

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

Złożone czynności psychiczne: | [Geny i inteligencja](#) | [Sieci rozległe](#) | [Matematyka i mózgi](#) | [Muzyka](#)

B22. Złożone czynności psychiczne

Umysł można definiować w różny sposób. W teorii Newella i Simona umysł to system kontrolny, określający zachowanie organizmu w oddziaływaniach ze złożonym środowiskiem. To wymaga systemu poznawczego, który przetwarza informacje zmysłowe w złożony sposób, pozwalając na racjonalne działanie. Umysł nie jest więc pojęciem monolitycznym, odnoszącym się do jakiejś struktury, ale wieloma "procesami umysłowymi", które są wywoływane przez sytuacje, w których się znajdujemy teraz i znajdowaliśmy w przeszłości. Dlatego pionier sztucznej inteligencji, Marvin Minsky, napisał książkę "Society of Mind" (1986), próbując skatalogować wszystkie elementarne funkcje i zaprogramować ich odpowiedniki. Taki katalog opisujący pojęcia nazywa się **ontologią** (niezbyt szczęśliwie, bo w filozofii ontologia to teoria bytu, jeden z 3 podstawowych obszarów). W informatyce jak i **informatologii**, przez ontologię rozumiemy formalny opis pojęć i relacji między nimi, reprezentujący jakąś dziedzinę wiedzy, tworzący schemat pojęciowy przydatny do analizy formalnej za pomocą programów komputerowych. Jest cała dziedzina, zwana inżynierią ontologii, zajmująca się tworzeniem ontologii. Przykładem takiej sformalizowanej ontologii jest **ontologia piwa**.

Na procesy umysłowe składają się elementarne czynności związane z **percepcją**, **pamięcią**, **uwagą** i licznymi elementarnymi reakcjami organizmu. Są to procesy widoczne nawet u prymitywnych zwierząt. Listy takich procesów można znaleźć w opisie konstruktów psychologicznych używanych w ramach inicjatywy **kryteriów RDoC** opisu zachowania na różnych poziomach fenomiki. Jest to nadal bardzo niepełny obraz.

Atlas kognitywny kataloguje prawie 900 pojęć, 800 działań, 250 fenotypów opisujących głównie zaburzenia umysłowe, zaburzenia osobowości i zachowania. Każde pojęcie ma wiele synonimów, np. "intuicja" to również przecucie, przewidywanie, spekulacja wyobrażeniowa, czy nieświadomiona wiedza.

Welcome to Cognitive Atlas

The Cognitive Atlas is a collaborative knowledge building project that aims to develop a knowledge base (or ontology) that characterizes the state of current thought in cognitive science. The project is led by Russell Poldrack, Professor of Psychology at Stanford University. Development of the project was supported by grant RO1MH082795 from the National Institute of Mental Health.

Contributor Login

Sign up not necessary to view site.
Registered users may edit and contribute to the Cognitive Atlas.

Email

Password

[LOG IN](#) [SIGN UP](#)

Recently updated mental **CONCEPTS**

- *abductive reasoning*
- *abstract analogy*
- *abstract knowledge*
- *acoustic coding*
- *acoustic encoding*
- *acoustic phonetic processing*
- *acoustic processing*
- *action*
- *activation*
- *activation level*

[BROWSE ALL 885 CONCEPTS](#)

Recently updated experimental **TASKS**

- *delayed memory task*
- *regulated heat stimulation*
- *2-stage decision task*
- *backward masking*
- *size match task*
- *adaptive n-back task*
- *object decision task*
- *incentive modulated antisaccade task*
- *overlapping figures task*
- *meditation task*

[BROWSE ALL 784 TASKS](#)

Recently updated **DISORDERS**

- *Asperger syndrome*
- *trichotillomania*
- *advanced sleep phase syndrome*
- *fetal alcohol syndrome*
- *partial fetal alcohol syndrome*
- *alcohol-related neurodevelopmental disorder*
- *alcohol-related birth defect*
- *fetal alcohol spectrum disorder*
- *alcohol dependence*
- *nicotine dependence*

[BROWSE ALL 221 DISORDERS](#)

