

powoli termin "neuronauki" będzie coraz szerzej stosowany.

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

[Można tu wyróżnić:](#)

- [neuronauki na poziomie molekularnym i komórkowym](#): [neurochemia](#), [neuroendokrynologia](#), [neurogenetyka](#), [neurochirurgia](#), [neurofarmakologia](#), [neuropsychofarmakologia](#), neurobiologia neuronów, biofizyka neuronów ...
- Neuronauki zajmujące się [rozwojem i dojrzewaniem układu nerwowego](#), od stadium embrionalnego.
- [Neuroanatomia](#), anatomia porównawcza mózgów.
- [Konektonomika](#), badająca połączenia grup neuronów w mózgach.
- Neuronauki związane z chorobami układu nerwowego, takie jak [neuropatologia](#), [neurologia](#), [neuropsychiatria](#), [neuropsychologia](#), [psycho-neuro-immunologia ...](#)
- [Neuronauki systemowe](#), specjalizujące się w badaniu działania poszczególnych zmysłów i kontroli ruchów.
- [Chronobiologię](#), zajmującą się rytmem 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 dziedzin wnosi specyficzną perspektywę i pozwala odpowiedzieć na szczegółowe pytania dotyczące wpływu czynników biologicznych na psychikę i zachowanie.

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.

Co roku [Society for Neuroscience](#) organizuje konferencje, na które przyjeżdża 25-30 tysięcy uczestników prezentując ponad 15 tysięcy prac naukowych!

Można z grubsza wydzielić dwie szerokie perspektywy patrzenia na działanie mózgu: ewolucyjną i opisowo-funkcjonalną.

Perspektywa ewolucyjna



Układ immunologiczny wybiera odpowiedzi na zagrożenia z ustalonego ewolucyjnie repertuaru, ucząc się przez selekcję.

Czy mózg w procesach rozwojowych też uczy się wybierając sposoby działania z repertuaru istniejących możliwości rozwiniętych w wyniku ewolucji, czy też uczy się całkiem nowych sposobów reakcji i przetwarzania informacji? Jest to nieco podobne do starego pytania: czy natura czy wychowanie silniej wpływa na rozwój ludzi i zwierząt.

Perspektywa ewolucyjna: selekcja sposobów działania mózgu przydatnych do przetrwania dokonała się na poziomie odruchów naturalnych, percepcji i uwagi (postrzegamy tylko to, co dla nas potencjalnie może być ważne), możliwości rozumowania, a może nawet zdolności językowych.

Z obserwacji rzadkich przypadków urodzeń dzieci, które nie mają oczu, uszu, nosa, receptorów dotyku, a nawet języka wiemy, że może to być wynik mutacji genetycznej wpływającej na powstawanie określonego białka. Ewolucja wytworzyła specyficzne struktury mózgu odpowiedzialne za analizę sygnałów zmysłowych i przydatne reakcje na jej wyniki.

Zwierzęta mają wiele różnych zmysłów, pozwalających na odbieranie informacji dzięki analizie cząsteczek w powietrzu, wodzie i glebie za pomocą zmysłu węchu i smaku, wibracjom gruntu i powietrza od infradźwięków (słonie, walenie) do ultradźwięków (nietoperze), precyzyjnej analizy nacisku pozwalające na orientację za pomocą dotyku, koniecznej dla utrzymania równowagi, informacji zawartych w promieniowaniu elektromagnetycznym od głębokiej podczerwieni (żmije) do ultrafioletu (owady), wykrywania słabych pól elektrycznych i magnetycznych. Ta ogromna różnorodność sygnałów pochodzących ze zmysłów zamieniana jest na elektryczne impulsy, które mózgi potrafią analizować dzięki neuronom, które są podobne u większości gatunków. Mózgi wykazują duże podobieństwo organizacji struktur neuronowych, w postaci jąder złożonych z neuronów spełniających wyspecjalizowane funkcje i kilkuwarstwowej kory o dużej powierzchni. Jeśli tylko w strukturze impulsów, pojawiających się w mózgu, jest jakaś przydatna informacja, mózgi uczą się ją wykorzystywać. Stąd szansa na dodanie nowych zmysłów. Informacje z zewnętrznych czujników, zamienione na sygnały, które uda się wprowadzić do mózgu, mogą zostać wykorzystane.

Szybkie **uczenie się w naturalnym środowisku jest procesem selekcji możliwości** wybranych przez naturę na drodze doboru naturalnego, konkurencją pomiędzy neuronami, zespołami neuronów i całym mózgiem. Jednakże dotyczy to tylko podstawowych form percepcji. Możliwe jest też wolniejsze, trwające wiele miesięcy i lat uczenie się, związane z pojawieniem się w środowisku nowych możliwości, afordancji skłaniających do działania. Tak było w przypadku wynalazku języka, pisma, muzyki czy matematyki. Potrzebne były wyspecjalizowane obszary mózgu by szybko zamienić informację akustyczną w ciąg fonemów pozwalających na rozumienie słów w różnych warunkach, informację wzrokową w rozpoznawanie grup znaków, co pozwoliło na ciche, szybkie czytanie, czy wykonywanie zapisanej w postaci nut muzyki. Większa gęstość zaludnienia po powstaniu miast wymusiła potrzebę rozpoznawania twarzy. Automatyzacja takich czynności wymaga specjalizacji wybranych obszarów kory mózgu. Te nowe funkcje mogą ulegać specyficznym uszkodzeniom na wiele sposobów, które bada neuropsychologia.

Dlaczego jesteśmy tak różnorodni? Trudno jest znaleźć dawcę szpiku dla chorych na białaczkę, bo jesteśmy tak od siebie odmienni. Gdyby jednak tak nie było to nasze organizmy przegrały by wyścig z pasożytami, bakteriami i wirusami (zasada "czerwonej królowej" - trzeba biec szybko by się nie cofać). Jedna choroba mogłaby zabić całą ludzkość lub cały gatunek. Odporność na choroby i pasożyty wymaga zróżnicowania. Organizm się ciągle zmienia, od zapłodnionej komórki do trylionów komórek, które się ciągle odradzają i powoli zmieniają. Patrzymy na siebie jak na stałą strukturę, szukamy cech osobowości, która powinna być przed dłuższy czas stabilna, ale w rzeczywistości człowiek jest procesem o zmiennej dynamice, a nie stałą strukturą. Ciało zmienia się w ciągu całego życia, ale podobnie jak ruch wskazówek zegara, nie wszystkie zmiany są na tyle szybkie by można było je dostrzec bez systematycznych obserwacji w ciągu dłuższego okresu czasu.

Mózg zmienia się stosunkowo szybko, ale jeśli nie mamy serii obrazów z rezonansu magnetycznego widzimy tylko skutki tych zmian a nie same zmiany jego struktury. Miliony nowych synaps w ciągu sekundy zmieniają szybko mózg dziecka i widać to po zmianie zachowania.

Wniosek: różnorodność jest wielką wartością.

Co wyjaśnia nam **perspektywa ewolucyjna? Odpowiada na pytanie "dlaczego?" Dlaczego widzimy kolory?** Dlaczego w takim, a nie innym zakresie?

W naturze kolor wykorzystywany jest przynajmniej do czterech celów:

- przyciągania owadów i innych zwierząt zapylających rośliny lub roznoszących nasiona;
- przyciągania ofiar, kamuflażu i ukrywania się na różnym tle przez drapieżniki;
- ostrzegania drapieżników przez potencjalne ofiary - jestem trujący;
- doboru płciowego, przyciągania partnera lub zniechęcania konkurenta.



[Widzenie kolorów](#) przydatne było ssakom do odróżniania gatunków traw i postrzegania na odległość dojrzałych owoców (czerwień dobrze kontrastuje z zielonym).

Potrzebny jest specyficzny układ wzrokowy analizujący informację o kolorze, dlatego zwierzęta w różny sposób widzą kolory.

- Oko człowieka i małp naczelnych ma [3 receptory kolorów](#) (czopki), o maksimum wrażliwości dla światła czerwono-żółtego (560 nm), zielonego (525 nm) i niebieskiego (420 nm).
- Inne ssaki mają tylko dwa rodzaje czopków, a ssaki morskie tylko jeden rodzaj, więc widzą monochromatycznie.
- Ryby tropikalne i ptaki mają cztery rodzaje czopków, a gołębie aż pięć!
- Pszczoły, bąki i niektóre inne owady mają 3 rodzaje czopków ale ich spektrum przesunięte jest powyżej czerwieni w stronę ultrafioletu, białe (dla nas) kwiaty mają dla nich różne barwy - kolory kwiatów są dla owadów, a nie dla nas!
- Motyle mają 6 fotoreceptorów, a [skorupiaki ustonogie](#) aż 12. Mechanizm widzenia jest jednak nieco różny - liczne fotoreceptory pokrywają szerokie spektrum długości fal świetlnych pozwalając na szybkie reakcje na kolor bez angażowania wielu neuronów w mózgu, jak się to dzieje w przypadku ssaków. Dzieje się to jednak [kosztem rozdzielczości przestrzennej](#).

Oko widzące monochromatycznie może rozróżnić 200 odcieni kolorów, a dichromatycznie już 10.000, ludzkie trójchromatyczne oczy rozróżniają około miliona odcieni.

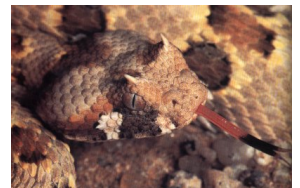
Każdy człowiek widzi kolory nieco inaczej. [Jakiego koloru jest ta sukienka?](#) Jedni twierdzą, że biało-żółta, inni że czarno-niebieska. Omawiając układ wzrokowy zajmiemy się też przyczynami złudzeń.

Geny odpowiedzialne za widzenie w kolorze, np. [gen OPN1LW](#) w chromosomie X kodujący światłoczułe [białko opsynę](#), biorące udział w detekcji czerwonego koloru, wykazuje bardzo dużą wariację, prowadzącą do różnych form daltonizmu i odmiennego widzenia koloru u kobiet i mężczyzn.

Opsyna i inne białka związane z widzeniem koloru u różnych zwierząt około 500-800 milionów lat temu miały wspólnego przodka, a więc pierwsze zwierzęta w kambrze już rozróżniały kolory. Ssaki 220 milionów lat temu prowadziły głównie życie nocne i miały niebiesko-żółte widzenie dichromatyczne, podobnie jak większość ssaków do tej pory.

Antropoidy i kilka małp (pawiany, makaki, gerezy, wyjce) to jedyne znane ssaki trójchromatyczne; żółty pigment uległ mutacji wrażliwej na krótsze (zielone) i dłuższe (czerwone) długości fali około 50 mln lat temu. Wyjce są jedynymi małpami Nowego Świata u których widzenie trójchromatyczne rozwinęło się niezależnie. Zbiegło się to w czasie z redukcją o 60% liczby genów związanych z węchem u ludzi, a antropoidów redukcją o ok. 33% (B. Verrelli, S. Tishkoff, [American Journal of Human Genetics](#) 2004).

[Żmije widzą w podczerwieni](#), postrzegają bardziej ruch niż kształty, ich szczęka służy za receptor niskich drgań, wężą stereoskopowo za pomocą języka.



Orientacja i [widzenie przestrzenne](#) (stereoskopowe) przydatne jest drapieżnym ssakom, gądom i ptakom (np. sowom), które mają oczy z przodu głowy, ograniczony kąt widzenia (nie większy niż 100 stopni), ale potrafią dobrze oceniać odległość.

Ssaki roślinożerne i niektóre ptaki mają oczy z boku głowy, widzą pod znacznie szerszym kątem (nawet do 360 stopni), ale nie widzą przestrzennie, słabiej oceniają odległości.

[Widzenie](#) dostarcza informacji pozwalających utworzyć [mapę orientacji przestrzennej](#), a więc przyczynia się do rozwoju specyficznych form pamięci i przetwarzania informacji.

Dlaczego nie widzimy w nadfiolecie ani nie widzimy przez ściany wykorzystując promienie Roentgena, jak superman? Nie mamy zmysłu elektrycznego ani nie widzimy w podczerwieni. Zwierzęta mają wiele zmysłów, których my nie mamy bo ich nie potrzebujemy.

Natura nie jest wszechpotężna i nie potrafi utworzyć detektorów promieniowania tego rodzaju modyfikując organizm ssaków. Dodatkowe oczy dałyby pewne korzyści ale nie tak duże by utworzenie całkiem nowego mechanizmu widzenia było opłacalne.

Drugi przykład: język. Tylko ludzie posługują się [mową](#) pozwalającą na złożoną komunikację. Może to wynikać z istnienia specyficznych [struktur neuronalnych odpowiedzialnych za mowę](#), których brakuje w mózгах zwierząt.

Uczenie się mowy zachodzi szybko pomimo stosunkowo ubogiej stymulacji, braku dużej liczby [przykładów negatywnych](#) pozwalających na zdefiniowanie znaczenia słów, czyli nieprawidłowego użycia mowy.

Uczenie się danego języka nie jest oczywiście wynikiem selekcji, ale sama zdolność do rozumienia i nauki języka może nią być. Zdolność do modulacji ruchu języka i strun głosowych wymaga precyzyjnego sterowania, którego nie mogą się nauczyć zwierzęta.

