reakcji na otoczenie.

Leki na depresję, stany paniki, fobie i silne lęki działają na miejsce sinawe. Zaburzenia działania tego jądra obserwowane jest też w chorobie Parkinsona, Alzheimera (utrata nawet 70% neuronów w tym obszarze) i syndromie Downa.

Miejsce sinawe związane jest też z regulacją faz snu REM.

Jądra pnia mózgu dostarczają wiele neurotransmiterów do wielu obszarów mózgu, wpływając w globalny sposób na aktywację całego mózgu. Część neurotransmiterów syntezowana jest też lokalnie w neuronach, modulując sposób działania specyficznych sieci neuronowych.



Projekcje noradrenalinowe

A10.7. Twór siatkowaty i zaburzenia świadomości

[Twór siatkowaty](#) znajduje się w grzbietowej części pnia mózgu. Neuronów są tam słabo rozgałęzione, w wielu miejscach rozproszone, aksony mogą być wstępujące lub zstępujące.

Wyodrębniono aż 96 jąder tworzącego siatkowatego, w tym liczne [jądra szwu](#) (1-4, 6), różne jądra siatkowate (8-14), [jądro miejsca sinawego](#) i wiele innych.

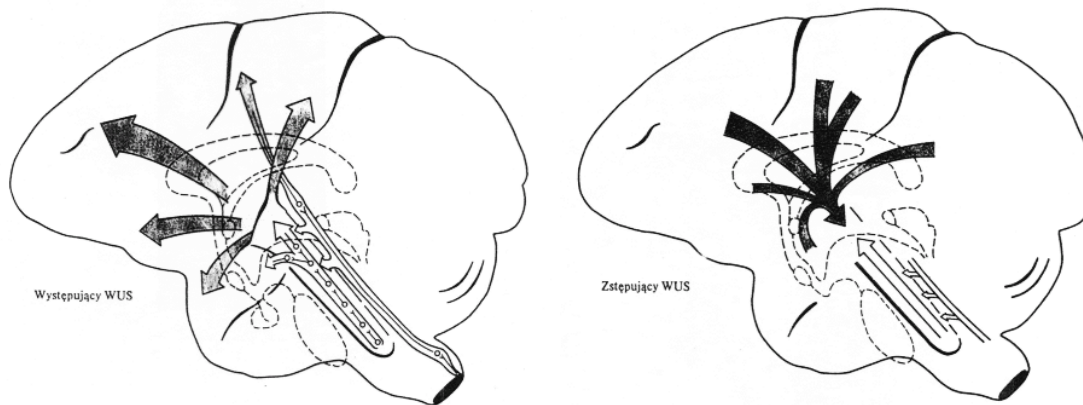
Funkcje wielu z tych jąder nie są znane. Pień mózgu jest najslabiej poznaną strukturą.

Twór siatkowaty pnia mózgu ma rozległe projekcje wstępujące i zstępujące, dzięki czemu ma wpływ na regulację stanu przytomności, wybudzanie mózgu (część wstępująca) i wzmacnianie czujności, jak i poczucie zmęczenia. Część zstępująca pobudza mięśnie, zapewniając ogólny tonus, modulowany przez mózdzek oraz pobudzany przez jądra przedsionkowe (równowaga), korę ruchową, a hamowany przez jądro ogoniaste. TS uważa się za układ "motywacyjny", dający napęd do działań różnego rodzaju, przełączający pomiędzy parami biegunowo różnych zachowań dotyczących ogólnego pobudzenia (sen-czuwanie), ruchu (spoczynek-ruch), jedzenia (głód-sytość), wydalania, aktywności

seksualnej.

Znaleziono korelację pomiędzy pobudliwością tworu siatkowatego a typem osobowości.

- U introwertyków TS łatwo się pobudza, nie szukają więc silnych wrażeń zewnętrznych.
- U ekstrawertyków TS słabo się pobudza, potrzebują więcej zewnętrznej stymulacji by utrzymać wysoką aktywność mózgu.

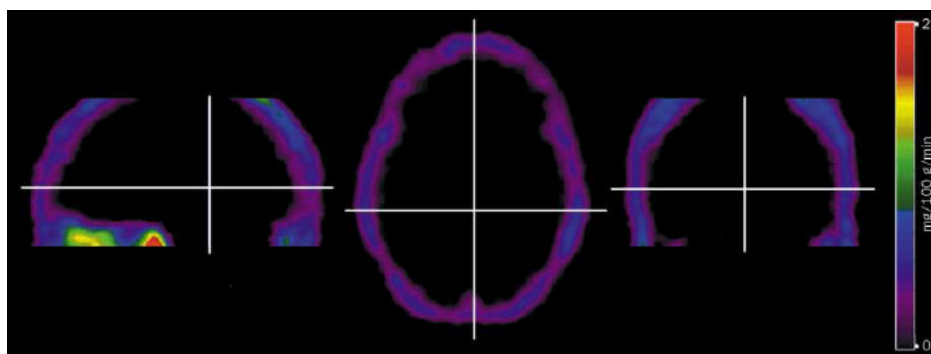


Uszkodzenia TS powodują [śpiączkę](#) (koma) z możliwym całkowitym brakiem reakcji, lub trwały [stan wegetatywny](#) (VS=vegetative state, lub UWS = unresponsive wakeful state) i brak świadomości pomimo zachowania reakcji odruchowych.

