

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

7.1. Umysły, mózgi i neuronauki | [7.2. Perspektywa ewolucyjna](#) | [7.3. Ewolucja mózgów](#) | [7.4. Geny i mózgi - złożoność informacji genetycznej](#) | [7.5. Ewolucja mózgów, porównanie](#) | [7.6. Rozwój mózgów i umysłów](#) | [7.7. Niedawna i przyszła ewolucja mózgu](#)

A7. [Ewolucja mózgów](#): kim jesteśmy.



A7.1. Umysły, mózgi i neuronauki



Są cztery [paradygmaty nauk kognitywnych](#).

1. Klasyczna kognitywistyka, traktująca umysł jako rodzaj komputera, przetwarzającego informacje symboliczne.
2. Koneksjonistyczne podejście, procesy przetwarzania informacji w rozproszonych systemach (parallel distributed processing), bez wnikania w ich realizację przez sieci neuronowe.
3. Ucieleśnione ujęcie (embodied cognitive science), interakcje organizmu i środowiska formujące procesy mentalne, opisywane jako abstrakcyjny układ dynamiczny.
4. Neurokognitywistyka, opierająca się na neurobiologii i neuropsychologii, procesach zachodzących w mózgach.

Klasyczna kognitywistyka skupiała się nad symboliczną, algorytmiczną strukturą opisującą zachowanie, próbując stworzyć modele sztucznej inteligencji, złożone programy modelujące architekturę kognitywną, na poziomie symbolicznym. To się jednak udało jedynie w prostych przypadkach, takich jak gry planszowe czy rozumowanie logiczne. Psycholodzy zdali sobie sprawę, że w mózgu nie ma centralnego procesora, tylko wiele równoległe aktywnych procesów, które ze sobą konkurują. Dlatego na początku lat 1980 zaczęto badać przydatność modeli, które łączyły ujęcie symboliczne z aktywacją sieci powiązań pomiędzy tymi symbolami. Modele koneksjonistyczne okazały się bardzo przydatne do zrozumienia wielu zjawisk dotyczących percepcji, rozumowania czy używania języka. Jednak nie były wystarczająco dokładne by zrozumieć percepcję, sposób analizy sygnałów ze zmysłów czy sterowania. Opis interakcji organizmu ze środowiskiem, formowania się zachowania w wyniku doświadczeń życiowych zinternalizowanych w mózgach, doprowadził do trzeciego nurtu, ucieleśnionego podejścia do kognitywistyki. Jednakże pełne zrozumienie natury umysłu nie może abstrahować od faktu, że to mózgi i ich specyficzna struktura są odpowiedzialne za stany mentalne. Każdy z pozostałych paradygmatów ma swój obszar zastosowań i jest nadal rozwijany, gdyż czasami jest je prościej stosować do opisu zjawisk. Podobnie w innych gałęziach nauki, nie wszystko próbujemy wyjaśniać na poziomie genetyki i biologii molekularnej, czy fizyki kwantowej.

Nie zwracamy uwagi na swoje mózgi dopóki w miarę sprawnie funkcjonują, postrzegamy świat na poziomie mentalnym. Nie utożsamiam się więc ze swoim mózgiem czy umysłem. Chociaż wygląda to paradoksalnie to mózg ma "mnie", ale też mamy silne poczucie, że to "ja" mam swój mózg. Nie ma tu liniowej przyczynowości. Zdarzenia mentalne wpływają na mózgi, zmieniają sposób ich działania, czyli neurodynamikę, zmiany aktywacji mózgu. Postrzeganie zdarzeń mentalnych, zarówno tych wynikających z oddziaływania na nasze zmysły jak i tych, które są wynikiem aktywacji wewnętrznej (np. w czasie snu czy halucynacji), zależy od tego, jakie mogą się wzbudzić stany w mózgu. Mamy dostęp tylko do tego, co się w naszych mózgach dzieje, a to tylko "cień rzeczywistości".

Trudno jest dokładnie [zdefiniować umysł](#), gdyż każde pojęcie używane potocznie (w odróżnieniu od ściśle zdefiniowanych pojęć naukowych) ma wiele różnorodnych znaczeń i w różnych językach używane jest odmiennie. Żadna precyzyjna definicja nie pokryje wszystkich znaczeń takich pojęć potocznych. Umysł, inteligencja i inne pojęcia mają jednoznaczny definicję w obrębie konkretnych teorii, np. w ramach teorii

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 struktury kontrolujące przydatne reakcje na wyniki tej analizy.

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. Widać więc, że mózgi realizują jakiś uniwersalny algorytm analizy sygnałów, który próbujemy lepiej poznać. 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 zostać zaburzone przez specyficzne uszkodzenia mózgu na wiele sposobów. Bada to 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 przez 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.

Perspektywa ewolucyjna odpowiada na pytania "dlaczego" jest lub nie jest tak jak jest. Jakie były przyczyny powstania tych procesów, jaką pełnią funkcję? Nie należy jej mylić z pytaniami: jak zachodzą te procesy, jaki jest ich mechanizm? Biologia jest tak złożona, że w zależności od wymogów środowiska mogły powstać bardzo różne rozwiązania problemów, zwiększając szanse przeżycia organizmu.

Dlaczego widzimy kolory? Dlaczego w takim, a nie innym zakresie? Czy X-men może widzieć przez ściany?

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.



Rafka błazen (fot. WD)

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.

Okno 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 zajmujemy 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, gerezcy, 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, [Signatures of Selection and Gene Conversion Associated with Human Color Vision Variation](#) 2004).

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



Język żmii

Orientacja i [widzenie przestrzenne](#) (stereoskopowe) przydatne jest drapieżnym ssakom, gadom i ptakom (np. sówom), 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 mózgach 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.

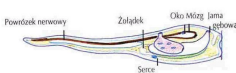
[Gen FOXP2](#) związany jest z zaburzeniami produkcji i rozumienia mowy u ludzi. Gen ten jest też aktywny u ptaków w czasie uczenia się pieśni godowych, i gra rolę w rozwoju echolokacji u nietoperzy. FOXP2 koduje białka, które znaleziono u ssaków, ptaków, ryb i gadów, a jego wersja (allel) u Neandertalczyków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



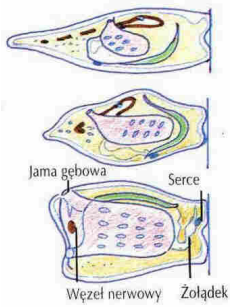
Młoda [zachwa](#) pływa, ma mózg i powróżek nerwowy, podobna jest do kijanki.



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



Stopniowo wchłania swój mózg - nie jest jej już potrzebny do 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 zużywanie energii przez mało używane mózgi.

Use it or lose 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 połykaniu (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.

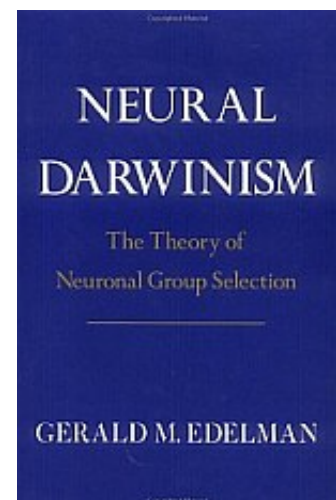
Podstawową jednostką kory mózgu może być **mikroobwód oscylacyjny**, powstały z generatora ruchu, który może znajdować się w kilku stanach oscylacji. Powielony w milionach egzemplarzy, realizujący proste odruchy, pamięć, a potem inne funkcje, znajduje się w pniu mózgu, hipokampie, korze. Proces ewolucji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



Salamandry

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 pluripotente 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.



Książka G. Edelmana

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.

"[Neuronalny 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?



Kapitolińska wilczyca

[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 [głuchosłepoty](#).

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. Rozpoznawanie języka migowego dzięki zastosowaniu metod sztucznej inteligencji na pewno wpłynie na to środowisko - w Polsce zajmuje się tym projekt [HearAI](#).

Możemy sobie wyobrazić w dalszej przyszłości alternatywne zmysły i ludzi tworzących odmienne subkultury 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.