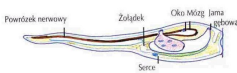
[Gen FOXP2](#) związany jest z zaburzeniami produkcji i rozumienia mowy u ludzi. Gen ten jest też aktywny u ptaków w czasie uczenia się pieśni godowych, i gra rolę w rozwoju echolokacji u nietoperzy. FOXP2 koduje białka, które znaleziono u ssaków, ptaków, ryb i gadów, a jego wersja (allel) u Neandertalczyków była taka jak u człowieka, sugerując podobny rozwój zdolności językowych.

Do czego w ogóle potrzebny jest mózg?

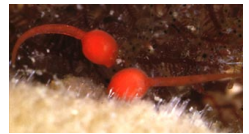
Mózg potrzebny jest do kontroli złożonego zachowania.

[Ptaki śpiewające](#) zwiększają w okresie godowym rozmiary swojego mózgu. Poza tym okresem nie potrzebują złożonych funkcji związanych ze śpiewem więc mózg się kurczy.

Co może się stać jeśli mózg przestaje być całkiem potrzebny bo organizm przestaje się poruszać?



Młoda [zachwa](#) pływa, ma mózg i powróżek nerwowy, podobna jest do kijanki.



Po szybkim osiągnięciu dojrzałości zachwa przytwierdza się do skały tworząc często kolonie.



Stopniowo wchłania swój mózg - nie jest jej już potrzebny o życia.



Pozostaje tylko węzeł nerwowy przydatny do kontroli filtrowania pokarmu.



Wniosek: ruch jest bardzo ważny, kontrola ruchu wymaga przetwarzania informacji przez mózgi. U ludzi istnieje również silna korelacja pomiędzy używaniem mózgu, jego sprawności i zapadaniem na różne choroby degeneracyjne, które zmniejszają zużycie energii przez mało używane mózgi.

Use it or loose it, czyli używaj albo strać, jak głosi anglosaskie przysłowie.

Generatory wzorców (CPG, Central pattern generators) wywołują rytmiczne skurcze mięśni.

CPG odpowiedzialne są za węzowate ruchy ryb, ruchy nagarniające u skorupiaków, filtrację pokarmu, ruchy stomatogastryczne, ruchy skrzydeł, ćwierkanie cykad i świerszczy, drżenie wibrysów, oddychanie, bicie serca. Powielanie takich generatorów umożliwiło bardziej złożone ruchy u płazów i gadów, złożoną kontrolę oddechu potrzebną przy rozwoju mowy i polykaniu (u ludzi wymaga to koordynacji aż 25 mięśni).

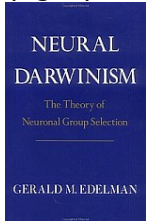
Przetwarzanie informacji zmysłowej wymaga pamięci, która mogła powstać jako często powtarzające się wzorce pobudzeń korelujące działanie CPG, pozwalając wyjść poza proste odruchy i stworzyć złożone funkcje



umysłowe.

Podstawową jednostką kory mózgu może być [mikroobwód oscylacyjny](#), powstały z generatora ruchu, który może znajdować się w kilku stanach oscylacji. Powielony w milionach egzemplarzy, realizujący proste odruchy, pamięć, a potem inne funkcje, znajduje się w pniu mózgu, hipokampie, korze. Proces ewolucji takich generatorów można prześledzić badając prymitywne zwierzęta: skorupiaki, minogi, ryby, salamandry, gady.

Ogólna anatomia i budowa komórkowa większości organizmów jest bardzo podobna. Mamy identyczne białka jak wiele bardzo prostych organizmów, bo komórki zarówno ludzi jak i muszki owocówki wykorzystują podobne mechanizmy komórkowe do oddychania, czerpania energii z pożywienia, reakcji na światło, wibracje, bodźce mechaniczne, sterowanie mięśniami. Różnice zachowań gatunków zwierząt są wyrazem różnicy budowy mózgow.



Perspektywa ewolucyjna odpowiada na pytanie "dlaczego" dana funkcja istnieje, a opisowa na pytanie "jak jest realizowana" na poziomie genetycznym, budowy ciała i działania mózgu. W jaki sposób z jednej komórki tworzy się złożony organizm wielokomórkowy? Jak różnicują się pluripotencjne komórki macierzyste w komórki somatyczne, które mają specyficzne funkcje? Znanych jest około [200 typów komórek](#). Jak substancje zwane [morfogenami](#) sterują tym procesem? To fascynujące pytania, ale na wykład z rozwojowej biologii molekularnej (developmental molecular biology) a nie nasz wstęp do kognitywistyki.

[Antropologia ewolucyjna](#) bada relacje pomiędzy zachowaniami społecznymi a ewolucją człowieka i małp naczelnych.

[Biologia ewolucyjna](#) ocenia rozwój zdolności poznawczych człowieka z punktu widzenia problemów adaptacji. "[Neuralny Darwinizm](#)" rozciąga perspektywę ewolucyjną na procesy zachodzące w mózgu, skupiając się na uczeniu przez selekcję możliwości.

Niemowlę może nauczyć się wszystkiego, co ludziom dostępne, ale dorastanie i starzenie to utrata potencjalnych możliwości. Skąd się biorą indywidualne różnice w szybkości uczenia? To jeszcze jeden przejaw **kompromisu pomiędzy stabilnością i plastycznością**, natura musi eksperymentować by w niesprzyjających warunkach ktoś przeżył: może to będą właśnie ci, którzy nie zmieniają zbyt łatwo poglądów.

Czego można się dowiedzieć z badania [dzieci zdziczałych](#), wychowywanych w izolacji lub wśród zwierząt?

Znanych jest [ponad 100 takich przypadków](#) (jednak część z nich jest mało wiarygodna lub słabo udokumentowana), pokazujących jak ważne jest wczesne wychowanie.

Czy pomimo braku kontaktów z mową będą w stanie się jej nauczyć?



[Eksperymenty z deprywacją mowy](#) prowadzono już w starożytności, by się dowiedzieć, jakim językiem mówili Adam i Ewa.

Historyk starożytny [Herodotus pisał](#), że faraon Psammetichus I (Psamtik) nakazał wychować parę dzieci w izolacji przez pasterza niemowlę; kiedy jedno z nich zawołało "bee" uznano, że to język frygijski, bo brzmiało to jak "chleb" w tym języku.

Jak pisał zakonnik Salimbene di Adam w Kronikach, w XIII wieku [Cesarz Imperium Rzymskiego Frederick II](#) (XIII wiek) próbował wychowywać niemowlęta bez kontaktu z mową, ale żadnych słów nie usłyszał.

[Jakub V Stewart](#) (Szkocja, XV wiek) trzymał dwoje dzieci w pomieszczeniach pod opieką niemowy; ponieważ nie nauczyły się mówić słusznie wywnioskował, że język nie jest wrodzony.

[Akbar Wielki](#) (Indie, XVI wiek) zrobił podobny eksperyment i uznał, że słyszenie mowy jest konieczne do jej nauki.

Więcej na temat [feral children](#), czyli dzieci zdziczałych, oraz [Feral Children](#) w Wikipedii.

Mało wiemy o osobach głuchych, których nie nauczono języka w dzieciństwie; takich osób jest dość dużo w krajach rozwijających się.

Chociaż nie potrafią zrozumieć wielu pojęć, rozwinąć "teorii umysłu" innych ludzi, radzą sobie w życiu wykonując proste prace.

Osoby głuche, które potrafią czytać, mogą mieć wrażenia słuchowe a ich myślenie ma charakter symboliczny, podobny do osób słyszących.

Znacznie trudniej jest doprowadzić do normalnego rozwoju umysłu w przypadku [głuchoślepoty](#).

Chociaż **język nie jest wrodzony to sama zdolność do nauki języka jest**; świadczą o tym zaburzenia genetyczne uniemożliwiające z różnych przyczyn naukę języka.

Specyficzne zaburzenie rozwoju językowego ([specific language impairment](#), SLI) wyraża się trudnościami w rozumieniu złożonych struktur językowych, uboższym słownictwem.

Na SLI cierpi około 5% ogólnej populacji. Ma to podłoże genetyczne, objawy przypominają późne uczenie się języka migowego, które uznaje się za efekt czysto środowiskowy.

Ruch "[kultury głuchych](#)" (deaf culture) nie uznaje głuchoty za upośledzenie, tylko za odmienny rodzaj ludzkiego doświadczenia; stąd sprzeciw wobec implantów słuchowych i innych metod przywracania słuchu. Możemy sobie wyobrazić w dalszej przyszłości alternatywne zmysły i ludzi tworzących odmiennie kultury wykorzystujących takie zmysły, np. sonar pod wodą.

Literatura:

- M. Marschark, P.C. Hauser, Deaf Cognition, OUP 2008.
- Laurence B. Leonard, SLI - specyficzne zaburzenie rozwoju językowego, GWP 2006
- Sacks O, Zobaczyć głos: Podróż do świata ciszy (Seeing Voices. A Journey into the World the Deaf). Zysk i Ska, Poznań, 1998.



B1.2. Geny i mózgi



Czy możliwości człowieka są w pełni zdeterminowane przez geny? Czy istnieje [determinizm genetyczny](#) i co by to oznaczało?

Czy ktoś takie poglądy głosi? **Heredytyzm** (przekonanie, że zachowanie wynika przede wszystkim z czynników dziedzicznych) wcale nie wynika z prac ewolucjonistów, chociaż media często wyciągają takie błędne wnioski przypisując je autorom popularnych książek o genetyce.

Określona strategia zachowań - np. niewierność małżeńska u ptaków lub ludzi - może być faworyzowana przez dobór naturalny: niewierni małżonkowie mają więcej potomków, ale jeśli mają zbyt wiele partnerek to nie wystarcza im czasu na obowiązki ojcowskie, przez co potomstwo ginie. Co się najbardziej opłaca?

Można w ten sposób wyliczyć statystyczne tendencje do zdrady w populacji, ale **nie określa to zachowania konkretnego osobnika**: nie ma tu determinizmu na poziomie jednostek tylko tendencje na poziomie populacji.

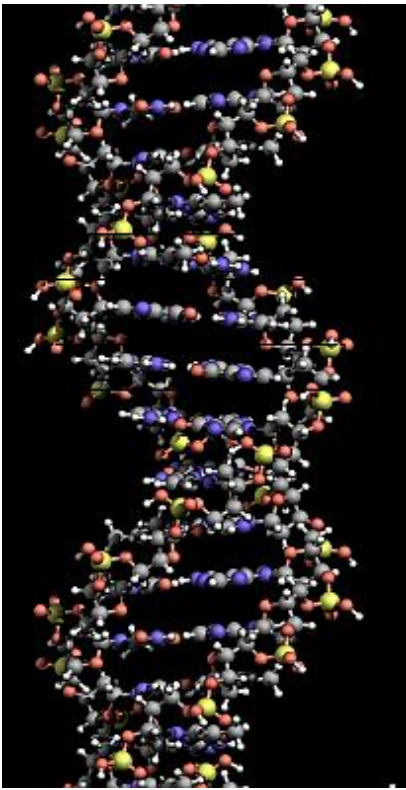
Niestety, geny nie są dobrą wymówką dla niewiernych mężów ... nie oznacza to jednak, że w przypadku poważniejszych zaburzeń genetycznych wysiłek woli wystarczy by przezwyciężyć wewnętrzny przymus, odczuwany przez hazardzistę, kleptomana czy osobę z zespołem Touretta.

Czy w genach jest dostatecznie dużo informacji by w pełni określić strukturę mózgu?

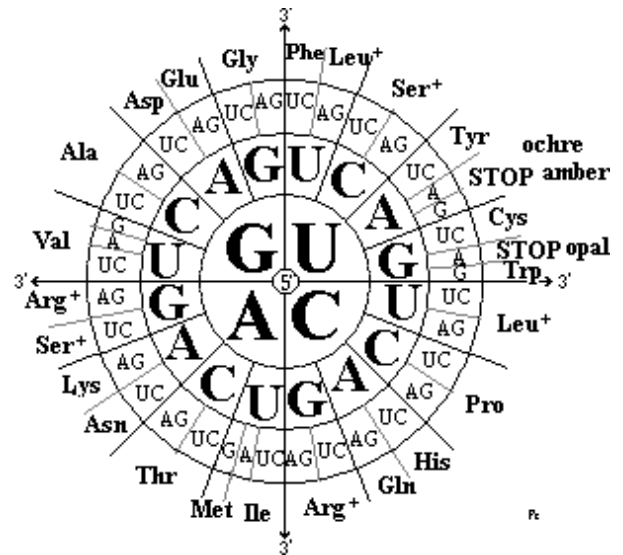
Złożoność informacji genetycznej.

[Język genetyczny](#)

DNA ma 4 litery,
kombinacje par
zasad
nukleinowych.



A-T, T-A,
G-C, C-G
A=Adenina,
T=Tymina,
G=Guanina,
C=Cytozyna



Kodony: 3 litery to jedna sylaba, $4 \cdot 4 \cdot 4 = 64 = 2^6$ możliwości.