Neuroobrazowanie pokazuje uszkodzenia w obszarze TS u ludzi cierpiących na syndrom chronicznego zmęczenia ([chronic fatigue syndrome](#)), oraz niektóre przypadki [zespołu nadpobudliwości psychoruchowej](#) z deficytem uwagi (zaburzenie hiperkinetyczne), ([ADHD](#))

Ciężkie uszkodzenie tworu siatkowatego może prowadzić do [śpiączki](#), zwykle w ciągu 2-4 tygodni przechodzącej w stan śmierci mózgu lub stan wegetatywny.

Stan śmierci mózgu wiąże się z całkowitym brakiem aktywności mózgu, łącznie z pniem, a więc również samodzielnej kontroli oddychania.



Martwy mózg na obrazie uzyskanym techniką PET.

W [trwałym stanie wegetatywnym](#) działa pień mózgu, ale reszta mózgu jest martwa. Pacjent ma otwarte oczy i może przechodzić przez cykl czuwania i snu, ale nie potrafi wodzić wzrokiem czy reagować spójnie na bodźce. Po 4 tygodniach taki stan uznaje się za trwały. W niektórych przypadkach widać pobudzenia kory zmysłowej i ruchowej, ale nie obszarów skojarzeniowych; w efekcie pacjent wykonuje niekontrolowane ruchy, grymasy twarzy, wydaje nieartykułowane dźwięki. W rzadkich przypadkach wraca świadomość i aktywność w obszarach skojarzeniowych.

Znany jest przypadek kobiety pozostającej przez 20 lat w stanie wegetatywnym, której część kory, w tym obszar Wernickego i Broki, były nadal aktywne, a przypadkowe pobudzenia tej kory powodowały wypowiadanie izolowanych słów ([N. Schiff et al](#), Brain 125, 1210-1234, 2002).

[Stan minimalnej świadomości](#) jest wynikiem braku aktywności rozległych obszarów mózgu, zachowane są jednak pobudzenia kory zmysłowej i niektórych obszarów skojarzeniowych.

Prowadzi to od czasu do czasu do spójnych reakcji pacjentów, którym można przypisać minimalną świadomość. Taki stan odróżnia się od stanu wegetatywnego dopiero od lat 1990.

Powtórne zbadanie 40 niewidomych pacjentów uznanych za osoby w stanie wegetatywnym w 1996 roku w Wielkiej Brytanii pokazało, że 17 z nich miało minimalną świadomość i zdolności do porozumiewania się.

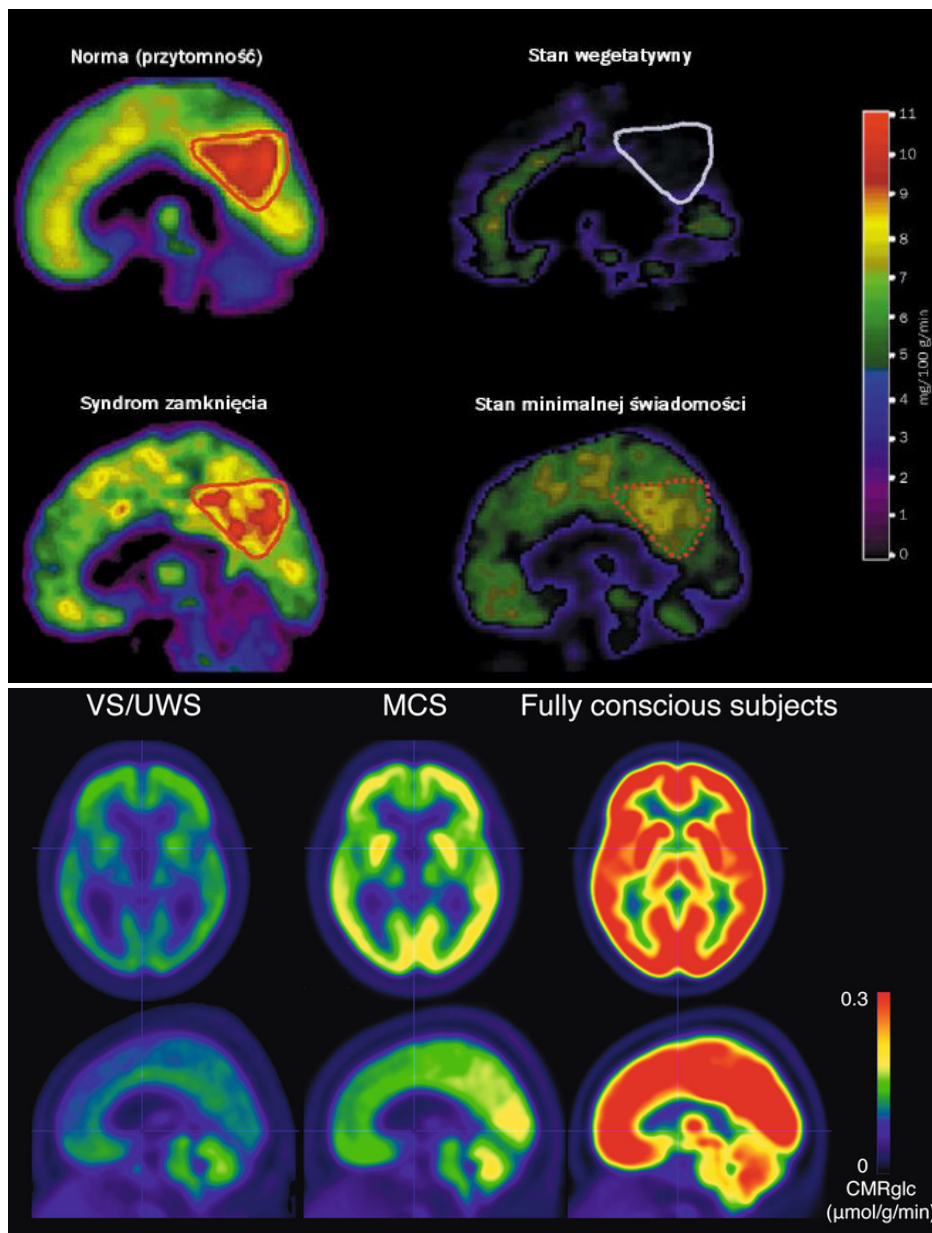
[Terry Wallis](#) przebudził się po 19 latach w stanie minimalnej świadomości.