A7.3. Ewolucja mózgow



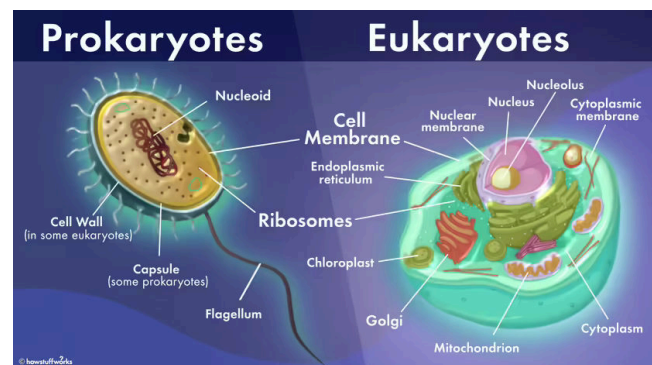
Idee ewolucyjne można też zastosować do wyjaśnienia nie tylko biologicznej budowy organizmów ale i ich zachowania, psychologii, struktury umysłów. Różne gatunki (w tym praludzkie) musiały rozwiązywać problemy adaptacji do swoich nisz ekologicznych, związane ze zdobywaniem pożywienia, utrzymaniem swojego terytorium, obroną przed drapieżnikami, agresywnymi osobnikami i konkurencyjnymi stadami, pasożytami. Ważnym zagadnieniem jest oczywiście dobór płciowy, który doprowadził do powstania wielu złożonych zachowań specyficznych dla różnych gatunków, oraz współpraca w obrębie danej grupy. Chociaż wiele mechanizmów kształtowało reakcje na wyzwania środowiska nie można w pełni zrozumieć dlaczego są takie, jakie są, bez odwołania się do ewolucji. Rozwinięte społeczeństwa opiekuńcze osłabiają bezpośredni wpływ czynników biologicznych na zachowanie człowieka, ale wszystkie formy zachowań mają u swoich podstaw fundament ewolucyjny. Na tym samym fundamencie może jednakże powstać bardzo wiele różnych rozwiązań problemów adaptacyjnych. Należy więc ostrożnie podchodzić do prób prostych porównań i wyjaśnień ewolucyjnych w przypadku ludzi i niektórych bardziej rozwiniętych zwierząt.

Proste elementy działając razem tworzą emergentne hierarchiczne systemy o coraz większych możliwościach poznawczych. Jak doszło do powstania takich możliwości, rozwoju układu nerwowego i sterowania organizmami wielokomórkowymi?

Pierwotne organizmy nie zawierały neuronów. Bakterie i archea to [komórki prokariotyczne](#) (nie posiadające jądra komórkowego) istnieją od 3.5 mld lat, ale nigdy nie wytworzyły organizmów wielokomórkowych. Pomimo tego potrafią się poruszać, mają pojedyncze lub liczne wici. Skomplikowane mechanizmy biochemiczne pozwalają im kierować się w stronę substancji odżywczych, pęcherzyki gazu regulują głębokość zanurzenia pozwalając unikać szkodliwego promieniowania ultrafioletowego w środku dnia i syntezować węglowodany na bezpiecznej głębokości. Potrafią też gromadzić zapasy syntezując takie związki jak glikogen. Takie komórki potrafią dostosować swój biochemiczny aparat do bardzo różnych warunków, nie zmieniając swojego kształtu, dzięki czemu przetrwały miliardy lat.

Ewolucja potrzebowała około 1.5 mld lat by wytworzyć komórki eukariotyczne. Do ich powstania mogło dojść na drodze [endosymbiozy](#), wchłonięcia i przekształcenia w wewnętrzne organelle mniejszych bakterii przez większe. Eukarioty mają znacznie bardziej złożoną budowę, jądra komórkowe, cytoskielet utrzymujący ich strukturę i pomagający się poruszać. Mają też liczne organelle, w tym [mitochondria](#), w których zachodzi oddychanie komórkowe, dzięki czemu mogą wytworzyć 200 000 razy więcej energii w przeliczeniu na jeden gen niż prokarioty. Energia przenoszona jest przez [cząsteczki ATP](#). Dzięki temu komórki eukariotyczne są znacznie większe, mogły wykorzystać tlen atmosferyczny, rozmnażać się w sposób płciowy mieszając geny, bardziej różnicując własności potomstwa, tworzyć kolonie komórek. Mogą też zmieniać swój kształt, dzięki czemu mogły powstać wyspecjalizowane komórki złożonych organizmów.

Eukarioty mają dwa zestawy genów, jeden w jądrach komórek a drugi w mitochondriach. Tylko DNA jądrowe ulega mieszanii w procesie rozmnażania płciowego, mitochondria dziedziczą DNA tylko od żeńskiego osobnika, dzięki czemu nie dochodzi do konfliktów wewnątrz nowych komórek. Aktywność męskich gamet



Komórki

(spermy) wymaga energii, przy okazji produkując wiele cząsteczek silnie reagujących (wolnych rodników), podczas gdy żeńskie gamety (jajo) są mniej ruchliwe i nie wytwarzają tyle szkodliwych substancji. Kolonie organizmów jednokomórkowych tworzą [błony biologiczne](#), które chronią komórki przed degradacją i pozwala na ich specjalizację. W ten sposób powstały trzy ewolucyjne gałęzie: rośliny, grzyby i zwierzęta. Pierwszymi zwierzętami były [gąbki](#), powstałe około 800 mln lat temu, ale te organizmy nie zbudowały nigdy systemu nerwowego. Jednokomórkowe eukarioty z długą wicią otoczoną wysokim kołnierzykiem, zwane [wiciowcami kołnierzykowymi](#), tworzą kolonie, potrafią też kontrolować ruchy w stronę pożywienia lub uciekając od szkodliwych substancji generując impulsy elektryczne, które wywołują rytmiczne ruchy wici. Kolejnym krokiem ponad 650 mln lat temu było powstanie wielokomórkowych [parzydełkowców](#) o symetrii radialnej. Są to najprostsze organizmy tkankowe, do których zalicza się polipy i meduzy. Powstało prawie 10.000 gatunków tego typu. Koordynacja ruchu tak złożonego organizmu wymagała jednoczesnych skurczów całego parasola.

Jak doszło do uformowania się połączeń pomiędzy komórkami? Komórki czuciowe uwalniają substancje chemiczne wpływające na znajdujące się obok wici. Taka chemiczna koordynacja jest możliwa w przypadku małych organizmów, ale stopniowo wzrastające rozmiary spowodowały, że impulsy elektryczne zaczęły częściowo wpływać na szybką koordynację komórek czuciowych i ruchowych, a chemiczna komunikacja pozostała w przestrzeni pomiędzy komórkami generującymi impulsy elektryczne - to szczeliny synaptyczne. Komórki odległych części ciała mogły przysyłać informacje do centralnych części, które wpływały na pobudzanie komórek generujących rytmiczne ruchy. Powstała siateczka połączeń nerwowych na całym ciele i pierścień na brzegu całego parasola.

Wirki bezjelitowe to najstarsze dwubocznie symetryczne prymitywne zwierzęta nie posiadające nawet jelita, powstałe około 630 mln lat temu. Połączenie wielu komórek neuronowych umożliwiło sterowanie ruchami wydłużonego ciała. Tego typu budowa ciała stała się dominującą. Kombinacja elektrycznych i chemicznych połączeń synaptycznych umożliwiła neuroplastyczność, zdolność do tworzenia sieci neuronowych spełniających różne funkcje, zdolnych do uczenia się. Dzięki temu możliwy był rozwój różnych form ciał zwierząt w ciągu kolejnych setek milionów lat. Z przodu ciała skupiły się główne systemy sensoryczne oraz otwór gębowy, a coraz bardziej skomplikowany system sterowania tylnymi częściami ciała kontrolował ruch w pożądanym kierunku. Pojawiła się struna grzbietowa, 28 wariantów budowy ciała strunowców, a następnie około 530 mln lat [praprzodek kręgowców](#). Wywodzą się od niego ryby i płazy. 375 mln lat temu pojawiły się zwierzęta wodno-łądowe, a od nich wywodzą się gady, ptaki i ssaki.