Sylaby kodują wytwarzanie 20 aminokwasów łączących się w łańcuch białkowy, np. AAA to lizyna.

Gen to wyróżniony funkcjonalnie odcinek DNA (koduje zwykle kilka fragmentów zwanych egzonami, przedzielonych intronami), kodujący złożone z łańcuchów aminokwasów białka budujące komórki lub kontrolujące procesy w komórkach (enzymy). **Białka** tworzą się w wyniku **ekspresji** i transkrypcji **informacji zawartej w genach**.

Rozmiary: **od ziarnka kawy do atomu**, i piękne **wprowadzenie do genetyki**.

Mapowanie pierwszego **genomu człowieka** zakończono w 2004 roku po 13 latach pracy. **Ludzki genom** zawiera około 3 mld par zasad,

zorganizowanych w 22 pary chromosomów, oraz dodatkową parę chromosomów X/Y określającą płeć. Długość chromosomów waha się 50-247 Mbp (mln par zasad). Chromosom X ma długość 155 Mbp, a Y tylko 58 Mbp.

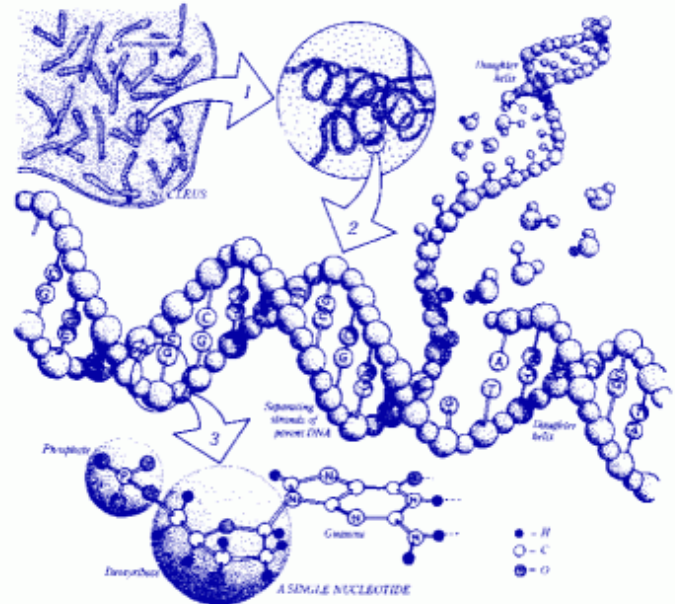
Niespodzianką była mała liczba genów kodujących białka, **nie więcej niż 20-25 tysięcy**. Nowsze oceny pokazują, że część domniemyanych genów wcale nie koduje białek, więc nie są to geny. **Liczba genów kodujących białka** to zaledwie około 19.000.

To zaskakująco mało, bo robaki mają też 19.000, a muszka owocowa 13.500!

Najprostsza **bakteria** ma ok. 500 genów, **wirusy** i **fagi (wirusy atakujące bakterie)** mają od kilku do kilkuset genów.

Niektóre rośliny, płazy, małże a nawet insekty mają **znacznie dłuższe genomy** niż ssaki (rośliny nawet 1000 razy!), ale liczba genów nie jest mocno większa.

Człowiek ma 3.2 mld par zasad (bp), a **ameba** ma najdłuższy znany genom, 670 mld bp, a akwaryjna rybka **prątlewiec abisyński** ma 130 mld bp! Długi genom nie zawsze jest lepszy ...



Tylko około 1.5% DNA człowieka to geny kodujące białka, reszta to [introny](#) (fragmenty genów niekodujące białek), [geny kodujące RNA](#), [sekwencje regulacyjne](#), i "junk DNA", którego funkcji nie znamy.

Prawdopodobnie jest to materiał, na którym przyroda może poeksperymentować.

Złożoność [sieci genetycznych](#), oddziaływań białkowych, może się znacznie różnić mimo podobnej liczby genów, w szczególności mają na nią wpływ fragmenty niekodującego DNA, w których wykryto liczne [polimorfizmy pojedynczych nukleotydów](#) (SNP).

Na poziomie genów kodujących białka możemy się różnić w nie więcej niż 10 genach od myszy, istotne różnice są w regulacji ekspresji tych genów, jak twierdzą uczestnicy [projektu ENCODE](#).

Białek jest znacznie więcej niż genów, z powodu różnych [procesów postranslacyjnych](#).

Nieredundantna baza sekwencji białkowych zgromadzona w [National Center for Biotechnology Information](#) zawierała pod koniec 2010 roku ok. 8 mln sekwencji, i podwajała się co 28 miesięcy, na początku 2015 roku przekraczając 52 mln, dla ponad 51600 organizmów.

Liczba interakcji między różnymi białkami w komórkach ludzkich to ok. 650.000 (zakładając liczbę białek równą w przybliżeniu liczbie genów czyli ok 26.000), u muszki owocówki 10 razy mniej, a u nicienia *C. elegans* 3 razy mniej ([Stumpf i inn., PNAS 2008](#)).

Nić DNA ma ok. 2 m długości i zwinięta jest w 23 parach [chromosomów](#).

[Chromosom 1](#) ma 245 milionów par zasad (liter), [chromosom 21](#) ma 47 milionów par zasad.

Cały genom człowieka ma ok. 3.2 mld liter = 1 mld sylab.

Liczba [komórek w ciele](#) człowieka jest rzędu 5×10^{13} (50 bilionów = 50T), czyli podobna do liczby synaps, jak i do liczby cząsteczek wody w jednym nanogramie (ok. 3.34×10^{13}).

Całkowita długość nici DNA w naszym ciele jest więc rzędu 10^{14} metrów, lub 10^{11} km, 100 mld kilometrów (prawie 4 dni świetlne).

Odległość Ziemi od Słońca to ok. 150 mln km, więc 666 razy mniej!

Gdyby rozwinąć i połączyć ze sobą wszystkie naczynia krwionośne można by opasać Ziemię ponad dwa razy! Połowa erytrocytów (czerwonych krwinek) odnawia się co tydzień, powstaje ich 120 mln na minutę, czyli w ciągu jednej godziny ponad 7 miliardów.

Liczba bakterii nieznacznie przewyższa liczbę komórek. Ocenia się, że mamy ok. 43% komórek ludzkich i 57% to bakterie, grzyby, wirusy, archea. Liczba genów bakteryjnych w naszym organizmie jest około 1000 razy większa niż w naszych komórkach ... jesteśmy [hybrydami komórek i bakterii!](#)

[Human Microbiome Project](#) analizuje na masową skalę [mikrobiom człowieka](#).

Metabolizm człowieka w znacznej mierze zależy od jego mikrobiomu.

[Earth Microbiome Project](#) to próba analizy mikrobiomów na całej planecie. Zaskakujący wynik z 2011 roku to zaledwie 3 typy (nazwane [enterotypami](#)) mikrobiomów w jelitach ludzi z całego świata, niezależne od płci, wieku, masy ciała czy pochodzenia etnicznego, oraz słaba zależność od diety.

W ramach projektu [MetaHIT](#) (Metagenomics of the Human Intestinal Tract) zbadano DNA bakterii w jelitach wielu osób i opisano 3.3 mln genów ich bakterii. U pojedynczej osoby zidentyfikowano średnio ponad pół miliona genów w bakteriach jelitowych, z czego ponad 200.000 jest podobna u wszystkich ludzi. Bakterie kontrolują około 20 tysięcy różnych procesów w organizmie.

Za to liczba wirusów w naszym ciele oceniana jest na [10 razy większą niż bakterii](#). Znakomita większość z nich nam nie szkodzi. Eksperci pracują nad [wiromem](#), profilem pokazującym ile jakich wirusów jest w ciele danej osoby.

Jesteśmy niezwykle skomplikowanymi organizmami, chociaż nie zdajemy sobie z tego sprawy.

Informacja w DNA: sylaba to 3 pary liter, są 4 różne litery, czyli jest 64 możliwości. Do zapisu jednostki informacji potrzeba więc 6 bitów, bo $2^6=64$.

Do zapisania genomu potrzeba więc 6 bitów/sylabę x 1 mld sylab = **około 6 Gbitów**, mniej niż 1 GBajt.

Jest to 250 tomów po 1000 stron, ok. 12 metrów półek, ale obecnie mieści się na łebku szpilki w pamięci półprzewodnikowej.

Ilość informacji genetycznej nie wzrasta od miliardów lat, jedynie jej organizacja się zmienia.

Płeć genetyczną determinują [chromosomy płciowe](#), czyli XX u kobiet a XY u mężczyzn.

[Chromosom X](#) ma wyjątkowo dużą liczbę genów związanych z mózgiem, więc większość zdolności dziedziczona jest po kądzieli.

To co dziedziczone zostało w większości w toku ewolucji nabyte lub utrwalone, więc podział na wpływ genów i środowiska jest dość rozmyty.

Dla genów najważniejszą częścią środowiska są inne procesy genetyczne. Pełny opis procesów wpływających na nasze zachowanie, od genetyki do środowiska, jest bardzo złożony i daleko do jego zrozumienia (np. Duch W, [Mózgi i Edukacja: w stronę Neurokognitywnej Fenomiki](#). 2013).

Ewolucja pozagenetyczna zachodzi dzięki informacji gromadzonej w mózgu.

Jak ocenić ilość informacji w mózgu?



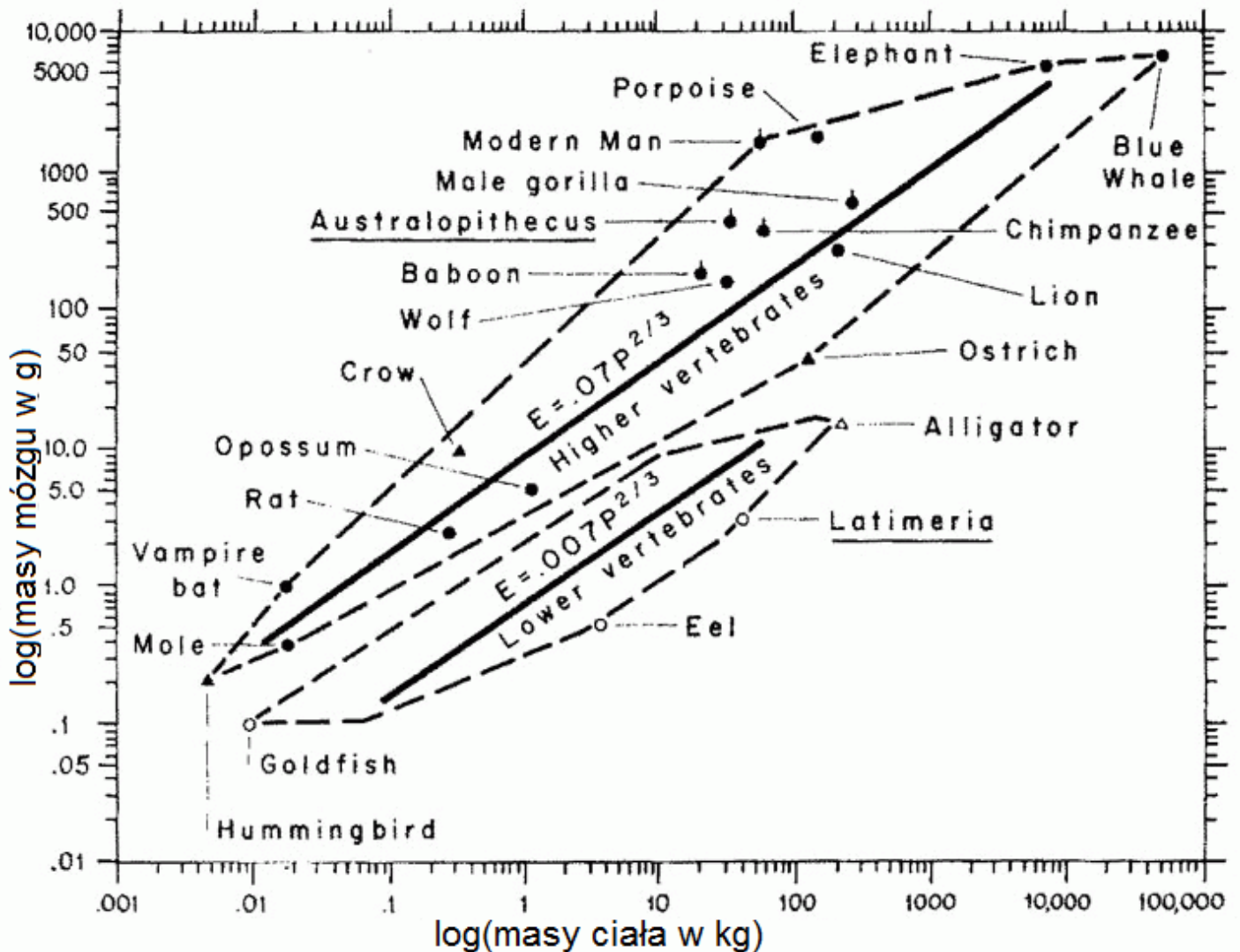
B1.3. Mózgi w liczbach i przetwarzanie informacji



[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, 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 > małe naczelnne > inne ssaki (rzędu 1/100) > ptaki > gady > płazy > ryby.