Recently updated **THEORIES**

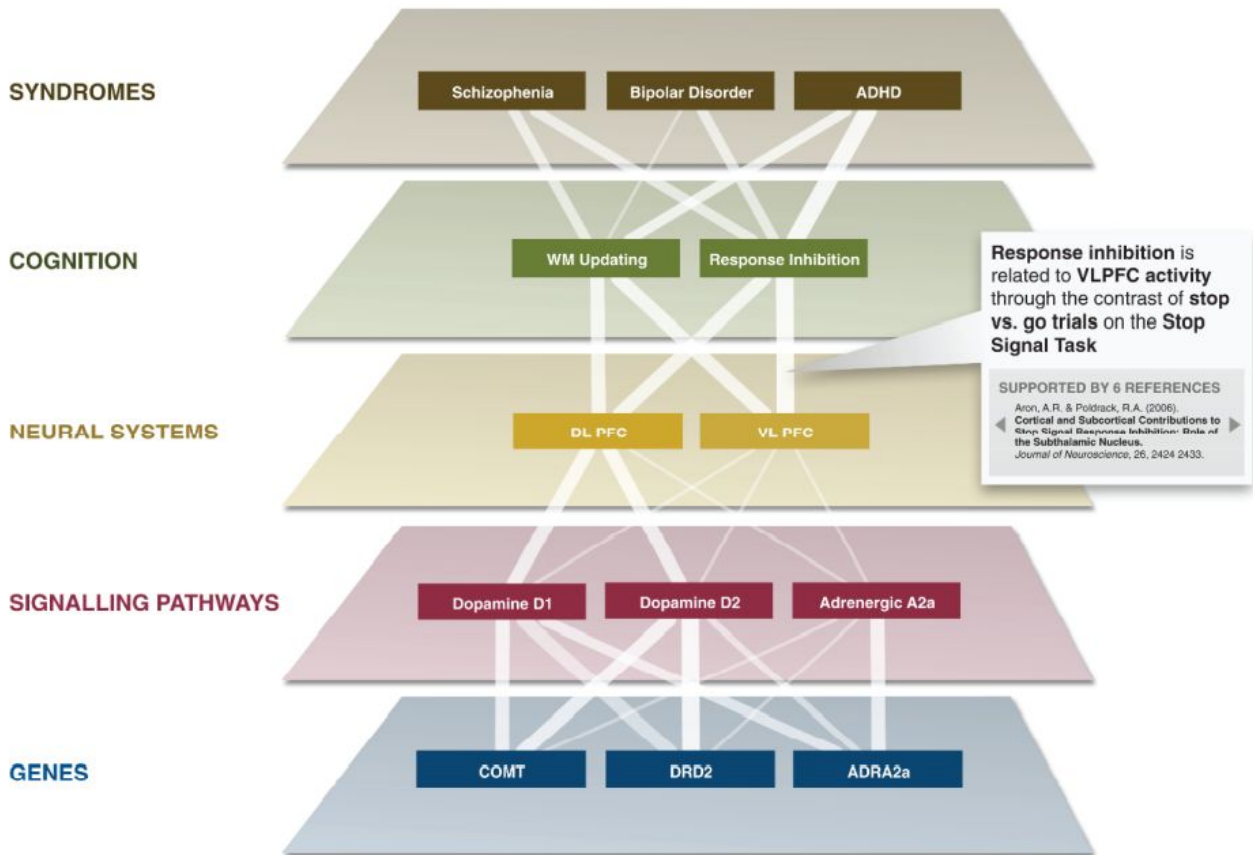
- *Baddeley's model of working memory*
- *RDoC Working Memory Matrix*
- *RDoC Negative Valence Systems Matrix*
- *RDoC Positive Valence Systems Matrix*
- *RDoC Cognitive Systems Matrix*
- *RDoC Social Processes Matrix*
- *RDoC Arousal and Regulatory Systems Matrix*

[BROWSE ALL THEORIES](#)

Atlas Kognitywny, projekt NIMH stworzenia ontologii pojęć dotyczących mózgu/umysłu.

Złożone czynności psychiczne, które są złożone z elementarnych procesów, to [świadomość](#), [poczucie tożsamości i jaźń](#), [osobowość](#), [teoria umysłów](#), [kreatywność](#), [język](#), [myślenie](#), [rozumowanie](#), [wola i poczucie sprawstwa](#), [wyobraźnia](#), wyobraźnia abstrakcyjna (matematyczna) i muzyczna ... czyli subiektywnie uświadamiane procesy wynikające ze złożonej pracy całego mózgu.