Wiemy już sporo o mechanizmach genetycznych, które doprowadziły do takiego rozwoju i procesach rozwojowych, od zapłodnionej komórki do uformowania się całego organizmu, z otworem gębowym, jelitem i odbytem. Plan budowy ciała kręgowców jest bardzo zróżnicowany, ale już Darwin zauważył, że wszystkie ssaki, łącznie z ludźmi, mają analogiczną budowę kości, mięśni, nerwów, układu krwionośnego, organów wewnętrznych. Układ nerwowy podzielił się na centralny i peryferyjny.

Zrozumieniem rozwoju mózgu i umysłu zajmuje się neuropsychologia ewolucyjna, nowa multidyscyplinarna nauka korzystająca z wiedzy na temat ewolucji, neuronauk, nauk kognitywnych, psychologii, antropologii i archeologii (Coolidge, 2020). Funkcjonalnie wyspecjalizowane regiony mózgu są wynikiem adaptacji do różnych wyzwań środowiskowych na przestrzeni setek milionów lat ewolucji. Niektóre funkcje okazały się przydatne do wielu celów, takich jak złożone funkcje poznawcze - nazywa się je [egzaptacjami](#). Dzięki temu specjalizacja funkcji wykonywanych przez różne obszary mózgu nie jest bardzo ścisła, te same obszary mogą brać udział w realizacji wielu procesów. Wykorzystanie istniejących obszarów do nowych celów to centralna zasada organizacji mózgu (Anderson, 2010). Takie funkcje jak pisanie, czytanie czy liczenie są ewolucyjnie nowe i nie było czasu by powstały nowe regiony mózgu, które się w nich specjalizowały. Mózg może się ich nauczyć wykorzystując do tego już istniejące obszary, ale wymaga to dłuższego treningu, najlepiej w bardzo wczesnym okresie, gdy neuroplastyczność jest wysoka (przypomnijcie sobie ile czasu uczyliście się tabliczki mnożenia).

W przypadku uszkodzenia mózgu umożliwia to kompensację brakujących funkcji, dzięki czemu możliwa jest [neurorehabilitacja](#). Mózg chroniony jest przez [opony mózgowo-rdzeniowe](#), pomimo tego co roku tylko w USA kilka osób na tysiąc mieszkańców doznaje urazowego uszkodzenia mózgu ([traumatic brain injury](#)). To kilka milionów ludzi, więc potrzebny jest elastyczny mechanizm by nie utracić w trwałą sposób wszystkich funkcji koniecznych do przeżycia.

"Genom, w ogóle układ chromosomów, zawiera wręcz niewiarygodnie bogatą skarbnicę informacji, które zostały nagromadzone wskutek przebiegu w najwyższym stopniu pokrewnego uczenia się metodą prób i błędów" ([Konrad Lorenz](#)).

Instynkt to wrodzona predyspozycja do pewnych zachowań, jest wynikiem mikroprogramów w mózgu sterujących zachowaniem.

[U ludzi do instynktów](#) zaliczyć można instynkt samozachowawczy, macierzyński, moralny, motywacyjny, poczucie sprawiedliwości; są też liczne reakcje instynktowne dotyczące percepcji, poczucia wstrętu, uczenia się mowy czy chodzenia na dwóch nogach. Instynkty zwierząt można wyzwolić pobudzając prądem fragmenty śródmózgowia, lub zmienić instynkty gatunkowe przeszczepiając embrionom fragmenty mózgu innego gatunku - tworząc **chimery**.

Chimery kurczaków i japońskich przepiórek (1997): postawa i sposób nawoływania zamienia się jeśli przeszczepić fragment śródmózgowia i fragment tylnej części pnia mózgu.

Przeszczep przedniej części śródmózgowia wywołuje preferencje do reakcji na głos ptaka od którego przeszczepiono komórki. Chimera chodziła jak kurczak ale wydawała i reagowała na odgłosy przepiórki. Mózgi muszą być dostatecznie podobne by transplantacja się udała.

Na uniwersytecie Sun Yat Sena stworzono [chimery różnych gatunków](#) gryzoni wykorzystując komórki macierzyste.

Geep = koza + owca, wyhodowana w 1984 roku, zmieszane komórki na poziomie embrionalnym, ma kawałki skóry z sierścią i kawałki z wełną.

Naturalnie poczęte chimery to: **liger** = lew + tygrysica (wielkie zwierzę!), **tiglon** = lwica + tygrys, **kot Ashera** = hybryda serwala, azjatyckiego leoparda i kota, stojąc na łapach ma ok. 120 cm.

Jest też **osłomuł**, **zebroid** i **zebrula**, **zedonk** i inne krzyżówki.

Większość chimer ma dla człowieka znaczenie czysto poznawcze, ale pamiętajmy, że **muł** (skrzyżowanie kłaczy konia domowego z ogierem osła) to najbardziej znana przydatna chimera.

Czy powstaną chimery ludzkie?

[Połączono DNA człowieka](#) z DNA królika, krowy i owcy, na razie tylko na poziomie niewielu komórek, embriony rozwijały się do 3 dni, skończyło się na 32 komórkach, ale kto wie co się stanie w przyszłości. Badania te motywowane są chęcią stworzenia przydatnych do przeszczepu ludzkich narządów w ciele zwierząt.

Opisano [mikrochimeryzm](#), ponad 30 przypadków ludzi, którzy mają niektóre narządy z innymi chromosomami niż w komórkach z innych części ciała, co może się zdarzyć w wyniku podwójnego zapłodnienia.

Pokazano migrację komórek płodu myszy do ciała matki, zwłaszcza okolic uszkodzonych, np. serca. Matkom chorym na serce poprawia się zdrowie.

Również u ludzi to pokazano ([Male Microchimerism in the Human Female Brain](#)).



Liger

Zaskakująca wiadomość, na razie potwierdzona tylko w kilku przypadkach, to wpływ przeszczepu szpiku kości na DNA biorcy: nie tylko DNA w komórkach krwi uległo przemianie ale we wszystkich badanych tkankach, łącznie z całkowitą wymianą na DNA dawcy w spermie! Co więcej, szpik kobiet przeszczepiony mężczyznom daje im też żeńskie chromosomy w komórkach. Jak to wpłynie na potomstwo na razie nie wiadomo (New York Times, When a DNA Test Says You're a Younger Man, Who Lives 5,000 Miles Away, 7.12.2019). Problemem zmian DNA zainteresowani są kryminolodzy.

Warto pamiętać, jak hipokrytyczny jest stosunek ludzi do zwierząt (czyli "mięska"). Setki milionów kurczaków zabijanych jest codziennie. Wysoka inteligencja świń - wyższa niż psów - nie chroni ich przed złym traktowaniem, chociaż "ty świni" jest może w niektórych kulturach mniej pogardliwe niż "ty psie". Psy potrafią lepiej nam się podlizywać ([odczytywać ludzkie intencje](#)), więc są uważane za inteligentne i są obecnie rzadko zjadane. Czy odczytywanie ludzkich intencji słusznie uznajemy za najważniejszą cechę świadczącą o inteligencji? Psy rzucają się na ciężarówkę, próbując je ugryźć - czy to świadczy o ich odwadze czy głupocie?

Kotów również nie hoduje się na skóry czy mięso. Zwierzątka domowe objęte są częściowym tabu, w Unii Europejskiej obowiązuje zakaz handlu psim mięsem.

W czasach głodu również w Europie jadano psy i koty. Do tej pory w niektórych regionach Szwajcarii można dostać [potrawy z psów i kotów](#).



A7.4. Geny i mózgi - złożoność informacji genetycznej



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? Całkowite przywiązanie do rodziny, umiarkowana niewierność czy rozpusta? To zależy od ekosystemu w którym żyje dany gatunek zwierząt. 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 przewyciężyć wewnętrzny przymus, odczuwany przez hazardzistę, kleptomana czy osobę z zespołem Tourettea.

Złożoność informacji genetycznej.