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?

Dinozaur o masie wieloryba miałby mózg 100 razy lżejszy. [Najcięższy mózg](#) ważył 9.2 kg i należał do kaszalota.

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.



[Moc elektryczna mózgu](#): ok. 20-25 Watów, osiągnięta już w trzecim roku życia. Wszystkie procesy zachodzące w ciele oceniane są na 100 Watów, czyli w ciągu doby około 24x100 W=2.4 kWh, czyli około 2000 kcal - w

[kaloriach](#) podaje się często wartość energetyczną produktów.

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.

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

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 recyding. 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).

Liczba stanów, jakie może przyjąć mózg jest teoretycznie nieograniczona, w praktyce niezwykle duża - na pewno wystarczy by każdemu stanowi mentalnemu przypisać odrębny stan 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 na 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.

Robak *C. elegans*, który ma 2/3 liczby genów człowieka, ma [tylko 302 neurony](#), ale mrówki lub muchy już około 1/3 miliona, a karaluchy i pszczoły koło miliona.

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

Powierzchnia kory człowieka: ok. 2500 cm²; delfiny, słonie i wieloryby mają znacznie większą powierzchnię kory. Względne proporcje 4 zewnętrznych płatów 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 odmiennie. W szczególności [pole BA10](#) zajmuje około 1.2% kory człowieka (14 cm³) 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 (świadczy o tym gęstość białej materii) niż u małych naczelnych. Jego granularna budowa cytoarchitektoniczna występuje tylko u naczelnych.

Dorosły człowiek ma ok. 86±8 mld neuronów w mózgu, w tym 69±7 mld w mózdzku, > 16±2 mld w korze, < 2 mld w obszarach podkorowych (pień, śródmózgowie, jądra podstawy mózgu).

Skalowanie masy, rozmiarów i liczby neuronów zgodne z regułami dla gryzoni daje przy masie ciała 70 kg masę mózgu tylko 145 gram, lub dla osiągnięcia 100 mld neuronów masę mózgu 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.

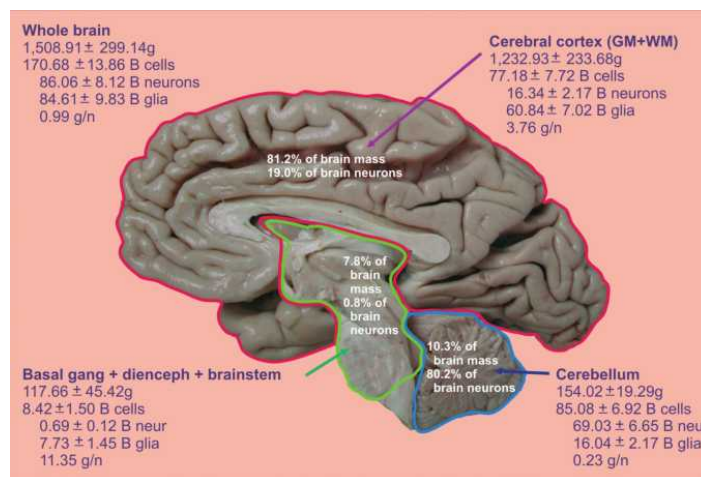
Około 3 roku życia człowiek ma 10^{15} synaps, liczba ta zmniejsza się kilkakrotnie wraz z wiekiem (uczenie następuje częściowo dzięki selekcji połączeń).

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

Milimetr sześcienny kory zawiera około 50.000 neuronów; typowy woksel 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 wokselu 1.5-2.4 mld synaps. W badaniach za pomocą rezonansu MRI widzimy więc ogromnie dużo neuronów i synaps.

Połowa 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 by 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 pobudzeń 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 inn 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.



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, więc równoważna moc obliczeniowa raczej nie przekracza 1 PFlopa.

Tak 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 zdania, 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.

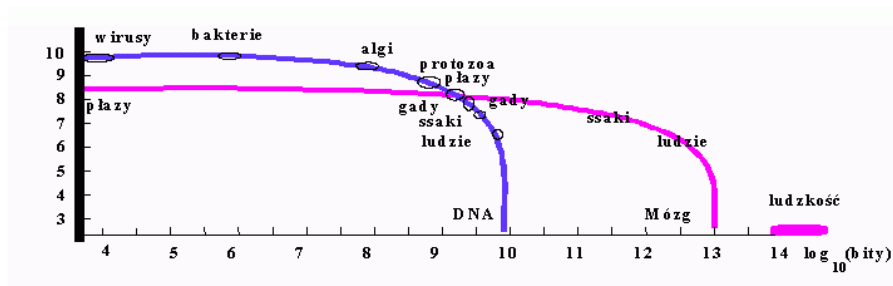
Mózg zbudowany na obwodach VLSI oceniany był koło 2010 roku na 10x10x32 metry, 10 TB RAM, 1-10 Pflopów. Najszybszy superkomputer [Summit](#) w 2019 roku oferował moc obliczeniową rzędu 200-1000 Pflopów używając 9 216 procesorów IBM POWER9 i 27 648 procesorów graficznych Nvidia Tesla V100 (2 397 824 rdzeni CPU+GPU) oraz 10 petabajtów pamięci RAM i 250 PB pamięci dyskowej, oraz potrzebując 13 MW mocy. To przekracza znacznie szybkość działania mózgu.



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 1200 mld elementów na jednej płytce. W ciągu dekady możliwości technologiczne budowy sztucznych mózgów zbliżyły się więc znacznie do biologicznych.

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 mózgu (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 rośnie.

Oszacowania neuroanatomiczne: mózg maksymalizuje ilość połączeń.

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

Jeśli między neuronami założyc 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.

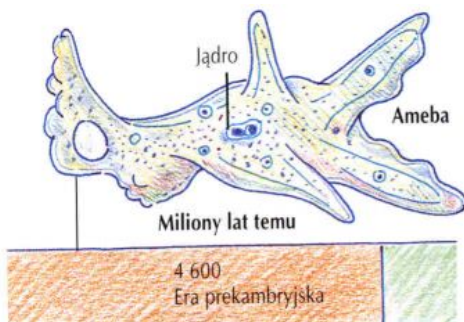
Jakby nie patrzeć geny nie mogłyby określić dokładnie budowy nawet 1/1000 wszystkich synaps.



B1.4. Ewolucja mózgow, porównanie różnych mózgow.

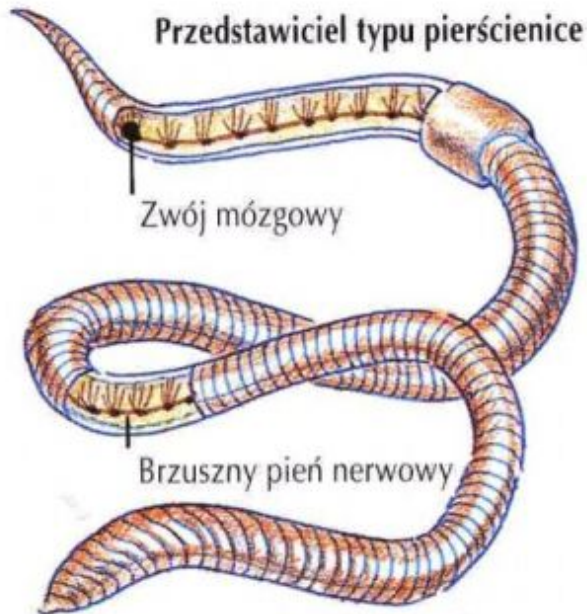


Mózgi zwierząt

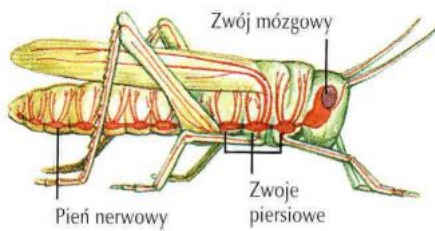


Ameby, powstałe prawie 4 mld lat temu nie mają układu nerwowego, podobnie wielokomórkowe gąbki; dopiero meduzy mają zaczątki nerwów.

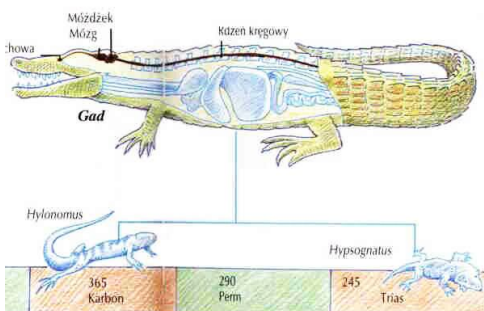
Pierścienice, jak ich poprzedniczki sprzed 500 milionów lat (Kambr), mają zwoj nerwowy w głowie oraz brzuszny pień nerwowy. Dlaczego mamy skrzyżowane wiązki nerwów, lewa strona kontrolowana jest przez prawą półkulę i odwrotnie? Bo najstarsze organizmy takie jak pierścienice wykształciły odruch skręcający! Wyjątkiem jest wąż, powstały z chemicznego zmysłu z przodu ciała. Organizacja połączeń w rdzeniu kręgowym nadal pokazuje ślady tego procesu (Sarnat i Netsky, 1974),



Ryby mają mózg, mózdzek, opuszkę węchową i rdzeń kręgowy. Pierwsze ryby z okresu syluru (440 mln lat temu) miały już zróżnicowany układ nerwowy.

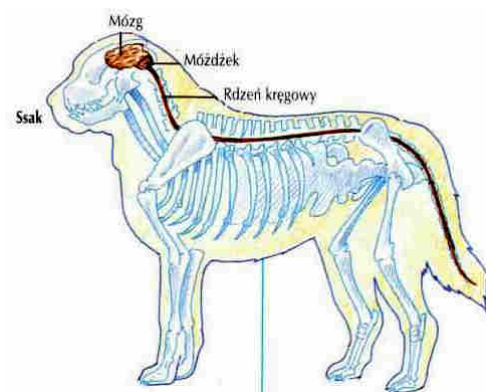


Konik polny ma ok. 16.000 neuronów. Owady powstały w dewonie, ok. 400 mln lat temu.



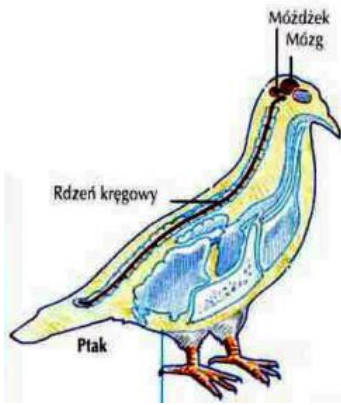
Mózg gadów jest wyraźnie większy i podzielony na dwie półkule. Głowa jest wysunięta do przodu, zgodnie z kierunkiem poruszania się, umożliwia to szybkie reakcje.

Mózg reguluje homeostazę, przetwarza dane zmysłowe i umożliwia złożone zachowania motoryczne.



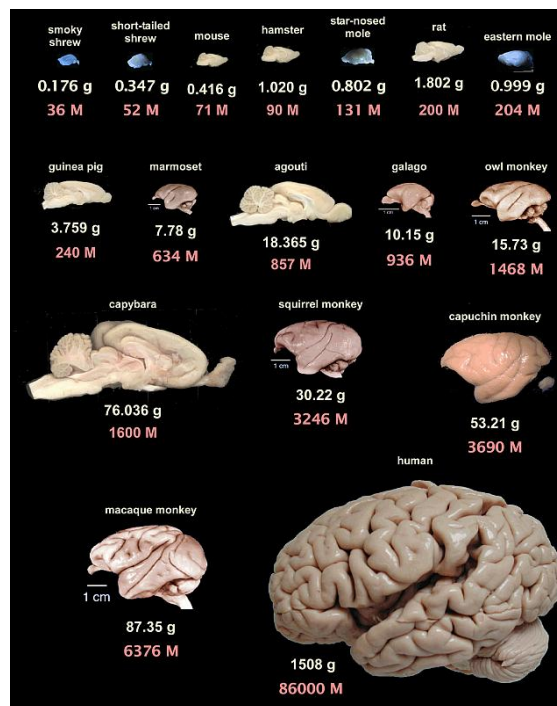
Ssaki, powstałe w okresie jurajskim (ponad 200 mln lat temu) mają znacznie większe mózgi z rozbudowanym układem limbicznym i rozrośniętą korą nową, która ma 6 warstw, tylko niektóre podkorowe struktury mają 3 warstwy neuronów.