W coraz większym stopniu uczymy się dostrzegać takie procesy również u zwierząt. Nie tak dawno uważano, że zdolności człowieka to całkowicie nowa jakość, teraz widać, że są one rozwinięciem adaptacji, które można zauważyć u różnych zwierząt. Trąba słonia czy szyja żyrafy to radykalnie odmienne organy, ale rozwinęły się do obecnych rozmiarów stopniowo. Nasze duże mózgi mają niespotykane możliwości, ale rozwinęły się ze znacznie prostszych, dlatego badanie mózgu myszy, a nawet muszek owocówek, może nam sporo powiedzieć o mechanizmach leżących u podstaw działania mózgu.



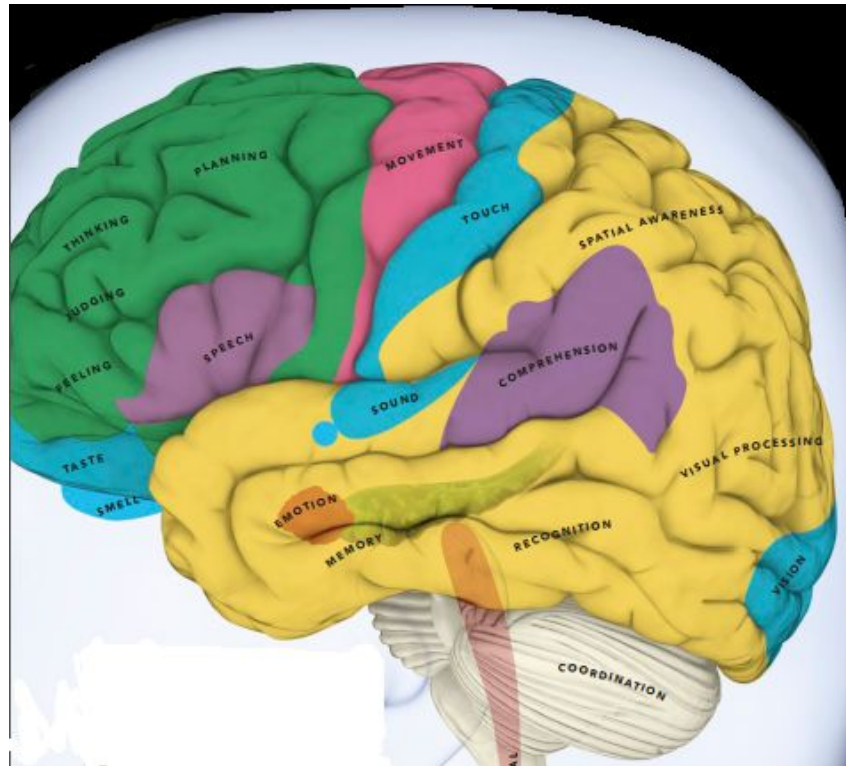
Atlas Kognitywny, poziomy opis.

Perspektywa ewolucyjna może wyjaśnić podstawowe mechanizmy działania mózgu. 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. Zachowania zwierząt są często bardzo wyrafinowane, szczególnie zachowania godowe, tańce i śpiewy ssaków, ptaków a nawet ryb, ale są to zachowania schematyczne, które ewoluowały przez bardzo długi czas. Odbieramy sygnały dzięki wykrywaniu chemicznych cząsteczek w powietrzu, wodzie i glebie za pomocą zmysłu węchu i smaku, wibracjom gruntu i powietrza, od infradźwięków (słonie, walenie) do ultradźwięków (nietoperze). Precyzyjna analiza nacisku pozwala na orientację za pomocą dotyku, która jest konieczna dla utrzymania równowagi. Informacja zawarta jest w promieniowaniu elektromagnetycznym, od głębokiej podczerwieni (żmije) do ultrafioletu (owady). Zwierzęta wykrywają słabe pola elektryczne i magnetyczne. Ta ogromna różnorodność sygnałów pochodzących ze zmysłów zamieniana jest na elektryczne impulsy i wydobywana jest z nich informacja przydatna do działania. Mózgi mają specyficzne struktury odpowiedzialne za analizę sygnałów zmysłowych i instynktowne reakcje na jej wyniki (Eagleman, 2020).