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

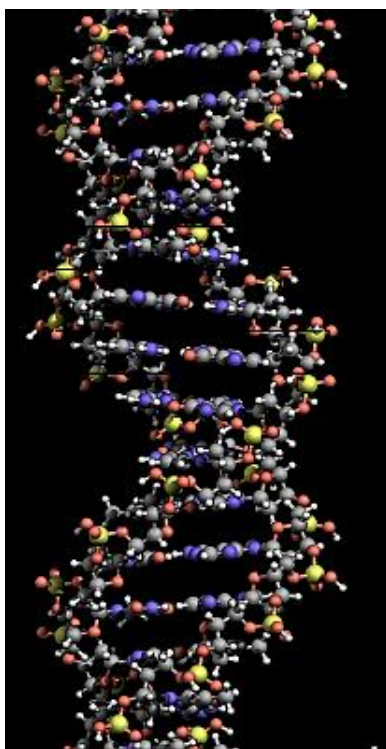
Przepis sam się nie włącza by upiec ciasto, geny również się same nie włączają by utworzyć białko. Proces transkrypcji informacji jest bardzo złożony i inicjują go enzymy (białka), zwane [czynnikami transkrypcyjnymi](#), które przyczepiają się do początkowego fragmentu genu, zwanego [promotorem](#). Łańcuch DNA się rozplata i kopiowany jest na łańcuch mRNA. Jednakże gen nie jest zwykle kodowany przez ciągły fragment DNA tylko kilka oddzielonych od siebie kodujących fragmentów, zwanych [eksonami](#), pomiędzy którymi są niekodujące sekwencje aminokwasów, zwane [intronami](#). Aparat transkrypcyjny musi więc wyciąć introny i połączyć ze sobą eksony



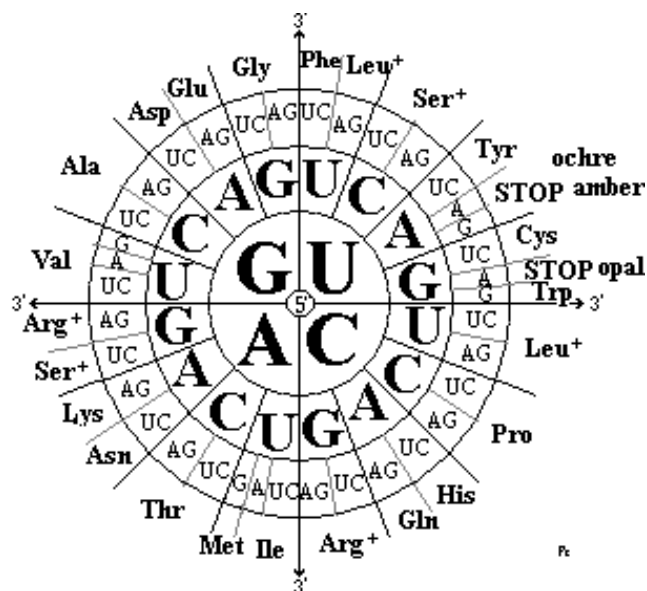
tworząc matrycę RNA z której powstanie białko. Proces ten, zwany [splicingiem, lub składaniem genu](#), może połączyć eksony na różne sposoby, dzięki czemu powstaje wiele wariantów białek. Takie [alternatywny splicing](#) może utworzyć nawet dziesiątki tysięcy różnych białek. Rekordzistą jest tu gen Dscam, który przyczynia się do 38 000 wariantów białek!

Czynniki transkrypcyjne regulują ekspresję genów, ale są to białka, więc same też powstały dzięki genom, ale ich oddziaływanie zależy od środowiska - tego wewnątrz komórki i tego zewnętrznego. Brak energii do procesów metabolicznych, aktywacji neuronu, uruchamia czynnik transkrypcyjny, który powoduje produkcję transporterów glukozy, białek wbudowujących się w błonę komórkową naczyń krwionośnych mózgu i wielu innych miejsc, umożliwiających sprawniejszy transport glukozy. Zapach dziecka wywołuje łańcuch procesów prowadzących do zwiększonej produkcji oksytocyny i laktacji. Zapach rywala uruchamia zwiększoną produkcję kortykosteroidów i licznych hormonów mobilizujących organizm do działania. Środowisko reguluje więc aktywność genów.

Sieć możliwych oddziaływań na poziomie molekularnym jest więc niezwykle złożona. Ludzki genom koduje około 1500 czynników transkrypcyjnych, w DNA jest 4 miliony miejsc do których mogą się doczepić, a w typowej komórce 200 tysięcy miejsc, w których może do tego dojść. To pokazuje jak skomplikowane mogą być profile ekspresji genów.



[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



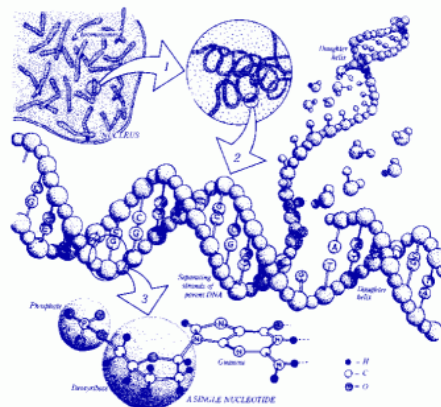
Kodony: 3 litery to jedna sylaba, $4 \cdot 4 \cdot 4 = 64 = 2^6$ możliwości.

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](#).

Piękne [wprowadzenie do genetyki](#) omawia mechanizmy genetyczne i różne typy białek: enzymy, białka regulacyjne, sygnałowe, strukturalne, transportowe, odpowiedzialne za transdukcję sygnałów zmysłowych, obronne, gromadzące energię. Białka mają typowe rozmiary od [kilku do stu nanometrów](#).



Mapowanie pierwszego [genomu człowieka](#) zakończono w 2004 roku po 13 latach pracy. Teraz można to zrobić w ciągu godziny, a nawet krócej. [Ludzki genom](#) zawiera około 3.2 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 domniemanych genów wcale nie koduje białek, więc nie uznano takich sekwencji za geny. [Liczba genów kodujących białka](#) to zaledwie około 19.000. To zaskakująco mało, bo robaki mają też 19.000, a muszka owocowa 13.500!

Liczba genów zależy od definicji tego, co uważamy za gen. Jeśli uwzględnić sekwencje, które kodują nie tylko białka ale i sekwencje DNA z których powstaje RNA regulujące ekspresję genów ([regulatory RNA](#)) to można się doszukać [prawie 50.000](#).

Najprostsza [bakteria](#) ma ok. 500 genów, [wirusy](#) i [fagi \(wirusy atakujące bakterię\)](#) 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), akwaryjna rybka [prapłetwiec abisyński](#) ma 130 mld bp, a [ameba](#) ma najdłuższy znany genom, 670 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 tylko się domyślamy. 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).

Wszystkie organizmy potrzebują energii, tlenu, enzymów do trawienia, budowy membran komórkowych dostosowanych do ciśnienia atmosferycznego. 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](#). Jeden gen przyczynia się do powstania około 10 białek. Ludzki proteom, czyli zbiór wszystkich typów białek, oceniany jest na 80-400 tysięcy, a liczba wariantów tych białek może sięgać miliardów.

Sieć wszystkich interakcji białek nazywa się [interaktomem](#). Liczba interakcji między różnymi białkami w komórkach ludzkich oceniana jest na ok. 650.000, u muszki owocówki to 10 razy mniej, a u nicienia *C. elegans* 3 razy mniej ([Stumpf i inn., PNAS 2008](#)).

Nic 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 (3-literowych kodonów).

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. 3.3×10^{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 człowieka można by opasać Ziemię ponad dwa razy!

Całkowita długość połączeń między neuronami (nerwów, aksonów) to około 2-3 mln km.

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

znaczej mierze zależny jest 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 [. Znakomita większość z nich nam nie szkodzi. Eksperci pracują nad wiromem](#), profilem pokazującym ile jakich wirusów jest w ciele danej osoby.

Te liczby pokazują, jak **niezwykle skomplikowanymi organizmami jesteśmy, chociaż zupełnie nie zdajemy sobie z tego sprawy**. Ta złożoność umożliwia adaptację do środowiska na wiele sposobów.

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, zachodzące wewnątrz komórek. Pełny opis procesów wpływających na nasze zachowanie, od genetyki do środowiska, jest bardzo złożony i daleko do jego pełnego zrozumienia (np. Sapolsky; 2021; Duch 2013).