[Ptaki mają złożone mózgi](#) z rozbudowanym

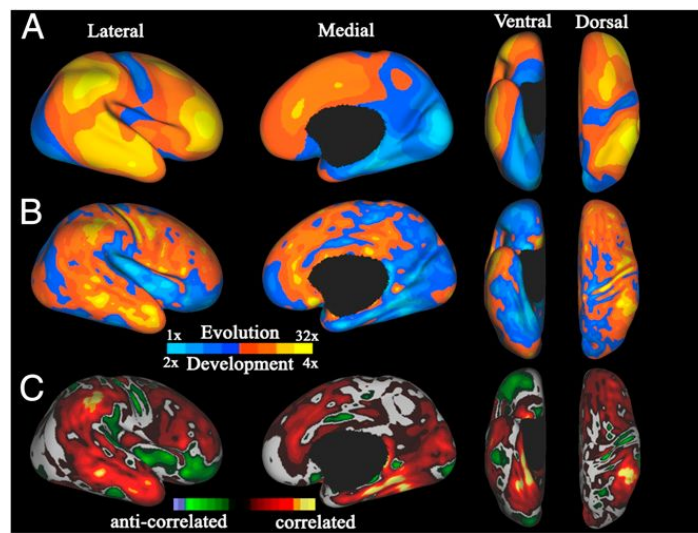


układem limbicznym, ale ich kora jest znacznie mniejsza niż u ssaków; chociaż plan budowy ich mózgow jest podobny do gadów to ich funkcja okazała się podobna jak u ssaków. W 2005 roku zmieniono nazwy struktur mózgow ptaków. Pomimo małych mózgow ptaki wykazują się wysoką inteligencją

Mózgi zwierząt są zarówno mikroskopijne jak i znacznie większe od człowieka. Stosunek objętości największego i najmniejszego mózgu to 1:100 000! Większe nie oznacza jednak bardziej złożone, np. mózg słonia jest dwa razy cięższy niż człowieka ale jego kora ma tylko 1/3 liczby neuronów (ok. 5-6 mld) kory człowieka (ok. 16 mld). Lew ma tyle neuronów w korze mózgu co pies o mózgu 3 razy mniejszym, a kot z mózgiem 10 razy mniejszym niż niedźwiedź brunatny ma [porównywalną liczbę neuronów](#). Wiele informacji o różnych mózgow zwierząt można znaleźć w "[muzeum mózgow ssaków](#)".



Zmiany wielkości obszarów kory u makaka i człowieka w procesie rozwoju i ewolucji ([PNAS, 2010](#)). Powierzchnia kory u noworodka to około 1/3 powierzchni dorosłej osoby. Porównano mózgi 12 noworodków i dorosłych. Powiększenie różnych regionów mózgu okazało się bardzo zróżnicowane. Boczna kora skroniowa, ciemieniowa i czołowa powiększyła się niemal dwa razy bardziej niż kora potyliczna czy kora wyspy. Porównując zmiany ewolucyjne, względną wielkość obszarów kory u makaka i dorosłego człowieka, można zauważyć, że to właśnie te obszary uległy największemu powiększeniu. Rodzimy się z mózgowi, których proporcje różnych obszarów korowych przypominają tu u starszych ssaków naczelnymi, ale mamy potencjał szybkiego rozwoju obszarów mózgu przydatnych do życia w społeczeństwie ludzkim.



A) Porównanie zmian wielkości obszarów kory u makaka i człowieka, żółty kolor oznacza 32x powiększenie zaznaczonych obszarów u człowieka, a więc efekty ewolucji. Powierzchnia boczna (lateral), przyśrodkowa (medial), brzuszna część kory (ventral) i grzbietowa (dorsal).

B) Zwiększenie wielkości obszarów kory od narodzin do pełnej wielkości mózgu, maksymalna zmiana to ok. 4 razy. Część potyliczna (układ wzrokowy) powiększa się w niewielkim stopniu.

C) Korelacja zmian ewolucyjnych i rozwojowych: widać szczególnie silne zmiany płatów skroniowych, odpowiedzialnych za mowę i rozpoznawanie obrazów.

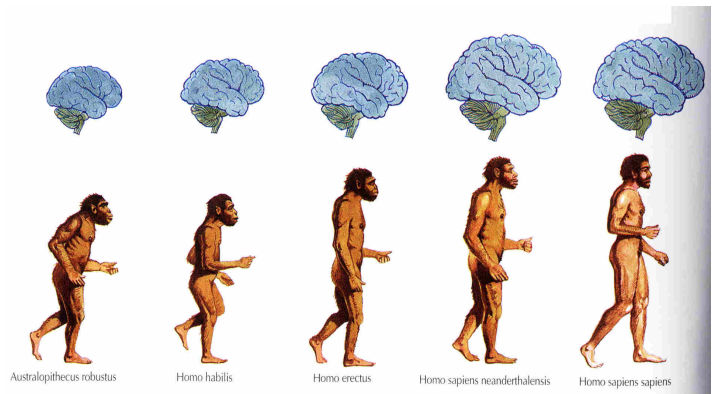
Przodkowie człowieka:

Australopithecus (4-5 mln lat, czaszka < 0.5 litra);

Homo habilis (2,5 mln lat, 0.65 l);

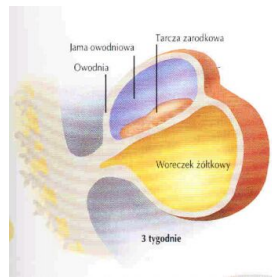
Homo erectus (1.5 mln lat, 1.0 l);

Homo neandertalis (1.6 l) oddzielił się od przodków *Homo sapiens* 250.000 lat temu, ostatni neandertalczyk żył ok. 35.000 lat temu. Nasze mózgi są nieco mniejsze.



Mózg człowieka uważano początkowo za wyjątkowo duży, ale nie było dobrych metod oceny liczby neuronów i złożoności mózgu. Dopiero w ostatnich latach okazało się, że nie jesteśmy wybrykiem ewolucji. Nowe metody oceny liczby neuronów, ich zależność od gęstości i masy mózgu, pozwoliły porównać ze sobą wiele gatunków zwierząt i ustalić jak różne wielkości się skalują. Masa mózgu M u małych naczelników rośnie prawie liniowo w zależności od liczby neuronów $M=aN^{1.1}$, ale u innych zwierząt rośnie szybciej, $M=bN^{1.6}$. Kora człowieka pasuje do tej zależności. U naczelników jest więc znacznie więcej neuronów przy tej samej masie mózgu co u gatunków należących do innych rzędów, a różnica ta jest szczególnie duża w przypadku ludzkiego mózgu, który ma wyjątkowo dużo neuronów ([S. Herculano-Houzel, 2020](#)).

Czy inteligencja wymaga mózgu ssaka, czy to jedyny schemat pozwalający na inteligentne zachowanie? Wątpliwe, bo niektóre ptaki, np. [papugi](#) czy [krukowate](#), mają inteligencję porównywalną z inteligencją małp, a ich mózgi mają całkiem inną strukturę. Obrażliwe określenie "ptasi mózdzek" okazało się nieprawdziwe. Nie ma u nich typowej kory nowej i przez długi czas trudno było zidentyfikować odpowiadające jej struktury. Dopiero w 2020 roku [udało się pokazać](#), że struktura połączeń płaszczki mózgu ptaków przypomina tę u ssaków. Nie wiemy jakie jeszcze gatunki mogły rozwinąć abstrakcyjne zdolności do myślenia.



[Pierwsze neurony](#) powstają w 4-5 tygodniu rozwoju embrionu z ektodermy (powstaje z niej też skóra), dzięki ekspresji [genów homeotycznych](#) (regulatorowych), podobnych dla muszki owocówki i człowieka - proces ten znany jest jako [neurulacja](#). Na tym etapie trudno jest rozpoznać z jakim gatunkiem mamy do czynienia. Przekonanie, że jest to [homunculus](#), "mały człowieczek", powstało w 16 wieku, ale jest całkiem błędne. Neurony wysyłają impulsy elektryczne próbując zsynchronizować swoje działania dopiero w 24 tygodniu ciąży w korze przedczołowej. Wcześniej neurony nie są jeszcze gotowe do wysyłania impulsów. Najpierw tworzy się więc struktura, a pierwsze funkcje pozwalające na odczuwanie bodźców znacznie później ([Fan i inni, 2020](#)). Genetyczny plan jest bardzo ogólny: kierunek wzrostu neuronów sterowany jest za pomocą stężenia białek, zwanych [czynnikami neurotroficznymi](#), NGF ([nerve growth factor](#)) i wieloma innymi czynnikami wzrostu. Ważna jest nie tylko genetyka ale i ścieżki sygnałowe ([signaling pathways](#)).

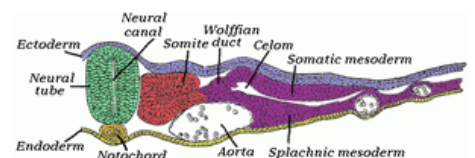
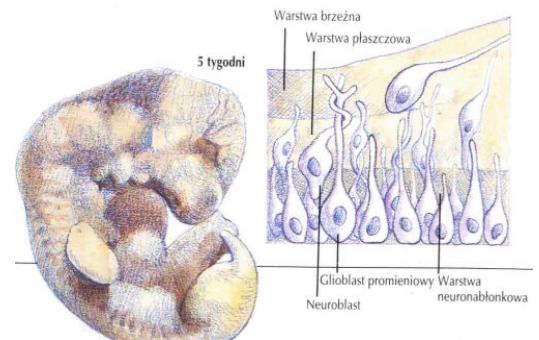
Mutacja jednego genu LIS 1 z chromosomu 17 daje w wyniku brak pofałdowania kory mózgu i poważny niedorozwój ([zespół Millera-Diekera](#)). Neurony dzielą się ok. 70-100 razy, a potem przestają ([poza wyjątkami](#)). Dlaczego? Zbyt duża plastyczność uniemożliwiłaby utrzymanie stabilnego obrazu świata.

[Rozwój mózgu u wszystkich ssaków](#) przebiega podobnie.

Cewka nerwowa u wszystkich kręgowców tworzy 5 pęcherzyków.

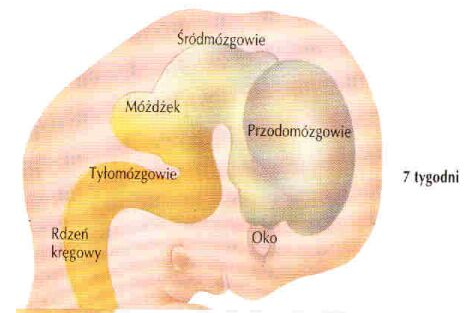
Gady, płazy i ptaki mają tylko 3 warstwy neuronów w korze, ssaki mają 6, ale w mózdku i starej korze limbicznej są też tylko 3 warstwy.

U szympansa jest 3 podziały neuronów mniej niż u człowieka, w efekcie jest $2 \times 2 \times 2 = 8$ razy mniejszej kora. Nowe warstwy u ssaków przebijają się do góry, po czym górna warstwa starych neuronów



wymiera. Ewolucja nie potrafi przeprojektować istniejących rozwiązań od nowa, a jedynie je modyfikować. Dolne warstwy (VI) kory wypuszczają aksony w stronę wzgórza i odwrotnie. Animacja [rozwoju mózgu myszy](#).

Z 5 pęcherzyków rozwija się [mózgowie](#), najpierw: rdzeniomózgowie (rdzeń przedłużony), [tyłomózgowie](#), które rozwinie się w most i mózdzek, [środmózgowie](#) (nakrywka pnia mózgu i pokrywa), [międzymózgowie](#) (układ limbiczny, oczy, szyszynka) i na końcu [kresomózgowie](#) - kora nowa, układ węchowy, jądra podstawy mózgu. Zawiązki [mózdżku](#) u człowieka widoczne są dopiero w 12 tygodniu.



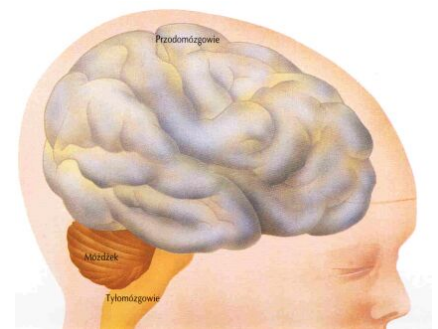
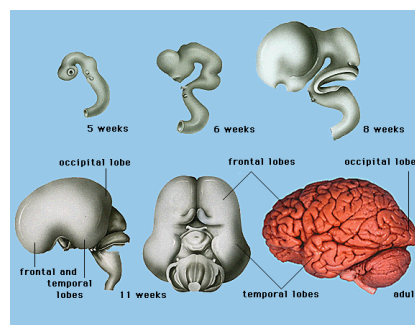
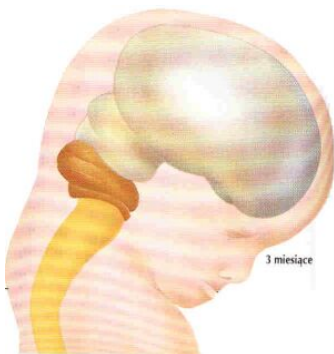
Następuje szybka faza rozwoju układu nerwowego, a potem faza regresji, czyli [apoptoza](#), zaprogramowana śmierć komórek. W korze mózgu wymiera 50 do 90% komórek i następuje znaczna reorganizacja kory. Dlaczego takie marnotrawstwo?