[Terri Schiavo](#) po 15 latach stanu wegetatywnego została odłączona od aparatury (wyrokiem Sądu Najwyższego USA); jej mózg uległ atrofii i ważył po śmierci 615 gramów.

[Mutyzm akinetyczny](#) jest pośrednim stanem, wynikiem obustronnego uszkodzenia tworu siatkowatego, wzgórza i kory zakrętu obręczy. W efekcie takich uszkodzeń pacjent nie może się poruszać ani nawiązać kontaktu z otoczeniem, chociaż wydaje się być przytomny, wzdając oczami, ale nie rozpoznając nikogo.

Zniszczenie kory zakrętu obręczy prowadzi też do apatii i niewrażliwości na ból.

W rzadkich przypadkach droga słuchowa pozostaje aktywna i pacjenci mogą prowadzić rozmowę przez telefon, rozpoznają swoich rozmówców (Ramachandran, 2011, rozdz. 9).



Metabolizm mózgu (zużycie glukozy) w różnych stanach świadomości.

Uszkodzenia brzusznej części mostu (uraz, krwotok, miażdżyca) mogą spowodować "[zespół zamknięcia](#)", całkowity paraliż ciała; pozostaje jedynie możliwość pionowych ruchów gałki ocznej i mruganie powiekami.

Komunikacja z taką osobą możliwa jest też dzięki sygnałom EEG.

Wiemy, że takie uszkodzenia nie upośledzają świadomości, zmieniają nastrój na melancholijny.

Same obserwacje klinicznie nie potrafią czasem odróżnić stanu zamknięcia od prawdziwego stanu wegetatywnego, ale za pomocą neuroobrazowania można zobaczyć, czy człowiek reaguje na polecenia i wyobraża sobie kontrastowe sytuacje rozróżnialne za pomocą metod obrazowania funkcjonalnego (H. Koizumi i inn., Adrian Owen i inn.).

Dziennikarz, redaktor naczelny "Elle", [Jean-Dominique Bauby](#), po wylewie, przez dwa lata żył w stanie zamknięcia, mrugając powieką napisał książkę "Skafander i motyl", według której nakręcono film.

Pień mózgu jest więc kluczową strukturą dla zrozumienia działania całości, a w szczególności świadomości.

Świadomość rdzenna ([Damasio](#)), poczucie istnienia, wykorzystuje "pętlę ciała", informacje chemiczne z układu autonomicznego i informacje z układu obwodowego i centralnego.

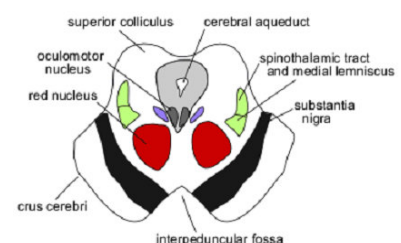
Jądra pnia mózgu zbierają informację z rdzenia i nerwów czaszkowych (trójdzielnego i błędnego): są to jądra tworzące siatkowatego i okoliczne (aminowe i acetylocholinowe).

[Śródmózgowie](#) składa się z

- pokrywy (części grzbietowej),
- nakrywki (części brzusznej)
- odnogi mózgu (podstawy konarów).

Pokrywa zawiera [wzgórki czworaczce](#), pośredniczące w odruchach słuchowych (dolne) i wzrokowych (górne).

Wzgórki górne połączone są z siatkówką, korą wzrokową, czołowym polem okołoruchowym, integrują informację z innych obszarów kory zmysłowej, są



odpowiedzialne za mechanizm orientacji i ruchy sakadyczne oczu.