Korelacje pomiędzy różnymi wariantami genów a występowaniem choroby takiej jak autyzm, która jest w wysokim stopniu dziedziczna, są bardzo słabe. Baza [SFARI Human Gene](#) Module zawiera około 800 genów związanych z autyzmem, które związane są zaledwie z 10-20% wszystkich przypadków. Jeszcze gorzej wygląda to w przypadku takich cech jak osiągnięty poziom edukacji. Tu zbadano genomy ponad 126 tysięcy osób i wszystkie zbadane geny nie wyjaśniły więcej niż dwa procent wariacji - czyli [zmienności genetycznej](#) można przypisać tylko minimalne odchylenia od średniej. Zmienność genetyczna moduluje ścieżki oddziaływań pomiędzy komórkami, wpływa na sieci neuronowe i procesy metaboliczne, działanie zmysłów i współpracę różnych obszarów mózgu ze sobą, co prowadzi do powstawania tendencji wykształcenia się specyficznych form zachowania.

Neurony są bardzo dużymi komórkami, buduje je wiele różnych białek. Procesy odpowiedzialne za wysyłanie impulsów elektrycznych (potencjałów czynnościowych) przez neurony są również niezwykle skomplikowane. Białka tworzą liczne kanały, przez które przepływają jony zmieniające polaryzację błony komórkowej, gromadzenie się ładunku elektrycznego i generację impulsu. Przez jeden kanał przepływa 100 mln jonów na sekundę, a neuron ma takich kanałów 10 000, więc w każdej sekundzie następuje wymiana miliardów jonów.

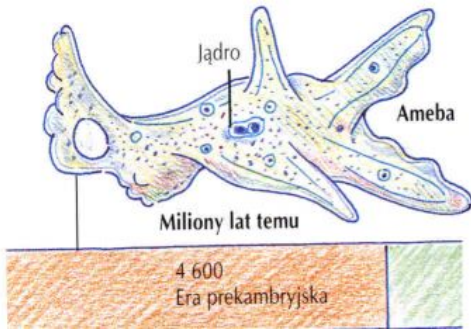
Ewolucja pozagenetyczna zachodzi dzięki informacji gromadzonej w mózgu. Jak ocenić ilość informacji przechowywanej w mózgu?



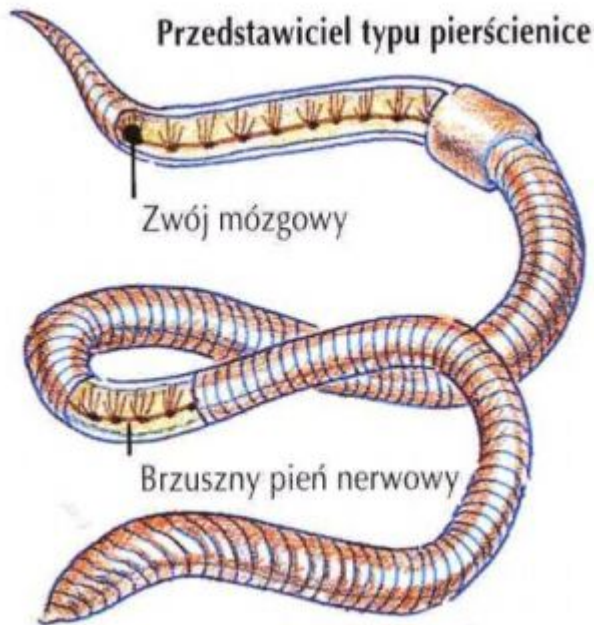
A7.5. Ewolucja mózgow, porównanie różnych mózgow.



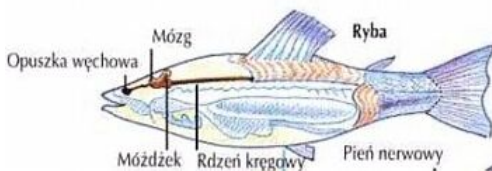
Mózgi zwierząt



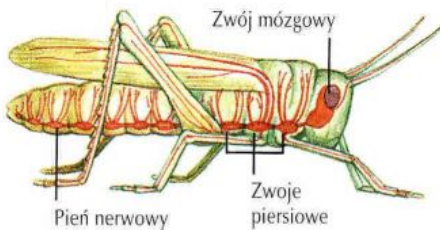
Ameby, powstałe prawie 4 mld lat temu nie mają układu nerwowego, podobnie wielokomórkowe gąbki; dopiero meduzy mają zaczątki nerwów.



Pierścienice, jak ich poprzedniczki sprzed 500 milionów lat (Kambr), mają zwój 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 Netssky, 1974),

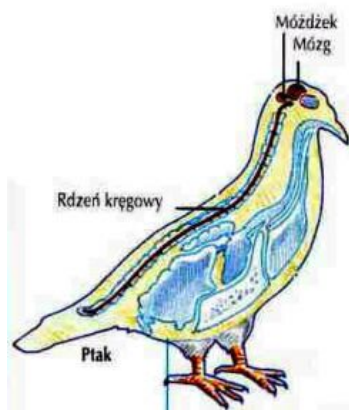
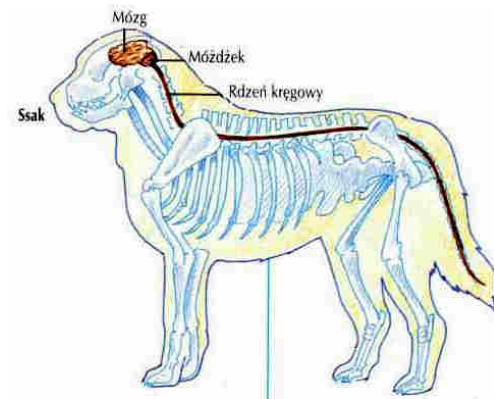
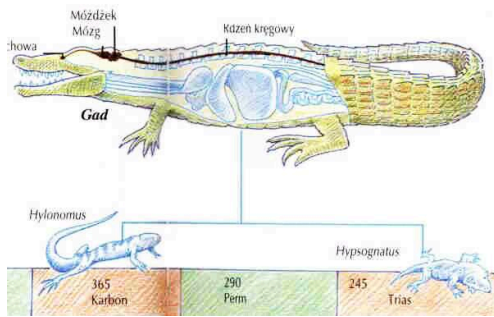


Ryby mają mózg, móżdżek, opuszkę węchową i rdzeń kręgowy. Pierwsze ryby z okresu syluru (440 mln lat temu) miały już zróżnicowany układ nerwowy.



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

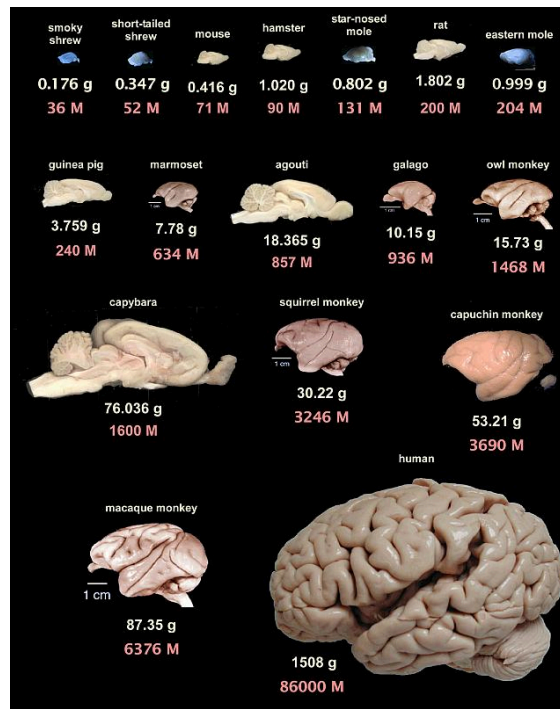
Mózg gadów jest wyraźnie większy i podzielony na dwie półkule. Głowa jest wysunięta do przodu, zgodnie z kierunkiem poruszania się, umożliwia to szybkie reakcje. Mózg reguluje homeostazę, przetwarza dane zmysłowe i umożliwia złożone zachowania motoryczne.