Skoro kora wzrokowa jest z tyłu głowy a oczy z przodu aksony neuronów z komórek przesyłających informacje z siatkówki muszą trafić najpierw do wzgórza a potem do formującej się kory. Precyzyjne sterowanie tym procesem byłoby cudem. Neurony wypuszczają długie aksony rosnące w kierunku wyznaczanym przez stężenie rozlicznych [czynników wzrostu](#). Brak precyzji genetycznego i chemicznego sterowania rozwojem neuronów wymaga apoptozy - przeżyją tylko najbardziej przydatne neurony. W toku ewolucji kształt organizmu uległ zmianie, ale DNA nie jest optymalnie zorganizowane, więc powstają struktury, które następnie zanikają na skutek śmierci komórek. Np. palce oddzielają się od siebie, nie mamy między nimi błony czy kaczycy łap, bo komórki obumierają.

Śmierć komórek na skutek szkodliwych czynników (mechanicznych lub toksycznych) nazywa się nekrozą. Podstawowe fakty na temat [Apoptozy i nekrozy są tu](#).

Szlaki nerwowe powstają przed receptorami, dlatego rola czynników wzrostu jest bardzo ważna. Część aksonów neuronów nerwu wzrokowego nie trafia do kory wzrokowej po przeciwnej stronie mózgu, kończy w innych obszarach i powinna obumrzeć by uniknąć synestezji.

Maksymalne tempo wzrostu mózgu przypada w okresie 5 miesiąca rozwoju płodowego do 1 roku po urodzeniu. Dokładniej rozwój embrionu [opisany jest tutaj](#) a rozwój [układu nerwowego tutaj](#).



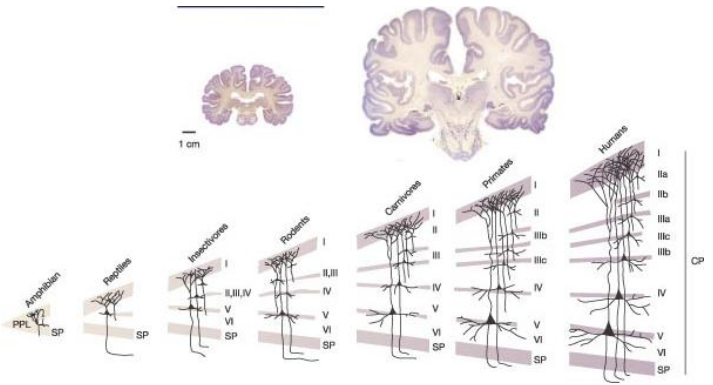
4 miesiące:

- Da się wyróżnić 15 schematów ruchowych, pierwsze specyficzne odruchy.
- Są reakcje na światło.

- Na poziomie pnia mózgu pojawia się nieregularna aktywność elektryczna.
- Różnicowanie wrażeń smakowych.

5 miesięcy:

- Smak jest w pełni sprawny.
- Są reakcje na dźwięki.
- Otwieranie oczu (około 157 dni rozwoju).



6 miesiąc: odróżnialne są stany snu i czuwania,

obserwowane reakcje na mowę. Pojawia się pofałdowanie kory i synchronizacja impulsów neuronalnych.

8 miesięcy: widoczny sen REM i ruchy gałek ocznych.

Budowa kory u płazów i gadów jest nie pozwala wyróżnić warstw, owadożercy mają 3 warstwy, a gryzonie 4 warstwy. Ssaki naczelnne mają już 6 warstw. U człowieka kora jest grubsza i da się wyróżnić kilka dodatkowych podwarstw.

Skan rozwoju płodowego, od 18 do 39 tygodnia ([Cerebral Cortex, 27, 5275, 2017](#)).



Narodziny: duży mózg sprawia w czasie porodu najwięcej kłopotów, chociaż jego masa to zaledwie 1/4 mózgu dorosłego, osiąganego w wieku 17-18 lat.

Dlaczego ludzkie dzieci rodzą się zupełnie niezdolne do samodzielnego życia? Czemu ciąża nie trwa dłużej? Czemu ludzie nie rodzą bardziej dojrzałe dzieci, podobnie jak większość zwierząt? Czemu miednica kobiet w trakcie ewolucji nie zrobiła się znacznie szersza, ułatwiając poród?

Nazywa się to [dylematem położnika](#). Ważną przyczyną są wydatki energetyczne, potrzebne na rozwój i utrzymanie przy życiu płodu. Poród następuje w czasie, w którym organizm nie jest już w stanie dalej zapewnić rozwój płodu. Wielkie mózgi sprawiają kłopot - czytajcie "Galapagos" K. Vonneguta! W bólach rodzic będziesz ... to wszystko przez ten wielki mózg.

Scientific American na temat [rozwoju więzi dziecko-matka](#); gdyby nie silna więź trudno by się było zdecydować na trudy wychowania. Dotyczy to wielu gatunków zwierząt, nie tylko ssaków.

Wiele gatunków ma po urodzeniu 80% masy mózgu; [delfiny mają ok. 42%](#) i masa ta powoli zwiększa się przez 9-10 lat.

Nie tylko rozmiary mózgu wzrastają, lecz również stopień komplikacji kory mózgu, przede wszystkim kory nowej. Czego można się spodziewać w wyniku rosnącej złożoności kory? Inteligencji!

Gwałtownie wzrasta gęstość synaptyczna połączeń między neuronami, w korze od 2 500/neuron w momencie narodzin, do około 15 000 w wieku 3 lat i spada powoli do połowy tej wartości.

Aktywność mózgu (w sensie zużycia energii) rośnie, w wieku 2 lat osiąga poziom dorosłego, w wieku 3 lat przewyższa go dwa razy i wysoka aktywność utrzymuje się do 9-10 roku życia, po czym powoli się zmniejsza by osiągnąć stabilny poziom koło 18 roku życia.

Ile neuronów powstaje już po urodzeniu? Trudno to ocenić. W pracy [Sanai i inni \(2011\)](#) pokazano, że u 18-miesięcznych dzieci zanika szlak migracji nowych neuronów, które powstają w obszarach podkomorowych i wędrują do płatów przedczołowych oraz opuszki węchowej (stary szlak).

Płaty przedczołowe nie są mocno wykorzystywane przez niemowlaki, więc można je powoli rozbudować, dzięki czemu mózg w momencie narodzin nie musi być jeszcze większy. Przebudowa kory ruchowej musiałaby spowolnić uczenie się kontroli ciała, więc nie jest dopuszczalna. Mamy tu kompromis między wielkością mózgu, rozmiarami miednicy i sprawnością chodzenia, oraz funkcjami potrzebnymi po narodzeniu i koniecznością długotrwałej opieki nad dziećmi.

Rok po urodzeniu kora ruchowa łączy się z lędźwiową częścią rdzenia kręgowego, powoli zanika [objaw Babińskiego](#).

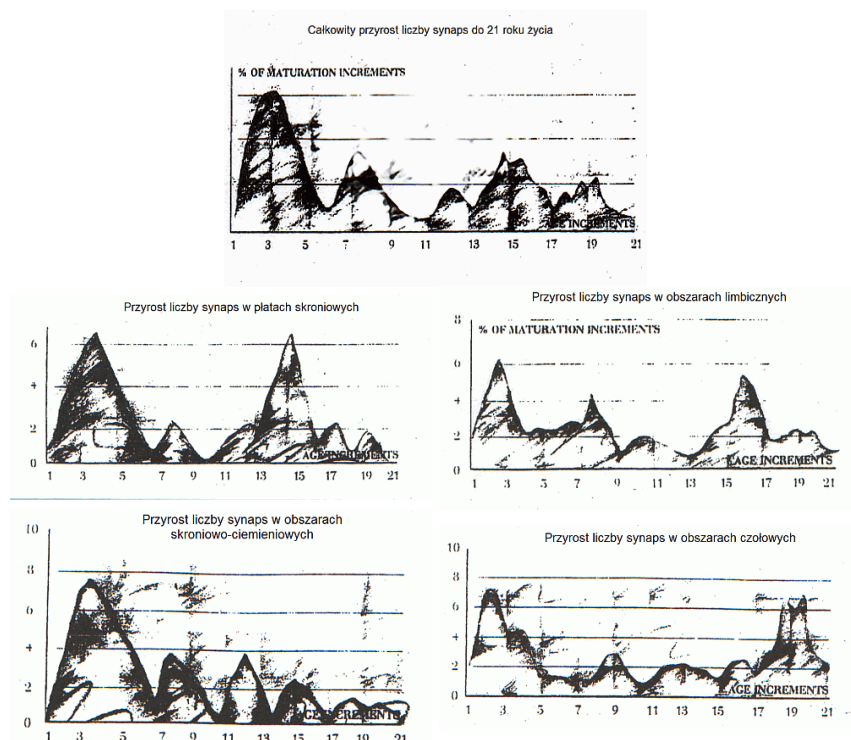
2 latach następuje masowa reorganizacja kory mózgu, [amnezja dziecięca](#), zapominanie zdarzeń z pierwszych dwóch lat życia.

W wieku 6 lat mózg jest 3 razy większy niż w momencie narodzin.

Ok. 12 roku życia następuje powolna stabilizacja płatów czołowych.

Dopiero koło 20 roku życia kończy się reorganizacja kory, chociaż niewielkie zmiany (czy na pewno niewielkie - tak się obecnie wydaje), np. związane z mielinizacją aksonów pozwalającą na szybsze przewodzenie impulsów nerwowych następują przez całe życie.

Poniższe rysunki poniżej są bardzo szkicowe, trudno jest znaleźć wyniki dokładniejszych badań nad tempem rozwoju połączeń synaptycznych. W ramach



Etapy rozwoju mózgow u ssaków są bardzo podobne. Naturalną skalą czasową jest moment otwarcia oczu: u człowieka to $T=6$ miesięcy (około 157 dni).

Neurony w warstwach kory u ssaków formują się w czasie $30\%T$ dla warstwy V, $100\%T$ dla I oraz II.

Każdy ma trochę inny mózg, na jego rozwój ma wpływ odżywianie, zatrucia chemiczne, skład chemiczny wód płodowych, traumatyczne przeżycia. Bliźnięta jednojajowe mają po narodzeniu prawie identyczne mózgi ale w miarę upływu lat stają się coraz bardziej zróżnicowane. Można to porównać w badaniach za pomocą rezonansu MRI.

Dlaczego dziecko potrzebuje tak wielu lat by się rozwinąć i usamodzielnic?

Przyczyną są wymogi energetyczne budowy tak złożonego mózgu. W wieku 5 lat aż 2/3 energii niesionej przez glukozę wędruje do mózgu, na szybki wzrost ciała nie ma dostatecznie dużo energii ([Christopher Kuzawa i inn. PNAS 2014](#)).



B1.6. Niedawna i przyszła ewolucja mózgu i umysłu



Przez wiele lat dyskutowano, czy zachowanie człowieka określone jest przez [geny czy środowisko](#) (nature vs. nurture)?

Początkowo sądzono, że "duch rządzi materią": geny ani warunki środowiskowe nie mają znaczenia, bo człowiek ma wolną wolę i może podjąć decyzje jak się zachować. Później pojawiło się przekonanie o dominacji środowiska.

Jednakże już [Donald Hebb](#) stwierdził, że zachowanie zależy w pełni od obu tych czynników, nie można odjąć jednego z nich, więc nie ma też sensu mówić o dodawaniu.



Psychoanaliza "odkryła", że autyzm jest wynikiem oziębłości matki, zbyt natrętnego sadzania na nocniku, a amnezja dziecięca to konieczność represji wspomnień. Tymczasem autyzm i amnezja mają podłoże biologiczne - czy to oznacza, że zawsze obowiązuje genetyczny i neuronalny determinizm?

Determinizm neuronalny oznacza, że człowiek musi tak się zachowywać, jak mu neurony dyktują, i wyższe procesy nie mogą tego zmienić.

Przez lata zaprzeczano biologicznej naturze ludzkiej. Dlaczego?

Może lepiej o różnicach zapomnieć bo "wszyscy ludzie zostali stworzeni równymi"? Chodzi oczywiście o równość wobec prawa, ale nie równość szans życiowych ... niedożywione i zaniedbane mózgi nie mają szans się rozwinąć.

Pomimo wielkich oporów (wielu ludzi nie chce tego wiedzieć) genetyka zachowania (behawioralna) dobrze udokumentowała związki genów z przestępczością i z różnicami inteligencji.

[Socjobiologia](#) oraz psychobiologia i psychologia Darwinowska prowadzi głównie badania nad zwierzętami.

[Psychologia ewolucyjna](#) tłumaczy ewolucyjne przyczyny ludzkich zachowań.

[Minnesota Center for Twin and Adoption Research](#) jest jedną z najważniejszych instytucji prowadzących badania [nad bliźniakami](#) od 1979 r.

Ta dziedzina pełna jest kontrowersji: jak określić procent wpływu różnych czynników?