Nakrywka zawiera największe jądro, czyli [istotę czarną](#), duże jądro produkujące [dopaminę](#), silnie wpływające na pracę zwojów podstawy mózgu i kory.

Zawiera też istotę szara środkową, [jądro czerwienne](#) oraz część okołosrodkowego tworu siatkowatego.

Śródmózgowie,
substancja czarna i jądro czerwienne

[Istota szara okołowodociągowa](#) (PAG) to nazwa istoty szarej otaczającej wodociąg mózgu; zawiera [jądra grzbietowe szwu](#), [miejsce sinawe](#), jądro grzbietowe nakrywki i nerwu trójdzielnego; koordynuje reakcje emocjonalne przez jądra ruchowe tworu siatkowatego i nerwy czaszkowe.

Ogólną funkcją pnia mózgu jest zarządzanie stanami ciała i ich reprezentacjami.

Informacje o stanie ciała reprezentowane są w korze somatosensorycznej.

Trudno jest zrobić dobry model działania pnia mózgu ze względu na stopień jego komplikacji.

Spekulacje na temat funkcji pnia mózgu (Kilmer, McCulloch, Blum 1969):

drzewka dendrytyczne prostopadłe do kierunku rdzenia tworzą moduły, które być może zdolne są do analizy sygnałów o różnych modalnościach zmysłowych.

Twór siatkowaty potrafi prawdopodobnie sterować ogólną aktywnością całego mózgu (wybierać globalny stan behawioralny), przełączając go na różne tryby działania, np. ucieczka od niebezpieczeństw, poszukiwanie pożywienia czy partnera do rozmnażania.

Pojawiły się pewne próby wykorzystania modelu pnia mózgu w robotyce, ale niewiele się w modelowaniu pnia mózgu od 1969 roku zmieniło! Rysunek z jednej z prac (Humphries i inni, 2005):

a) Mózg kota,

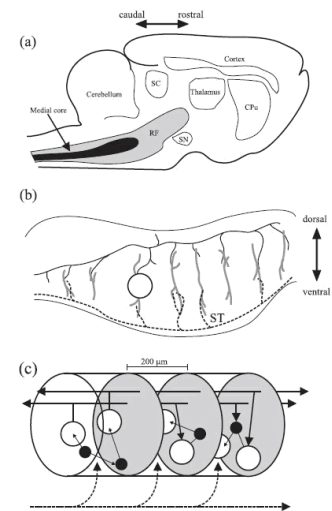
SC=wzgórki czworaczne,

SN = istota czarna,

CPu = jądro ogoniaste i skorupa.

b) drzewka dendrytyczne, duże kółko symbolizuje neuron projekcyjny.

c) Model z modułami, czarne kółka to neurony wstawkowe (lokalnie hamujące).



Modele z pracy Humphries i inn.

Niestety nie jest to model całego pnia czy tworu siatkowatego a jedynie rozważania pokazujące, że twór siatkowaty ma strukturę sieci "małych światów", lokalnie silnie połączone jądra, ze znacznie rzadszymi połączeniami pomiędzy nimi.

Jakie dokładnie są to połączenia? Pień jest nadal strukturą mało zbadaną. Istnieje dobra [baza danych o mózgu szczura](#), o połączeniach korowo-mostowych i innych. Wykorzystując ją powstały szczegółowe modele niektórych obszarów w mózgu szczurów, głównie ośrodków oddechowych. Niestety modele mózgów prymitywnych zwierząt nie są wcale proste, bo nie mamy dostatecznie szczegółowych danych eksperymentalnych. W przypadku owadów jest też silne sprzężenie układu nerwowego z biochemicznymi procesami na poziomie molekularnym.

[Wim Hof](#) potrafi regulować temperaturę ciała nawet w skrajnych warunkach (np. zanurzony przez 1 godzinę i 44 minuty po szyję w lodzie)! Hoff potrafi generować ciepło, wydaje się, że używa techniki [tummo tybetańskich joginów](#), opartej na hiperwentylacji. Jego porady na temat ćwiczeń oddechowych można znaleźć na stronie [Wim Hoff method](#). Istnieje więc możliwość nauczenia się świadomego wpływania na niektóre funkcje pnia mózgu.



A10.8. Trzy mózgi w jednym?



[Ludwig Edinger](#), niemiecki anatom i neurolog, na początku XX wieku dokonał syntezy wiedzy na temat anatomii mózgów. Zauważył, że tyło- i śródmózgowie jest u różnych kręgowców dość podobne, ale w przodomózgowie zachodzą duże zmiany, od ryb, płazów, gadów do ssaków i mózgów ludzi. U współczesnych ssaków kora mózgu, nazywana korą nową (neocortex), zbudowana jest z 6-warstw neuronów. U wczesnych ssaków i starszych gromad zwierząt kora ma prostszą budowę, składającą się z trzech warstw. Taka stara ewolucyjnie kora (paleocortex) znajduje się 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 doskonalenie czy akumulację dodatkowych funkcji. Wszystkie możliwości są eksploatowane, przetrwają jedynie najbardziej skutecznie się rozmnażające. Istnieje wiele zwierząt o niezwykłych własnościach, w głębinach oceanów odkrywano bardzo dziwaczne stworzenia, które istnieją od setek milionów lat dobrze sobie radząc. Nie można więc uporządkować organizmów w uporządkowany, liniowy sposób.