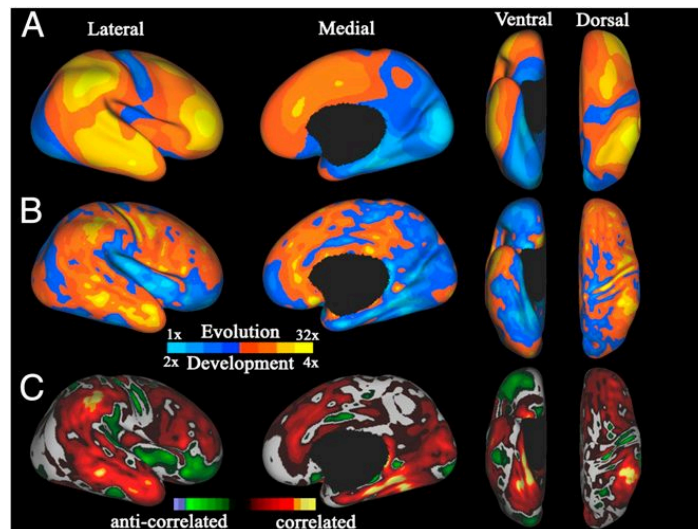
Ssaki, powstałe w okresie jurajskim (ponad 200 mln lat temu) mają znacznie większe mózgi z rozbudowanym układem limbicznym i rozrośniętą korą nową, która ma 6 warstw, tylko niektóre podkorowe struktury mają 3 warstwy neuronów.

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 słońca 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 mózgi, których proporcje różnych obszarów korowych przypominają tu u starszych ssaków naczelnych, 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.

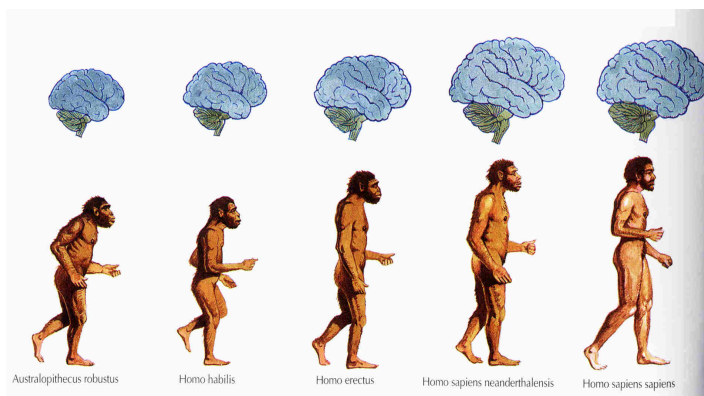
[Przodkowie człowieka:](#)

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 płaszcza mózgu ptaków przypomina tę u ssaków. Nie wiemy jakie jeszcze gatunki mogły rozwinąć abstrakcyjne zdolności do myślenia.

Mózg szympansa ma około 400-450 gramów, 3 razy mniejszą masę od mózgu człowieka, jednak przynajmniej załóżki większości form zachowań ludzkich są u szympansa widoczne. Czego możemy się spodziewać po trzykrotnie większym mózgu w którym jest kilkanaście razy więcej neuronów? Owce, przy podobnej masie ciała co szympanasy, mają 3 razy mniejsze mózgi (120-150 g). Czy różnica między owcami a szympanasami nie jest większa niż różnica między buszmenami a szympanasami, zamieszkującymi dżunglę?



A7.6. Rozwój mózgow i umysłów

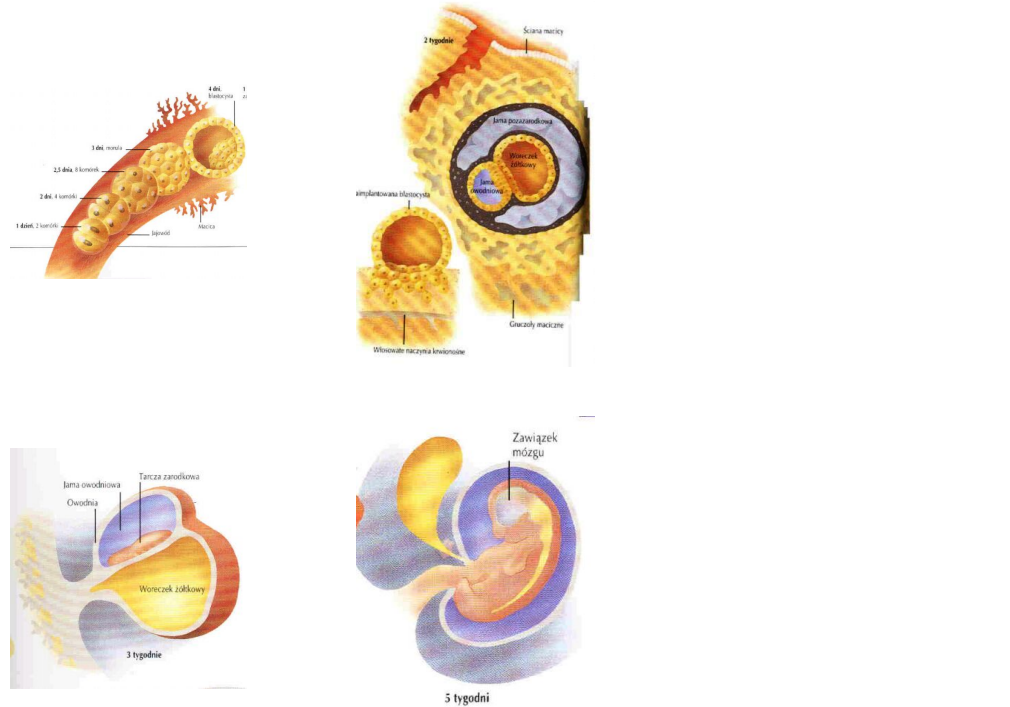


Rozwój embrionu od zapłodnionej komórki do powstania mózgu i jego dojrzewania badają neuronauki zajmujące się rozwojem ([developmental neuroscience](#)), bliskie biologii komórki. Jak to możliwe, że z informacji zawartej w łańcuchu DNA budowane są złożone organizmy zwierząt i ludzi, tworzą się zróżnicowane komórki łącząc w różne tkanki i budując trójwymiarowe struktury, skomplikowane systemy zmysłów, wewnętrzne organy i mózgi? Proces ten nazywa się [morfogenezą](#) (greckie "morfe" to kształt, a "geneza" to powstanie).

Ewolucja wymaga zróżnicowania a drobne błędy genetyczne wpływają na rozwój organizmu, powodując niezliczone drobne różnice widoczne w cechach dających się rozpoznać w budowie kończyn, twarzy czy funkcjonowaniu zmysłów. Diagnostowaniem takich zaburzeń zajmuje się [dysmorfologia](#). Większość z 2500 zidentyfikowanych stanów dysmorficznych jest rzadka i zwykle trudno je zauważyć, ale ok. 2.5% noworodków rodzi się z poważnymi wadami rozwojowymi, groźnymi dla życia (ok. 20-30% zgonów noworodków i 30-50% niemowląt). Dysmorfologowie badają wzorce cech fizycznych i zachowania, które w

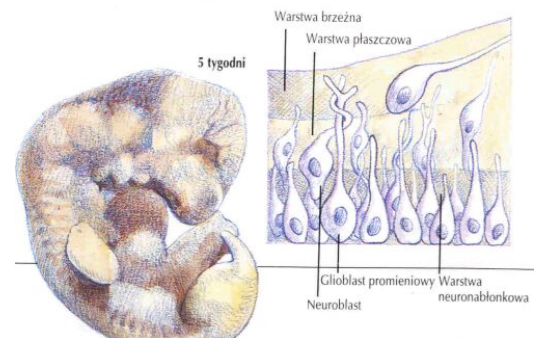
wielu przypadkach skorelowane są z konkretnymi mutacjami genetycznymi, w szczególności aberracjami chromosomowymi. Nawet niewprawne osoby rozpoznają wygląd osób świadczący o trysomii 21 (dodatkowy chromosom 21), czyli [zespołe Downa](#). Drobne [zmiany dysmorficzne](#) widoczne są często w obrębie twarzy i kończyn.