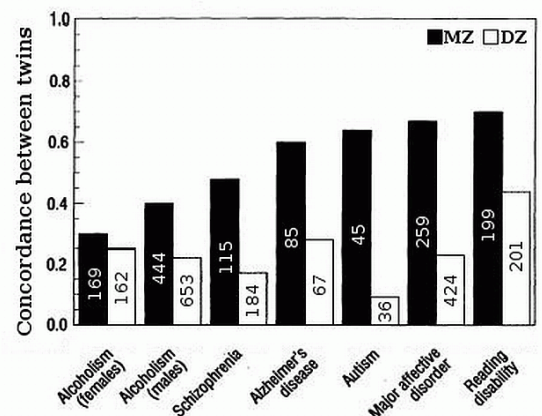
Czy w 70% [inteligencja](#) wynika z genów, a tylko w 30% jest wynikiem środowiska? Inne badania dają mniejsze korelacje, trzeba odrzucić mutacje prowadzące do chorób układu nerwowego.

Korelacja IQ u dzieci niespokrewnionych wychowanych w tych samych warunkach jest znacznie mniejsza, rzędu 20%, widać więc wpływ genetyki. Korelacja różnych cech osobowości, skłonności lub zaburzeń psychicznych może być różna. Na wykresie widać takie różnice pomiędzy korelacjami dla bliźniąt jedno i dwujajowych, od poziomu 0.3 skłonności do alkoholizmu do 0.7 dla problemów z nauką czytania.

30 razy więcej mężczyzn skazano za morderstwa niż kobiet; może to poziomu testosteronu?

Ale w Chicago ludzie są 30 x bardziej skłonni do morderstwa niż w Anglii. Może więc to dostęp do broni? ([Crime and Human Nature, 1985](#)).

Widać więc, że wiele czynników ma wpływ na zachowanie.



Debata natura-środowisko straciła na znaczeniu: nie ma tu liniowej przyczynowości, sam [genetyczny determinizm](#) czy [biologizm](#) jest prawdziwy tylko w przypadku ciężkich zaburzeń (np. [zespół Downa](#), [zespół Ushera](#) powodujący głuchosłepotę, lub inne [choroby genetyczne](#)); poza takimi przypadkami natura i środowisko mają porównywalny wpływ.

Tendencja do używania gramatyki jest genetyczna ale na wybór konkretnego języka wpływ ma środowisko. Nie zawsze jednak rozróżnienie jest tak proste.

Aktualne pytanie to: w jakich warunkach środowisko może zmienić organizm, a zwłaszcza mózg? Może go zatruć lub uszkodzić (np. w wyniku udaru mózgu), wywołując ewidentne zmiany, ale może też zmienić ekspresje genów, być może nawet utworzyć nowy proces na poziomie genetycznym i molekularnym. Jest wiele chorób układu nerwowego wynikających z zaburzeń normalnego rozwoju, np. [agenezja ciała modzelowatego](#).

Na ile silne mogą być wpływy wynikające z czynników zewnętrznych, od pożywienia, warunków klimatycznych, geograficznych, aż do społecznych i relacji osobistych?

Efekt placebo pokazuje wyraźnie, że informacja słowna może wywołać stan psychiczny, który zmienia mózg i poprzez to cały organizm. Zajmiemy się tym w dalszej części wykładu.

Co steruje naszym życiem? W części popędy biologiczne, ale kiedy zaspokojone zostaną podstawowe potrzeby (obrazuje to [piramida Maslowa](#)) pozostają ogólne wzorce zachowań, wynikające z doświadczeń emocjonalnych kontaktów z ludźmi i środowiskiem, mobilizacji organizmu do specyficznych form działania. Wzorce zachowań przejmowane są od opiekunów i w początkowym okresie dotyczą głównie reakcji emocjonalnych - pobudzenie emocjonalne prowadzi do działania, na które środowisko powinno zareagować w sposób, który to pobudzenie redukuje, pozwalając organizmowi wrócić do stanu równowagi. Część regulacji możliwa jest w pętli receptory zmysłowe => wzgórze i kora węchowa => kora zmysłowa => interpretacja => reakcje emocjonalne => prądkowie i kora ruchowa => działanie => zmysły.

Niemowlę uczy się kojarzyć swoje działania ze skutkami, podejmuje celowe działania wykorzystując sygnały emocjonalne, chociaż nie jest jeszcze zdolne do świadomego planowania swoich celów. Może się zaadoptować do dowolnych warunków, repertuar ludzkich możliwości jest znacznie szerszy niż jakiegokolwiek zwierzęcia. Jesteśmy przystosowani do ekologicznej niszy maksymalnej adaptacji.

Różnice po narodzinach dotyczą gęstości połączeń różnych obszarów mózgu, szybkości reakcji, progów wrażliwości na ból, temperaturę, głód i pragnienie, stwarzając podstawy do formowania się osobowości. Tendencje i nabyte w dzieciństwie nawyki nie oznaczają wcale, że musimy im ulegać, chociaż złe nawyki trudno jest wytepić.

Niemowlę rodzi się z [wieloma odruchami](#), pozwalającymi na orientację w stronę bodźców dotykowych i akustycznych, chwytanie, ssanie, mruganie, ziewanie, odruchy żreniczne, wkrztuśne, [odruch Babińskiego](#), [odruch Moro](#), [odruch szukania](#), i szereg innych, umożliwiających regulację organizmu.

[Psychologia rozwojowa](#) bada procesy rozwoju niemowląt i dzieci we wszystkich aspektach, percepcji, zdolności poznawczych, emocjonalnych, językowych, społecznych.

Spontaniczny uśmiech i objawy stresu pojawiają się od początku, uśmiech związany z kontaktem społecznym koło 6-10 tygodnia, a śmiech w 3-4 miesiącu, mniej więcej w tym samym czasie co złość. Objawy strachu są widoczne w 6-12 miesiąca, strachu przed nieznanymi 8-12 miesiącu.

1. Wzrok jest początkowo słaby ale już po 6 miesiącach osiąga ostrość dorosłego, a w 4 miesiącu lub wcześniej rozróżniane są kolory.
2. Niemowlaki po urodzeniu mają dobrze rozwinięty słuch, preferują głos matki, słuchanie mowy w jej języku, złożone tony, orientują się w stronę źródła dźwięków. Uczenie się rozróżniania specyficznych dźwięków mowy (fonemów) już przed ukończeniem 12 miesięcy skutkuje zanikiem zdolności do rozróżniania kontrastów fonetycznych nie spotykanych w języku natywnym. Koło 18 miesiąca słuch jest na poziomie dorosłej osoby (Berk, 2012).
3. Preferencje smakowe i zapachowe formują się już w okresie prenatalnym i po urodzeniu widoczne są reakcje wstrętu i przyjemności na zapachy i smaki.
4. Dotyk również rozwija się już w łonie, kora somatosensoryczna reaguje na bodźce czuciowe, temperaturę i ból.

Już 3-miesięczne niemowlaki wykazują zrozumienie [trwałości obiektów](#), które znikają chwilowo z pola widzenia.

Generalizacja własnych doświadczeń prowadzi do intuicyjnych przekonań, które nie zawsze się sprawdzają. 6-latki i młodsze dzieci ustawiają pręt w środku na deseczce tak, że jest on w równowadze. Jednakże jeśli jeden koniec pręta jest cięższy to młodsze dzieci potrafią go ustawić metodą prób i błędów, a 6-latki mają z tym problem i wpadają w złość uznając, że nie jest to możliwe.

Dotychczas prowadzone jest tylko jedno naprawdę długoletnie badanie, w którym brało udział początkowo 1037 osób, urodzonych w tym samym mieście (Dunedin na Nowej Zelandii). Po 40 latach nadal około 95% osób, które były obserwowane jest poddawanych różnorodnym badaniom. Obejmują one zarówno aspekty zdrowotne jak i psychologiczne i społeczne, badania genetyczne i testy behawioralne.

Te badania pozwalają oddzielić wiele czynników, które zwykle utrudniają znalezienie związków przyczynowych w badaniach dotyczących ludzi. W sumie w ciągu 40 lat opublikowano ponad 1200 doniesień naukowych. Okazało się np. że jeden z wariantów [genu COMT](#) (są tylko 3 jego allele), znajdujący u 1/4 populacji znacznie zwiększa prawdopodobieństwo rozwoju psychozy i stanów lękowych u osób, które paliły marihuanę przed 15 rokiem życia. Ten gen tworzy [katecholo-O-metylotransferazę](#), enzym (nazywany również COMT) degradujący między innymi dopaminę, adrenalinę i noradrenalinę (związki z grupy katelocholamin). Szczególnie w korze przedczołowej zmienia to neurotransmisję.

[The Dunedin Multidisciplinary Health and Development Study.](#)

A co z świadomością?

Julian Jaynes, psycholog z Princeton, w popularnej książce ["Narodziny świadomości w załamaniu się podzielonego umysłu"](#) argumentuje, że samoświadomość w obecnej formie istnieje zaledwie od 3-4 tysięcy lat.

Sny na jawie (daydreaming) były powszechne w świecie starożytnym i poważnie traktowane, np. w Iliadzie Homera czy Biblii pełniły ważną rolę, prorocze sny były równie ważne jak wizje. Nie widać natomiast rozważań opartych na introspekcji. Język początkowo był dosłowny, najpierw pojawiły się rzeczowniki, później skojarzenia opisujące świat wewnętrzny.

Czasowniki abstrakcyjne pochodzą od konkretnych pojęć, np. w sanskrycie: "być" - "bhu", czyli rosnąć; "jestem" - "amsi", czyli oddychać (ang. "am", niem. "atmen").

Przejście od epoki zbieracko-myśliwskiej do osiadłego trybu życia związanego z rolnictwem i powstaniem miast, spowodowane było między innymi napływem większych grup ludności w pobliże Nilu ze względu na pustynność Sahary. Jaynes spekuluje, że kierowanie dużymi grupami ludzi ułatwiały głosy przywódców, które przypominały o wydanych poleceniach. Pomagało to regulować zachowania społeczne, utrzymywanie dyscypliny, wydawanie sobie poleceń pomagających wytrwać przy ciężkiej pracy na roli.

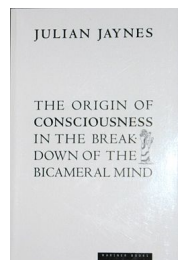
Bruno Snell w ["The Discovery of the Mind"](#) na podstawie analizy tekstów klasycznych również twierdzi, że pomiędzy czasami Homera a Sokratesa nastąpiła zmiana sposobu świadomego przeżywania. Idee te są rozwijane przez [Julian Jaynes Society](#), ale ma to bardziej charakter stowarzyszenia *new age* niż naukowego. Słabością hipotezy Jaynesa jest fakt, że w dalszym ciągu istnieją na świecie grupy zbieracko-myśliwskie i nie widać u nich skłonności do halucynacji. Nie wyklucza to istnienia jakiegoś okresu przejściowego 10-12.000 lat temu, w którym skłonność do halucynacji była silniejsza, chociaż to są jedynie spekulacje.

Świadomość to proces wynikający z syntezy działania obu półkul mózgu. Cechami tego procesu jest:

- projekcja czaso-przestrzenna;
- wybór sceny, modelu, treści umysłu;
- projekcja personifikacji "ja" w przestrzeni i w czasie;
- narracyjny wybór spójnych sekwencyjnych zdarzeń;
- skojarzenia i asymilacja doświadczeń.

Do -1500 roku słowa mają tylko znaczenia konkretne (np. w Iliadzie). Psyche to "oddech" a nie "dusza"; hebrajski termin użyty w Księdze Rodzaju to *ruach*, oznaczający oddech, człowiek ulepiony z gliny stał się żywy gdy Jahwe tchnął w niego oddech.

Czyżby integracja obu półkul mózgu była w starożytności niepełna? Jaynes spekuluje, że prawa półkula



zarządzała głosami bogów, lewa wykonywała polecenia. W sytuacji silnego stresu zamiast świadomości wyboru i rozważań łatwiej było słuchać polecenia, halucynacji słuchowych robiących wrażenie głosu autorytetu.

Halucynacje słuchowe w schizofrenii to często krótkie komentarze do bieżących zdarzeń. Drażnienie kory skroniowej wywołuje głosy krytykujące, doradzające, nakazujące ... Wizje, brak poczucia czasu, rytm i muzyka, intuicja, poczucie sacrum, mogą być wynikiem halucynacji.

[M. Persinger](#) twierdzi, że stymulacja lewego płata dolnoskroniowego za pomocą pola magnetycznego wywołuje poczucie mistycznej obecności; te wyniki są [nadąl kontrowersyjne](#), jak pokazały próby ich replikacji przy wykorzystaniu techniki PET przez P. Granqvista (2005), który podejrzewa, że pole magnetyczne nie było czynnikiem sprawczym, tylko Persing padł ofiarą efektu eksperymentatora, sugerując badanym co może się zdarzyć.

Nie należy się spodziewać, że tak złożona czynność mózgu jak przeżycia mistyczne będą się wiązać z jednoznacznie identyfikowanymi stanami mózgu, są to bardzo indywidualne przeżycia, więc i stany mózgu będą zróżnicowane.

Co świadczy na korzyść hipotezy Jamesa? 10 tys. lat temu byli władcy uważani za bogów. Faraoni w Egipcie, jeszcze do połowy XX wieku cesarze w Japonii tworzyli rządy teokratyczne, wymagane było "ślepe" posłuszeństwo (np. fanatyzm japońskich kamikaze). Po upadku teokracji w Asyrii anarchia trwała setki lat. Bogów w wielu krajach wyparły abstrakcyjne idee narodu, ojczyzny za którą trzeba oddać życie. W greckich eposach boskie głosy informują o decyzjach. Mit wieży Babel też może być śladem z okresu, gdy słyszano zbyt wiele głosów.