Czy i w jakim stopniu złożone czynności są zlokalizowane? Czy w ich realizacji zaangażowana jest większość struktur mózgu, czy tylko kilka wyspecjalizowanych?

Relacje określające współdziałanie różnych stosunkowo prostych funkcji mózgu, realizowane przez funkcjonalnie wyspecjalizowane obszary kory i sieci podkorowych, nie są sztywno ustalone. To powoduje, że działanie umysłów nie musi być podobne do komputerowych programów, które są oparte na zaprogramowanych procedurach (choć znaczna część ludzkości nie potrafi inaczej myśleć). Przypomina to bardziej architekturę systemu opartą na przepływie informacji ([dataflow architecture](#)), stosowaną w systemach sztucznej inteligencji. Działanie takich systemów trudne jest do przewidzenia, jest ustalane na bieżąco w zależności od sytuacji i historii poprzednich interakcji. Często nie wiemy, jak się zachowamy, dopóki nie znajdziemy się w określonej sytuacji.

Aktywność mózgu związana z percepcją skupiona jest w wyróżnionych obszarach. Mowa aktywizuje obszary kontrolujące ruch, ale na ile myślenie lub inne wyższe czynności są zlokalizowane? Pełna lokalizacja takich czynności jest mało prawdopodobna, ale również lokalizacja prostszych czynności jest kwestionowana (Anderson, 2010). Mózg może wykorzystywać te same obszary do różnych celów, dlatego można im przypisać udział w wielu funkcjach, ale żaden z tych obszarów nie jest za nie w pełni odpowiedzialny. Oznacza to, że powinna tu być duża wariacja aktywności licznych obszarów, bo złożone czynności są wynikiem ich wzajemnej współpracy, koniecznej w sytuacjach wykraczających poza typowe schematy postrzegania-działania.



Chociaż często przypisuje się funkcje do jednego z obszarów kory nie ma tu ścisłej lokalizacji. (Rysunek z R. Carter, Human Brain Book)

Szybkie **uczenie się w naturalnym środowisku jest procesem selekcji możliwości** wybranych przez naturę na drodze doboru naturalnego. 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 przydatnych informacji, 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. Systemy o dużej elastyczności działania nie mogą po prostu wyewoluować w szybko zmieniających się warunkach. Jest to kwestia kultury, gromadzenia wiedzy, edukacji i zdolności do uczenia się, a nie tylko biologicznej ewolucji.

Ma to swoją cenę: w zorganizowanych społeczeństwach presja selekcyjna nie jest już związana z inteligencją, uczeniem się rzeczy istotnych i przydatnych do przetrwania. Zgodnie z prawem **Kopernika-Greshama** w demokracji gorszy pieniądz (mniej precyzyjny model świata) wypiera lepszy.

Popatrzmy dokładniej na rolę genów, a potem przyjrzymy się systemom neuronalnym.



B22.1. Geny i inteligencja.



Relacje pomiędzy genami i inteligencją wymagają dokładniejszego omówienia. Zajmuje się tym [genetyka behawioralna](#) (genetyka zachowania).

Wielu ekspertów podpisało się pod 25 konkluzjami na temat badań nad inteligencją ([Gottfredson 1997](#)). Najważniejsze z

nich to stwierdzenie, że inteligencja to bardzo ogólna zdolność umysłowa, która odzwierciedla możliwości zrozumienia swojego otoczenia, wnioskowania, planowania, rozwiązywania problemów, myślenia abstrakcyjnego, pojmowania złożonych idei, szybkiego uczenia się oraz uczenia się na podstawie własnego doświadczenia. Nie jest to więc tylko zapamiętywanie, schematyczne działanie, wykonywanie testów, ale są to szersze i głębsze zdolności do wymyślenia dobrych rozwiązań.

Tak rozumiana inteligencja daje się mierzyć za pomocą różnych testów, które nie oceniają osobowości, kreatywności czy innych różnic indywidualnych. Dobrze zaprojektowane testy inteligencji powinny mierzyć poziom inteligencji a ich wyniki powinny być ze sobą skorelowane.