Zmiany dysmorficzne dotyczą również mózgow, przejawiając się głównie w zaburzeniach zachowania. Zrozumienie szczegółów procesów rozwoju mózgu jest celem [The Developing Human Connectome Project](#), w ramach którego przeskanowano 600 płodów (do 2020 roku) w wieku od 20-44 tygodnia by określić jak formują się ich mózgi i jak powstają połączenia (konektom) decydujące o sprawnym działaniu mózgu lub pojawieniu się różnych zaburzeń rozwojowych.



[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.

Początkowo neurony wysyłają niesynchronizowane impulsy elektryczne, dopiero w 23-24 tygodniu ciąży pojawiają się epizody spontanicznej synchronizacji w korze zmysłowej i skojarzeniowej. Powoli rozwijają się połączenia wzgórzowo-korowe i odległe połączenia korowe i między półkulami. Około 26 tygodnia pojawiają się potencjały wywołane, które zmieniają się znacznie w ciągu pierwszych



dwóch lat życia. Najpierw tworzy się więc struktura, a pierwsze funkcje pozwalające na odczuwanie bodźców znacznie później ([Vasung i inn, 2019](#)).

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](#)).

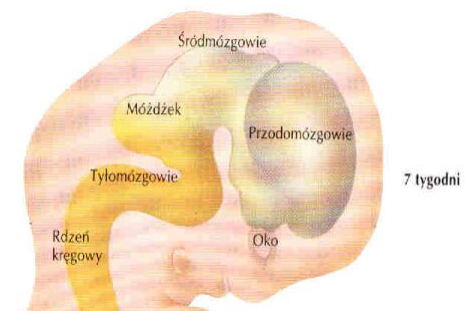
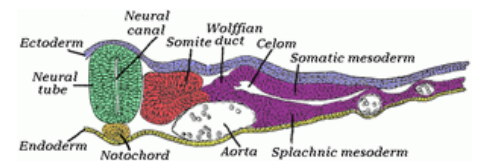
Mutacja jednego genu LIS 1 z chromosomu 17 daje w wyniku brak pofałdowania kory mózgu i poważny niedorozwój ([zespół Millera-Diekera](#)). Neurony dzielą się ok. 70-100 razy, a potem przestają ([poza wyjątkami](#)). Dlaczego? Zbyt duża plastyczność uniemożliwiłaby utrzymanie stabilnego obrazu świata.

[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 o 3 podziały neuronów mniej niż u człowieka, w efekcie jest $2 \times 2 \times 2 = 8$ razy mniejsza 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.

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. Związki [mózdku](#) 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

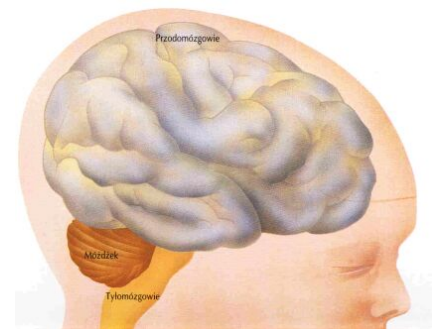
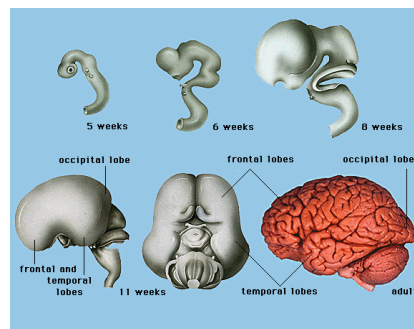
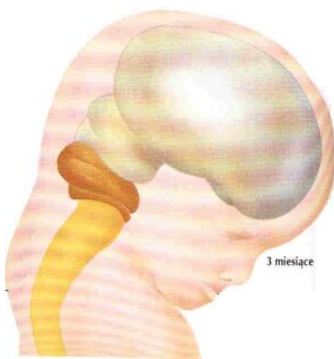
sterowanie tym procesem byłoby cudem. Neurony wypuszczają długie aksony rosnące w kierunku wyznaczonym przez stężenie rozlicznych [czynniki wzrostu](#). Brak precyzji genetycznego i chemicznego sterowania rozwojem neuronów wymaga apoptozy - przeżyją tylko najbardziej przydatne neurony. W toku ewolucji 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 kaczyc 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](#).

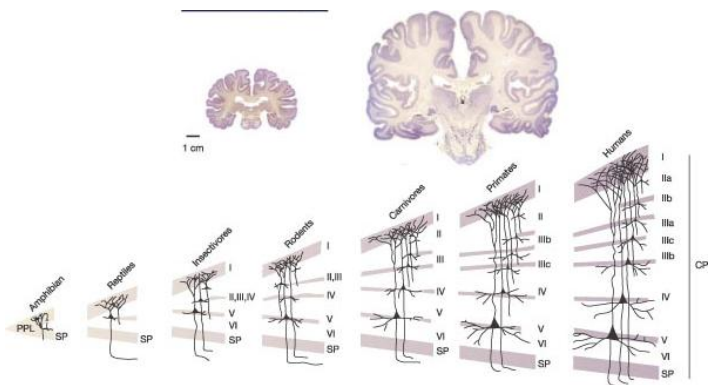
Szlaki nerwowe powstają przed receptorami, dlatego rola czynników wzrostu jest bardzo ważna. Część aksonów neuronów nerwu wzrokowego nie trafia do kory wzrokowej po przeciwnej stronie mózgu, kończy w innych obszarach i powinna obumrzeć by uniknąć synestezji.

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:

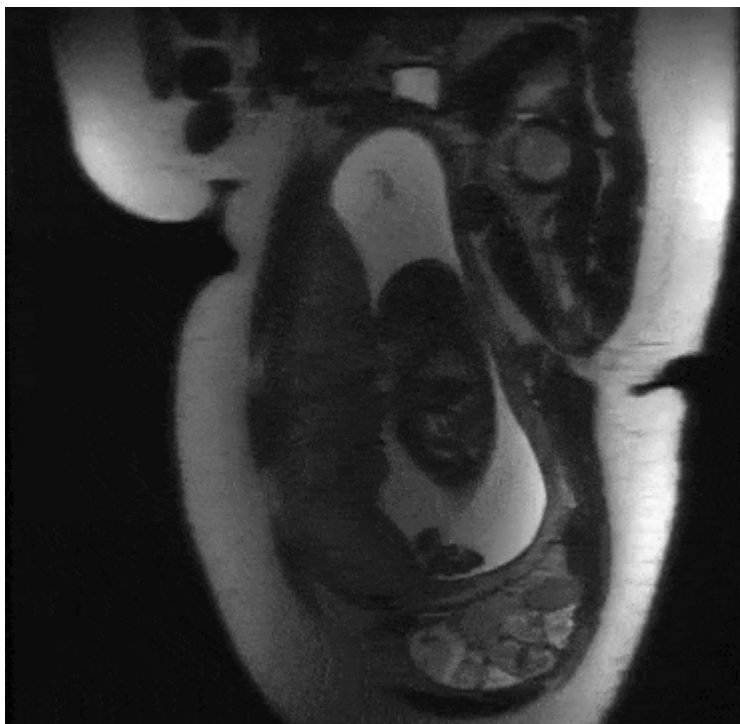
- Smak jest w pełni sprawny.
- Są reakcje na dźwięki.
- Otwieranie oczu (około 157 dni rozwoju).

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 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, 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 rodzić 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 inn \(2011\)](#) 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. Jednakże ta część mózgu dzięki powolnemu rozwojowi jest w najmniejszym stopniu zdeterminowana przez geny a w największym stopniu przez środowisko. Pozwala to uczyć się złożonych zachowań ważnych dla inteligencji społecznej. 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](#).