Neuroanatomia i neurofizjologia porównawcza pokazały, 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 korą nową. Dopiero pod koniec XX wieku okazało się, że również u gadów można się doszukać kory nowej podobnej do ssaków. Struktura mózgu wszystkich

kregowców jest z grubsza podobna, chociaż wielkość różnych obszarów jest różna, przystosowana przez miliony lat do wymogów określonego ekosystemu.

[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. Dodatkowe informacje zdobyto tworząc [chimery](#) - fragmenty mózgu jednego zwierzęcia wszczepiano innemu i obserwowano jego zachowanie.

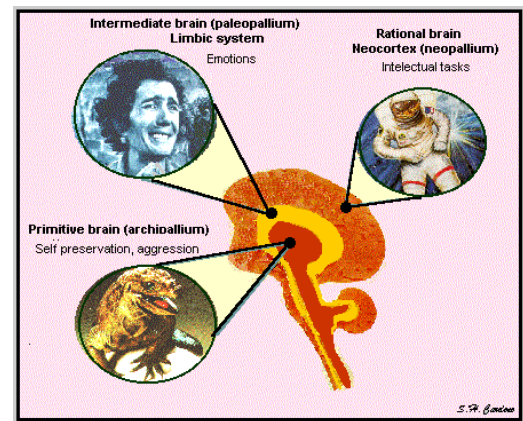
[MacLeana](#) oparł się na podziale Edingera anatomii mózgu na trzy główne struktury, skupiając się na ich funkcji. Do tej pory jest to bardzo popularna teoria. Mózgowie można podzielić na kilka części: tyłomózgowie zawierające pień mózgu, międzymózgowie i śródmózgowie, oraz najbardziej wysunięte do przodu kresomózgowie. Z ewolucyjnego punktu widzenia są to obszary, którym można przypisać różne funkcje.

- [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.

Badania MacLeana pokazały, że te trzy obszary mózgu pełnią różne funkcje, sposoby reakcji i postrzegania 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 reproduktywne 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.



3 mózgi w jednym

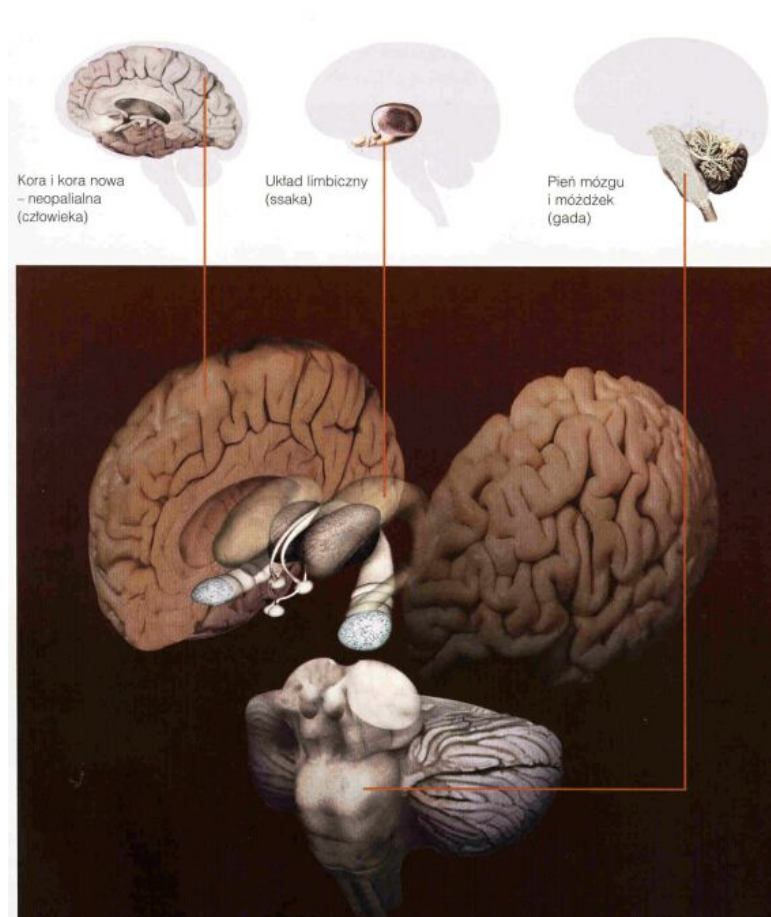
Zespół R jest bardziej pierwotny niż emocje. Realizuje instynkty terytorialne, zachowania agresywne, rytualne (np. godowe), walkę o dominację, hierarchie społeczne. Mordowanie "z zimną krwią", czyli tak jak gady! Wojny zaborcze u ludzi, szympanсів, delfinów są przejawem tych instynktów.