Czy są różnice w [inteligencji pomiędzy rasami](#) ludzi? Różnice pomiędzy narodami? W przeszłości twierdzono, że niemal każda grupa jest mniej inteligentna: Irlandczycy mniej inteligentni niż Anglicy, Chrześcijanie niż Żydzi, reszta świata mniej niż WASP ...

Eugenika, idea Francisa Galtona z końca 19 wieku (choć już w starożytnej Sparcie stosowano selekcję noworodków), była próbą stworzenia lepszego społeczeństwa. Za wzór posłużyła wiedza o hodowaniu różnych ras koni, zarówno wyścigowych jak i pociągowych. Pojawiły się liczne publikacje na temat możliwości udoskonalenia gatunku ludzkiego. [Przymusowe sterylizacje](#), mające zapobiec prokreacji osób upośledzonych, wprowadzono w wielu stanach USA od 1907 roku. Próby stworzenia "zdrowego rasowo" społeczeństwa w ramach "[higieny ras](#)" w nazistowskich Niemczech polegały na likwidacji całej grup etnicznych, uznanych za mało wartościowe (w pierwszym rzędzie Żydów i Romów). Popierano też prokreację osób rasy aryjskiej, zachęcając do posiadania jak największej liczby dzieci. Idee "[czystości krwi](#)" są rozpowszechnione na całym świecie, propagowane były w 15 wieku w Hiszpanii i Portugalii, mają też głębokie korzenie w wielu religiach. Nic dziwnego, że każdy naukowiec zajmujący się genetyką zachowania jest automatycznie podejrzewany o skłonności rasistowskie! Jednakże do tej pory "miękkie" idee eugeniki są w niektórych krajach stosowane przez stwarzanie osobom o pożądanym cechach (np. wyższym wykształceniu) preferencji i zachęty do posiadania większej liczby dzieci.

Czy chcemy wiedzieć jaka jest prawda, czy lepiej trwać w swoich przesądach ze strachu przed nią? Świat nie zależy od naszych poglądów i albo są różnice między ludźmi albo ich nie ma!

Obserwacje PET pokazują, że czynności werbalne u Japończyków przebiegają inaczej. Czy to wpływ pisma ideograficznego? Nieco lepiej rozpoznawane są znaki alfabetyczne (kana) w prawym a ideograficzne (kanji) w lewym polu widzenia.

Geny wyjaśniają około 50% różnic IQ, pozostałe 50% przypada na życie płodowe i środowisko? To zagadnienia bardzo kontrowersyjne: zarówno sama definicja inteligencji, jak i metodologia badań.

Badania nad bliźniakami jednojajowymi i dwujajowymi są podstawą poszukiwania genów inteligencji. Bliźniaki jednojajowe wychowywane osobno mają dla testów współczynnik korelacji IQ 0.75, dwujajowe 0.38, niespokrewnione dzieci wychowywane w jednej rodzinie 0.28 a po okresie dojrzewania tylko 0.04.

Takie badania nie jest łatwo zinterpretować. Geny prowadzą do zachowań, które wymuszają odpowiedzi środowiska, trudno jest więc po pewnym czasie określić, co było przyczyną a co jest skutkiem. Wiemy, że w dłuższym okresie czasu środowisko może wpłynąć na selekcję genów u osób, które się w nim wychowują. Np. osoby o bardzo indywidualistycznych skłonnościach wyprowadzają się do innych regionów, więc lokalnie pozostają osoby o silnym przywiązaniu do wspólnoty (przykładem są tu kultury polegające na uprawach ryżu).