Pismo alfabetyczne powstało ok. 4000 lat temu w Egipcie. Wymagało to tysięcy lat rozwoju cywilizacji. Rozwój lewej półkuli oznaczał myślenie samodzielne a to powodowało opór bogów. W ["Fajdros" Platona](#) czytamy: bóg Tot nauczył sztuk i pisma lud króla Tamuza, ale król tak go za to krytykuje (ustami Sokratesa):

Ten wynalazek niepamięć w duszach ludzkich posieje, bo człowiek, który się tego wyuczy, przestanie ćwiczyć pamięć; zaufa pismu i będzie sobie przypominał wszystko z zewnątrz, ze znaków obcych jego istocie, a nie z własnego wnętrza, z siebie samego. Więc to nie jest lekarstwo na pamięć, tylko środek na przypomnianie sobie. Uczniom swoim dasz tylko pozór mądrości, a nie mądrość prawdziwą. Posiedzą bowiem wielkie oczytanie bez nauki i będzie się im zdawało, że wiele umieją, a po większej części nie będą umieli nic i tylko obcować z nimi będzie trudno; to będą mędrzy z pozoru, a nie ludzie mądrzy naprawdę.

Dopiero w Odysei około 2800 lat temu pojawiają się w literaturze metafory i decyzje zależą od ludzi.

Trudno zweryfikować taką teorię: mogą tu pomóc badania literackie i językoznawcze. Postrzeganie świata zmienia się z pokolenia na pokolenie. "Interpretator" nadający narracyjny sens ciągowi przeżywanych zdarzeń w lewej półkuli mógł powstać niedawno, okresie historycznym.

Świadomość pierwotna widoczna jest u zwierząt, ale refleksyjna samoświadomość w pełni rozwinięta tylko u dorosłych ludzi.

Nie będzie czasu na dalszą naturalną ewolucję mózgu! Niedługo zaczniemy naprawiać i udoskonalać nasze mózgi, nie tylko dodając wzmacniacze zmysłów, lecz również ingerując głębiej w cel kontrolowania nastroju, motywacji, uczenia się.

Wzrok, słuch już naprawiamy za pomocą [implantów](#). Zapobieganie napadom wściekłości przez hamowanie jąder migdałowatych, stymulacja jąder podstawy mózgu w chorobie Parkinsona.

Eksperymenty z zamianą części hipokampa na elektroniczne obwody u zwierząt [są w toku](#).

Czy możliwy jest bezpośredni dostęp mózgu do komputerowych danych? Trudno je będzie zintegrować z naszym modelem świata zapisanym w połączeniach mózgu.

[Sterowanie myślami w grach](#) nadchodzi!

Szybki jak myśl? Myśl jest wolniejsza od działania (wie to każdy sportowiec), więc podłączenie bezpośrednio do mózgu za pomocą EEG jest dość powolne, decyzje odruchowe aktywizujące specyficzne drogi pobudzeń



mięśni są szybsze niż świadome myślenie. Oczywiście myśli mogą tworzyć dłuższe ciągi zanim doprowadzą do działania.

[Przeszczepy mózgu](#) mogą być możliwe w przyszłości. Czy możliwy stanie się transfer umysłu? W jakim stopniu? Powinniśmy to lepiej zrozumieć przy końcu wykładu. Jak mógłby wyglądać ulepszony człowiek? To pytanie, na które próbował odpowiedzieć program BBC [Can science make me perfect](#).



**Zadanie: co w tym wykładzie wydaje się najmniej zrozumiałe lub wymaga uzupełnienia?
Czy coś pozwoliło Wam znaleźć odpowiedź na wcześniejsze pytania?**

Przykładowe pytania

1. Jak zdefiniować umysł? Czy definicja jest do czegoś potrzebna?
2. Jak można podzielić neuronauki?
3. Czym zajmują się neuronauki systemowe?
4. Co wyjaśnia perspektywa ewolucyjna?
5. Dlaczego widzimy kolory? Ile receptorów mają ludzie, ssaki morskie, ryby rafowe, motyle?
6. Dlaczego widzimy przestrzennie? Jakim zwierzętom taka umiejętność jest przydatna i dlaczego?
7. Do czego potrzebny jest zachwom mózg i jaki stąd wniosek?
8. Jakie mogły być początki kolumn korowych?
9. Co oznacza determinizm genetyczny?
10. Czy geny zawierają pełną informację o strukturze mózgu? Uzasadnij.
11. Oszacuj całkowitą długość nici DNA w komórkach Twojego ciała i porównaj z odległością do Słońca.
12. Oszacuj w najprostszy sposób liczbę bitów, którą może zapamiętać ludzki mózg.
13. Jaka jest średnia masa mózgu człowieka i ile w nim jest wody?
14. Jaka jest moc elektryczna mózgu w watach, jaką część energii zużywanej przez organizm to stanowi?
15. Jaka moc elektryczna jest potrzebna by wszystkie neurony działały z maksymalną częstością? Co by się wtedy stało?
16. Ile mamy neuronów w mózgu? Ile w mózdzku? Ile synaps? Kiedy mamy ich najwięcej?
17. Oceń liczbę prostych operacji zachodzących w mózgu w ciągu sekundy.
18. Jaką ważną cechę mózgu można powiązać ewolucyjnie z pierścienicami?
19. Wymienić najważniejszych praprzodków człowieka.
20. Kiedy wymarli neandertalczycy? Kiedy mieliśmy wspólnego praprzodka?
21. Jak przebiega rozwój mózgu w okresie płodowym?
22. Co to jest apoptoza i dlaczego jest konieczna?
23. Jak zmienia się liczba synaps z wiekiem?
24. W jakim wieku liczba synaps przestaje się powiększać?
25. Czy czynniki dziedziczne są silniejsze w przypadku alkoholizmu czy problemów z czytaniem?
26. Dlaczego neurony nie dzielą się tak jak inne komórki?
27. W którym miesiącu rozwoju płodowego da się rozróżnić sen i czuwanie?
28. Jaka jest naturalna skala czasu w rozwoju płodów?
29. Jakie argumenty podał Julian Jaynes na poparcie swojej teorii? O czym ona mówi?

Wykład dodatkowy: "[Co i skąd o sobie wiemy](#)"

Literatura

15 minut o mózgu: [Brain Structure and Function](#).
[Czym jest życie?](#)
[2-minutowe video z Neuroscientifically challenged](#)

Seria "[Pułapki umysłu](#)" National Geographic pokazuje wiele aspektów działania mózgu, skupiając się zwłaszcza na błędnych przekonaniach.

BBC Earth ma znakomitą serię "Dziewięć najważniejszych miesięcy", pokazujących procesy rozwojowe.

[Cell Biology by numbers](#)

Podręczniki:

- Jaśkowski P, Neuronauka poznawcza. Jak mózg tworzy umysł. Wizja Press IT, Warszawa 2009, rozdz. 2. Dla kognitywistów to bardzo dobre wprowadzenie.
- Jakimowicz W. Neurologia kliniczna w zarysie. PZWL, Warszawa 1987, str. 47-50.
- Matthews, G. Neurobiologia. Wyd. Lekarskie PZWL 2000.
- Narkiewicz O. Moryś J. Neuroanatomia czynnościowa i kliniczna. Wyd. I. Wyd. Lekarskie PZWL, Warszawa 2001
- Sadowski B. Biologiczne mechanizmy zachowania się ludzi i zwierząt. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005
- Anderson J.R. Uczenie się i pamięć. Integracja zagadnień. WSiP 1998

Dobre książki popularne:

- Crick Francis, Zdumiewająca hipoteza. Prószyński i S-ka, Warszawa 1997
- Damasio A, Błąd Kartezjusza, Rebis 1999.
- Damasio A, Tajemnica świadomości, Rebis 2000.
- Dennett, D.C, [Świadomość](#). Wyd. II, CC Press, Kraków 2018
- Draaisma D, Rozstrojone umysły. PIW 2009
- Ekman P, Davidson R.J, Natura emocji Gdanskie Wydawnictwo Psychologiczne 1998
- Lewis Michael, Haviland-Jones Jeannette M. Psychologia emocji, Gdańskie Wydawnictwo Psychologiczne 2005
- Milner, DA, Goodale, MA. Mózg wzrokowy w działaniu. Tłumaczenie: Grzegorz Króliczak Wyd. Naukowe PWN, Seria: Biblioteka Psychologii Współczesnej, 2008
- LeDoux J, Mózg emocjonalny. Wyd. Media Rodzina, Poznań 2000
- Koch, C. Neurobiologia na tropie świadomości, WUW 2008
- Młodkowski, J. Aktywność wizualna człowieka Wyd. Naukowe PWN SA, Warszawa 1998
- Sacks O, Zobaczyć głos. Podróż do świata ciszy, Poznań 1998.
- Sacks O, Muzykofilia. Opowieści o muzyce i mózgu. Zysk i Ska 2009.
- Gilbert, A. Co wnosi nos? Nauka o tym, co nam pachnie. Wyd. W.A.B, Warszawa 2010
- Baddeley, A.D. Pamięć. Poradnik użytkownika. Prószyński, Warszawa 1998
- Herzyk A, Szepietowska M, Daniluk B, Zawadzka E, Pamięć jawna i ukryta a dysfunkcje mózgu. Między świadomym a nieświadomym. UMCS, 2004
- Jagodzińska M, Psychologia Pamięci, Sensus 2008
- Jagodzińska M, Rozwój pamięci w dzieciństwie. Gdańskie Wyd. Psychologiczne 2003
- Maruszewski T, Pamięć autobiograficzna. Gdańskie Wydawnictwo Psychologiczne 2007
- Niedźwieńska A, Poznawcze mechanizmy zniekształceń w pamięci zdarzeń. Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, 2004.
- Goleman D, Inteligencja ekologiczna, Dom Wydawniczy REBIS, 2009
- Schacter D.L. Siedem grzechów pamięci. PIW 2003
- Kahneman, D, Pułapki myślenia. O myśleniu szybkim i wolnym. Media Rodzina 2012
- [Wegner D, Iluzja świadomej woli](#), MIT Press 2002.
- Churchland, P, Moralność mózgu. Co neuronauka mówi o moralności. Copernicus Center Press, Kraków 2013.
- de Waal, F, Małpy i filozofowie. Skąd pochodzi moralność? Copernicus Center Press 2013
- de Waal, F, Bonobo i ateista. W poszukiwaniu humanizmu wśród naczelných. Copernicus Center Press, Kraków, 2014.

Publikacje szczegółowe na różne tematy.

- Bill Sullivan, Więcej niż DNA. Geny drobnoustroje i osobliwe moce decydujące o tym jacy jesteśmy. Burda Książki 2020.
- Sharon Moalem. Dziedzictwo. Jak twoje geny wpływają na Ciebie i jak Ty wpływasz na swoje geny. Galaktyka 2015
- Azevedo F.A.C. i inni, Equal numbers of neuronal and nonneuronal cells make the human brain an isometrically scaled-up primate brain. *Journal of Comparative Neurology* 513(5) 532-541, 2009
- Braitenberg V. and A. Schüz (1998) *Cortex: Statistics and Geometry of Neuronal Connectivity* (revised edition of *Anatomy of the Cortex – Statistics and Geometry*, 1991). Springer, Berlin, Heidelberg, New York
- Berk L.E. (2012). *Infants and children: Prenatal through middle childhood* (7 ed.). Allyn and Bacon
- Deaner, R.O., Isler, K., Burkart, J., van Schaik, C. (2007) Overall brain size, and not encephalization quotient, best predicts cognitive ability across nonhuman primates. *Brain Behav. Evol.*, 70, 115–124.
- Lent R, Azevedo FA, Andrade-Moraes CH, Pinto AV. (2012) [How many neurons do you have?](#) Some dogmas of quantitative neuroscience under revision. *European J Neuroscience* 35(1):1-9
- Marner L, Nyengaard JR, Tang Y, Pakkenberg B. (2003). Marked loss of myelinated nerve fibers in the human brain with age. *J Comp Neurol.* 462(2):144-52.
- Magistretti, P. J., Allaman, I. (2015). A cellular perspective on brain energy metabolism and functional imaging. *Neuron*, 86(4), 883–901.
- Sanai N, i inni. Corridors of migrating neurons in the human brain and their decline during infancy. *Nature*. 2011 Sep 28;478(7369):382-6. doi: 10.1038/nature10487.
- Sarnat, H. B. and Netsky, M. G. (1974), *Evolution of the Nervous System*, New York: Oxford University Press. 142, 162

[10 mitów o rozwoju mózgu](#)

Cytowanie: Włodzisław Duch, Wstęp do Kognitywistyki. Rozdz. B01. Mózg i umysł: rozwój. UMK Toruń 2021.
W. Duch, [Wstęp do kognitywistyki - spis treści](#)

[Następny rozdział: Działanie mózgu: najprostsze teorie I.](#)