[Układ limbiczny](#) jest słabo rozwinięty u gadów, dobrze u ssaków, liczy ≤ 150 mln lat. Ssaki przeżywają silne emocje, również w snach. MacLean 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 na wzbudzanie i ekspresję sygnałów stresu i przyjemnych emocji ([oksytocyna](#), [endorfiny](#)).

Układy oksytocyny i serotoniny współpracują ze sobą, stwarzając wrażenie dobre samopoczucia i spokoju, podkreślając znaczenie pozytywnych relacji i zadowolenia.



Mózg podzielony na trzy obszary

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 emocji 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, reakcji emocjonalnych, ale też pamięci epizodycznej i proceduralnej.

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, ale ludzie są na różnym poziomie i wiele osób nie odczuwa potrzeb z wyższych pięter tej piramidy. Maslow do swoich badań wybrał tylko osoby najzdrowsze, najbardziej rozwinięte w sensie psychicznym i duchowym.

Oczywiście nie ma tu ścisłej hierarchii, niektórzy ludzie skupiają się na wyższych potrzebach zaniedbując niższe, są więc wyjątki, ale

takie badania zawsze są przybliżone, odnoszą się do typowych, uśrednionych zachowań.

Academy of Ideas wideo na temat [Abrahama Maslowa i psychologii samorealizacji](#).

- 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).

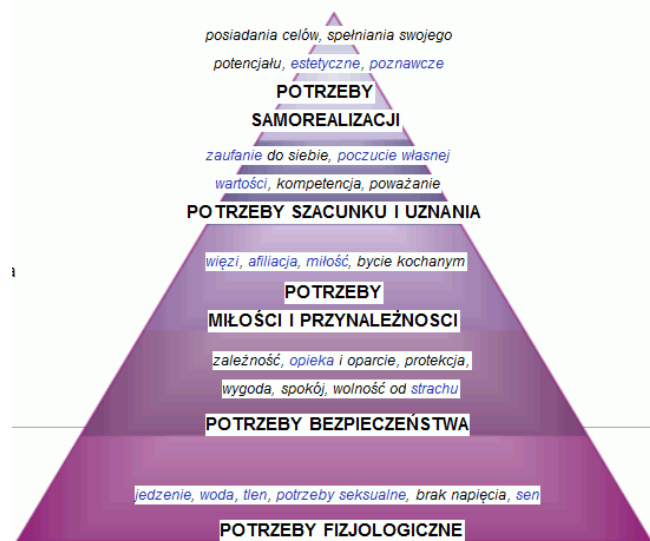
Zespół R umożliwia przetrwanie, ochronę przestrzeni życiowej.

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.



Piramida Maslowa

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

- **Id** - ciemna, ukryta, nieokiełznana 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 dzikusa](#)", 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 historie 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](#).

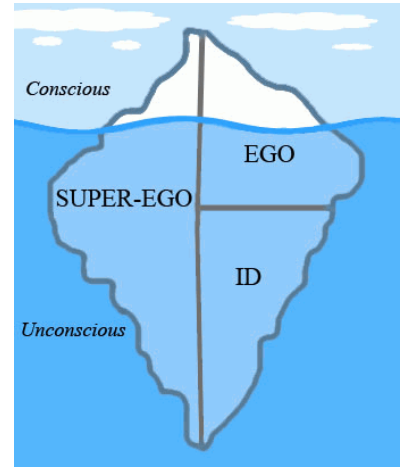
Z grubsza jest to użyteczny podział funkcji i nadal często przywoływany, ale ... U ssaków układ limbiczny uległ znacznemu przekształceniu, ewolucji podlegał cały mózg, nie można się całkiem cofnąć, ale pewne struktury mogą się mocno zmienić.

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.



Sfery psychiki wg. Freuda

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"?

Teoria MacLeana przetrwała ponad pół wieku, pomimo coraz silniejszej krytyki. Ptaki mają całkiem różne mózgi od ssaków, a okazało się, że ich inteligencja może być naprawdę wysoka. W 2018 roku inżynieria genetyczna pozwoliła na znacznie dokładniejsze zbadanie struktury mózgu gadów, określenia typów neuronów na podstawie ich profili genetycznych. MacLean sądził, że w mózgu gadów nie ma niczego podobnego do kory mózgu. Analiza komórek mózgu żółwi i jaszczurek (agama brodata z Australii) pokazała, że komórki płaszcza (pallium) gadów, porównane z komórkami myszy i człowieka wykazują duże podobieństwo. W mózgach gadów udało się znaleźć obszary, których komórki odpowiadają funkcjonalnie neuronom w korze mózgu, ale również w hipokampie i ciele migdałowatym. Część komórek jest bardzo podobna, ale nie wszystkie typy neuronów znajdujących się w mózgach ssaków można znaleźć u gadów. Jednak prymitywna wersja układu limbicznego jak i kory nowej da się wyodrębnić. Ewolucja nie stworzyła odrębnych struktur z niczego, tylko udoskonaliła stare, powstałe znacznie wcześniej struktury. Omówienie wyników tej pracy jest w [serwisie Massive Science](#).