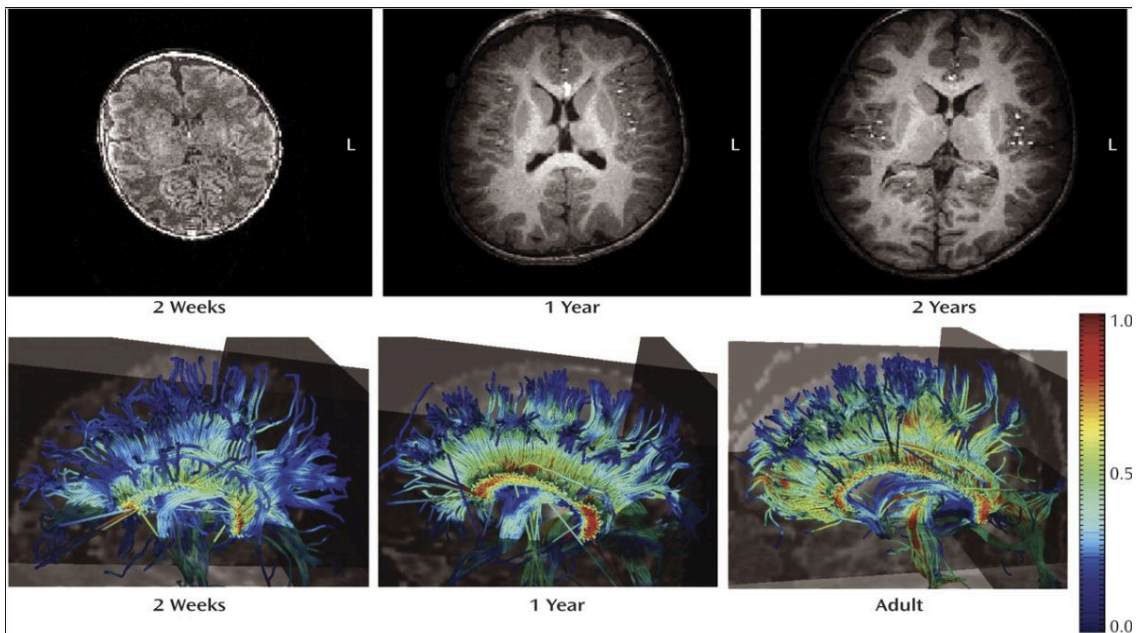
Po dwóch latach następuje masowa reorganizacja kory mózgu, [amnezja dziecięca](#), zapominanie zdarzeń z pierwszych dwóch lat życia.

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

Ok. 12 roku życia następuje powolna stabilizacja płatów czołowych.

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

Trudno jest znaleźć wyniki dokładniejszych badań nad tempem rozwoju połączeń synaptycznych. Publikacja Arain M i inn. [Maturation of the adolescent brain](#). Neuropsychiatr Dis Treat. 2013, pokazuje na kilku diagramach różne czynniki wpływające na rozwój mózgu i etapy rozwoju.



Źródło: JH Gilmore, W Lin, G Gerig, [Fetal and Neonatal Brain Development](#), 2006

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 usamodzielnić?

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



A7.7. 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 w pełni decydować o swoim zachowaniu. 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. Obecnie dodaje się do tego trzeci czynnik: emergencję funkcji, wynikających z naturalnych predyspozycji mózgu do rozwoju w środowisku, które go stymuluje. DNA to 3.3 mld elementów (4 typów cząsteczek nukleotydów). Opis struktury połączeń neuronów w mózgu wymaga około petabajta (1000 mld), a więc znacznie więcej informacji. Złożoność środowiska małego dziecka nie jest wysoka, można je opisać za pomocą kilku gigabajtów.

W pierwszych latach życia internalizacja informacji o świecie - wrażeniach dotykowych, akustycznych, wzrokowych czy smakowych - powoduje tworzenie się milionów połączeń synaptycznych na sekundę. Emergencja oznacza, że z informacji, która jest zawarta w DNA, może się rozwinąć struktura o znacznie większej złożoności. W informatyce jest rozróżnienie na ilość informacji potrzebnej do opisu jakiejś struktury, oraz ilość [informacji algorytmicznej](#), potrzebnej by ją utworzyć. Fraktale mają ogromną złożoność ale do ich utworzenia wystarczy bardzo prosty program. Emergencja to właśnie tworzenie złożonych struktur z prostszych.

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. Czy jednak zawsze tak jest?

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.

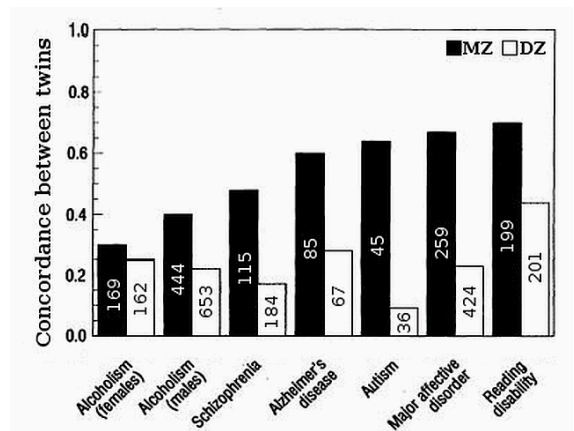
Ta dziedzina pełna jest kontrowersji: jak określić procent wpływu różnych czynników?

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 niż kobiet skazano za morderstwa; może to poziomu testosteronu? Ale w Chicago ludzie są 30 x bardziej skłonni do morderstwa niż w Anglii. Może więc to kwestia łatwego dostępu do broni? ([Crime and Human Nature, 1985](#)). Widać więc, że trudno jest znaleźć te czynniki, które mają najsilniejszy 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 ekspresję genów, być może nawet utworzyć nowy proces na poziomie genetycznym i molekularnym. Jest wiele chorób układu nerwowego wynikających z zaburzeń normalnego rozwoju, np. [agenезja ciała modzełowego](#).

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 Masłowa](#)) 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 zachowania możliwa jest w pętli obejmującej postrzeganie i działanie:

receptory zmysłowe => wzgórze i kora węchowa => kora zmysłowa => interpretacja => reakcje emocjonalne => prądkowie i kora ruchowa => działanie => receptory zmysłowe.

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 zaadaptować 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, [odrzuch Babińskiego](#), [odrzuch Moro](#), [odrzuch 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 około 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 desecze 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.](#)

**Zadanie: Jakie znasz przykłady kompromisów ewolucyjnych?
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 przestrzenie? 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 i dlaczego?
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 znasz chimery?

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

BBC Earth - [The making of me and you](#), ciekawostki na temat naszego ciała.

Literatura

15 minut o mózgu: [Brain Structure and Function](#).

[Czym jest życie?](#)

[2-minutowe wideo z Neuroscientifically challenged](#)

[Ośmiornice zmieniają swoją fizjologię](#) przez zmiany RNA.

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](#)

BBC Earth - [The making of me and you](#), ciekawostki na temat naszego ciała. Ile mamy komórek, ile ważą różne organy, z jakich składamy się pierwiastków i ile są warte?

Podręczniki:

- Jaśkowski P, Neuronauka poznawcza. Jak mózg tworzy umysł. Wizja Press IT, Warszawa 2009, rozdz. 2. Dla kognitywistów to bardzo dobre wprowadzenie.
- Sadowski B. Biologiczne mechanizmy zachowania się ludzi i zwierząt. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005

Dobre książki popularne związane z ewolucją:

- LeDoux J, Mózg emocjonalny. Wyd. Media Rodzina, Poznań 2000
- Sapolsky, R. (2021). Zachowuj się. Jak biologia wydobywa z ludzi to, co najgorsze, i to, co najlepsze. Media Rodzina.

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
- von Bartheld, C. S., Bahney, J., & Herculano-Houzel, S. (2016). The search for true numbers of neurons and glial cells in the human brain: A review of 150 years of cell counting. *Journal of Comparative Neurology*, 524(18), 3865–3895.
- 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
- Marnier 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.
- Sarnat, H. B. and Nettsky, M. G. (1974), *Evolution of the Nervous System*, New York: Oxford University Press. 142, 162

Cytowanie: [Włodzisław Duch](#), Wstęp do Kognitywistyki. Rozdz. A07. Ewolucja mózgów: kim jesteśmy. UMK Toruń 2025.

W. Duch, [Wstęp do kognitywistyki - spis treści](#) | [Następny rozdział: Homo sapiens i kultura.](#)