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 Struktogram](#), 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 neuroprzebiegu - homeostazie". Organizacja działa z powodzeniem od ponad 40 lat w wielu krajach świata i ma tyle wspólnego z nauką co [frenologia](#).

Różne typy mózgów

Mózgi owadów, krabów, gadów, ptaków, głowonogów i ssaków bardzo się różnią. Jednakże pomimo różnic anatomicznych jest wiele podobieństw a ich możliwości analizy danych zmysłowych i kontrolowania ciała mogą być zbliżone. Neurony analizują bardzo różne sygnały zmysłowe wydobywając z nich informacje istotne dla przeżycia zwierzęcia. Budowa neuronów i transmisja sygnałów przez chemiczne związki w synapsach nie różni się znacznie od ssaków.

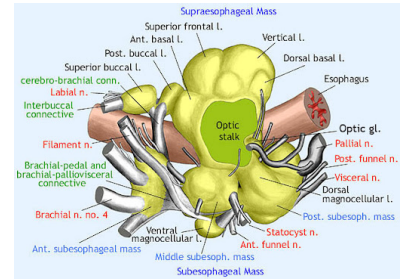
Ryby mają prymitywne mózgi, ale pomimo tego wykonują piękne tańce godowe, potrafią budować i chronić swoje gniazda. Nawet pająki wykonują [piękne tańce](#) godowe.

Głowonogi

Głowonogi: ośmiornice, mątwy i kałamarnice wykazują się duża inteligencją, wydają się też mieć mechanizmy neuronalne odpowiedzialne za świadome odczuwanie świata. Jednak struktura ich układu nerwowego jest zupełnie inna niż ssaków. Jest to przykład konwergencji funkcji, które są przydatne by przeżyć w trudnych warunkach. Ewolucja może doprowadzić niespokrewnione

gatunki o różnej budowie anatomicznej do podobnego poziomu przystosowania. To przykład, pokazujący inną drogę ewolucyjną, która prawdopodobnie mogłaby również doprowadzić do rozwoju wysokiej inteligencji.

Ośmiornice to bezkręgowce o 3 sercach i 9 mózgowopodobnych centrach nerwowych. Mają tylko 30% neuronów w centralnej części mózgu, która owija się wokół przetyku, mając formę pierścienia. Pozostałe 60% tworzą skupiska sterujące ośmioma ramionami, które w znacznej mierze działają autonomicznie. Bezkręgowce mają często wiele jąder neuronów (zwojów) sterujących lokalnie różnymi funkcjami. U głowonogów kilka z nich połączyło się razem tworząc centralną część układu nerwowego. Ramiona ośmiornic "wyczuwają" środowisko, podejmując lokalne decyzje, pełniąc też rolę podobną do mózdzku u ssaków, czyli precyzyjnie kontrolując ruchy. Centralny mózg planuje ogólne schematy działania, a więc mamy hierarchiczny system przypominający podział na wtórną i pierwotną korę ruchową oraz mózdzek.



Mózg ośmiornicy

[Eksperymenty prowadzone w 2021 roku na mątwach](#) pokazały tworzenie się białek CREB, świadczących o powstaniu śladów pamięciowych w ramionach, które nauczyły się, że dostęp ramienia do krewetki jest zablokowany. Może to świadczyć o lokalnych mechanizmach uczenia się i pamięci, nie wymagających udziału centralnej części układu nerwowego. Ośmiornice wykazują się wielką inteligencją: potrafią liczyć do 5 (podobnie jak niemowlaki), używają narzędzi budując sobie schronienie, rozpoznają indywidualne osoby, mają pamięć przestrzenną, potrafią zmieniać nie tylko kolor, ale i fakturę całego ciała w zdumiewający sposób. [W publikacji z 2021 roku](#) pokazano, że potrafią powstrzymać się przed natychmiastową gratyfikacją - odpowiednikiem słynnego [testu ciasteczka \(marshmallow experiment\)](#), w którym dzieci były nagradzane za powstrzymanie się przed zjedzeniem ciasteczka, czekając na obiecane dwa.

Jak to jest być ośmiornicą lub mątwą? Żyć pod wodą, kontrolować 8 lub 10 macek, zmieniać kolory i fakturę ciała zależnie od otoczenia i komunikować się w ten sposób z innymi mątwami? To dopiero przekracza nasze wyobrażenie. Jednak nawet w przypadku ośmiornicy pewien kontakt i wzajemne zrozumienie z człowiekiem jest możliwy, jak można zobaczyć na filmie [Czego nauczyła mnie ośmiornica](#). [Muzeum historii naturalnej](#) ma wiele ciekawostek i filmików na temat ośmiornic.



Ośmiornica z muszlą

Ewolucja człowieka nie wydaje się wcale bardziej zaskakująca niż ewolucja żyrafy, słonia czy delfina, a powiększenie mózgu od makaka do szympansa porównywalne z powiększeniem od szympansa do człowieka. Słoń [malujący obrazy trąbą](#).

Matt Ridley: „niepokojąca jest myśl, że mózg człowieka stanowi neurologiczną wersję pawiego ogona - ozdobę ukształtowaną w celu pokazu seksualnego, której wirtuozeria we wszystkim od rachunku różniczkowego do rzeźby jest być może tylko skutkiem ubocznym zdolności oczarowania.”

Rodzina naczelnych liczy około 500 obecnie żyjących gatunków, a w przeszłości istniało ich wiele więcej. Przodkowie naczelnych oddzielili się od pozostałych ssaków już 65 mln lat temu, było więc wiele czasu, w którym powstawały i wymarły różne gatunki. Jak doszło do powstania człowieka?

Zadanie:

To pierwszy rzut oka na podstawowe mechanizmy działania mózgu. Będziemy stopniowo omawiać je coraz bardziej szczegółowo. Jak genetyka i istnienie płci wpływa na zróżnicowanie organizmów i ich dostosowanie się do różnych środowisk? Jak podział układu nerwowego pomaga w sprawniejszym działaniu całego organizmu? W jaki sposób najstarsza część mózgowia, pień mózgu, kontroluje pozostałe procesy? Jakie przykłady zachowań homeostatycznych możesz opisać? Jak niespecyficzne drogi transmisji neurotransmiterów mogą wpływać na działanie całego mózgu i temperament człowieka? Pomimo krytyki podziału mózgu na 3 podobszary jest to nadal popularna idea wykorzystywana w marketingu - jakie tu widzicie błędy?

Przykładowe pytania (tu dość ogólne, na egzaminie będą bardziej szczegółowe):

1. Jaka jest rola hormonów w rozwoju mózgu.
2. Jak wyglądałby świat, gdyby nie było podziału na płcie?
3. Jakie mogą być zalety większej liczby płci?
4. Jakie znasz zwierzęta trzypłciowe i co to znaczy?
5. Co zwiększa szansę rozwoju gatunku?
6. Jak można podzielić system nerwowy na podsystemy i jakie są wady takiego podziału?
7. Jakie temperamente wyróżniał Hipokrates i z czym je wiązał?

8. Jaka jest rola dopaminy? Acetylocholiny? Serotoniny? Noradrenaliny?
 9. Skąd w mózgu pochodzi większość dopaminy? Acetylocholiny? Serotoniny? Noradrenaliny?
 10. Czego się można spodziewać po zbyt niskim poziomie neurotransmitera X? Czego po zbyt wysokim poziomie?
 11. Jaki jest efekt braku równowagi układów opartych na dopaminie i acetylocholinie?
 12. Jak wygląda współczesna wersja teorii 4 fluidów Hipokratesa?
 13. Jak można powiązać psychologiczne teorie osobowości z neurotransmiterami?
 14. Jakie są słabe strony teorii MacLeana?
 15. Czym zajmuje się socjobiologia?
-

Literatura

Interesujące linki: [Kosmiczny Kalendarz](#) | [Psychologia ewolucyjna](#), primer (UCSB) | [Archeowieści](#), prehistoria, paleontologia. | [Becoming human](#) | [Human Origins Cognitive Evolution Group](#) (UMich). | [Cognitive Evolution Lab](#), Harvard. | [Canine brains project](#), Harvard. [Neuroscjologia](#) - interesujący blog.

- Damasio, A. (2022). Odczuwanie i poznawanie. Jak powstają świadome umysły? Copernicus Center Press.
 - Dawkins R, [Samolubny gen](#), Prószyński 2007
 - [Dawkins Richard](#), Ślepy Zegarmistrz. PIW, W-wa 1994
 - K. McAuliffe, Pasożyty w twoim mózgu. Czyli o tym jak małe stworzenia manipulują naszym zachowaniem. Czarna Owca, 2018
 - Matt R, Czerwona królowa. Rebis 1999
 - Shubin N.H, Nasze zimnokrwiste ciała. Świat Nauki 2/2009.
 - Garcia, Tanowitz, del Brutto, Neuroparasitology and Tropical Neurology. Handbook of Clinical Neurology, Vol. 114. Elsevier 2013
 - Quammen, D. (2018) The Tangled Tree: A Radical New History of Life. Simon and Schuster.
Q.-J. Sun, T. G. Bautista, R. G. Berkowitz, W.-J. Zhao, P. M. Pilowsky. [The temporal relationship between non-respiratory burst activity](#) of expiratory laryngeal motoneurons and phrenic apnoea during stimulation of the superior laryngeal nerve in rat. The Journal of Physiology vol. 589, str. 1819-1830, 2011.
 - Rowe TB, Macrini TE, Luo Z-X. Fossil Evidence on the Origin of the Mammalian Brain. Science, May 20, 2011.
 - S. Shultz, R. Dunbar, Encephalization is not a universal macroevolutionary phenomenon in mammals but is associated with sociality. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2010.
-
-

Cytowanie: [Włodzisław Duch](#), Wstęp do Kognitywistyki. Rozdz. A10. Mechanizmy podstawowe - mózgi. UMK Toruń 2025.
W. Duch, [Wstęp do kognitywistyki - spis treści](#) | [Następny rozdział: Dwie półkule](#).