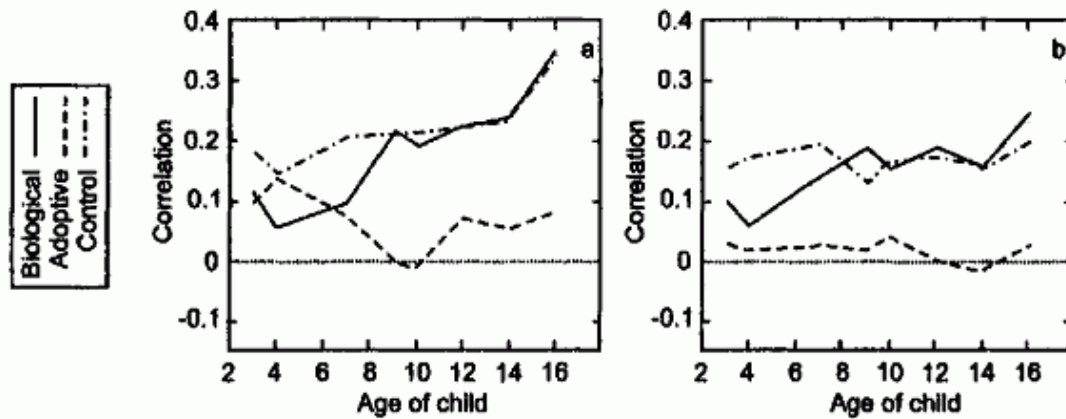
Drugi problem to zmienność wyników z czasem: starsze potomstwo staje się coraz bardziej podobne do rodziców: 40% w dzieciństwie, do 80% u dorosłych.

Dzieci adoptowane mają wyniki testów poznawczych bardziej zbliżone do swoich biologicznych rodziców niż do przybranych; podobieństwo do rodziców przybranych nie rośnie z czasem.

Badania	Bliźniaki jednojajowe wychowywane oddzielnie	Bliźniaki dwujajowe wychowywane oddzielnie
Plomin i.in, <i>Behaviour Genetics</i> , 1994, 24: 207	84%	50%
Bouchard i. in, <i>Science</i> , 1990, 250: 223	72%	
Pedersen i. in, <i>Behaviour Genetics</i> , 1985, 15: 407		52%
Bouchard i McGue, <i>Science</i> , 1981, 12: 1055	78%	

Rezultaty 4 serii badań nad dziedzicznością inteligencji mierzonej za pomocą testów określających współczynnik IQ (w sumie ponad 10.000 bliźniąt). Podano podobieństwo wyników w procentach.

Wniosek: IQ jest częściowo dziedziczne.



Korelacje dla dzieci adoptowanych i przybranych rodziców. Lewa strona: testy przestrzenne, prawa strona - testy językowe. Linia ciągła _ dla dzieci adoptowanych i ich biologicznych rodziców, a linia z kropkami -.-. dla dzieci wychowywanych przez biologicznych rodziców (Plomin 1997).

Środowisko jest "kluczem do zamka" genetycznego, ale bezpośrednio ma słaby wpływ na inteligencję. Genetyka behawioralna postawiła więc pytanie: czy istnieją geny inteligencji?

Robert Plomin próbował odpowiedzieć na to pytania badając geny 5% osób o najwyższym i najniższym IQ. Jeden z "genów inteligencji" odkryto w 1997 r, potem [jeszcze kilka innych](#). Najważniejszych 5 wniosków z badań bliźniaków to:

1. Dziedziczność inteligencji wzrasta od około 20% w okresie niemowlęcym do około 80% w wieku dojrzałym.
2. Inteligencja jest związana z wpływem genetyki na różne zdolności poznawcze i uczenia się, których współczynniki korelacji są na poziomie średnio 30% dla fenotypów i przynajmniej 60% dla genotypów.
3. Fenotypowy dobór partnera (tj. oparty na podobieństwie) jest w przypadku inteligencji większy (korelacje między małżonkami ok. 40%) niż w przypadku innych cech behawioralnych, takich jak osobowość i psychopatologia (10%) lub cech fizycznych, takich jak wzrost i waga (20%). To zmniejsza wariację genetyczną inteligencji w każdym pokoleniu, które ma możliwość wyboru.
4. Inteligencja ma rozkład prawie normalny, z wydłużonym końcem wyjątkowych osiągnięć.
5. Inteligencja jest powiązana z wykształceniem i statusem społecznym, razem te zmienne przyczyniają się do różnic w zdrowiu, chorobach, śmiertelności i mobilności społecznej.

Te wyniki potwierdzane są przez nową technikę badań, analizę całych genomów (Genome-wide Complex Trait Analysis, GCTA) większych populacji. Okazało się, że niektóre osoby niewidome wykazują lepsze wyniki w testach inteligencji werbalnej. Prawdopodobnie dotyczy to osób z mutacją genu *CORD7*, związanego z dystrofią czopków oka (niestety brak jest dobrego porównania wyników testów z innymi osobami niewidomymi). Ten gen ma też wpływ na rozwój synaps, pomagając w transmisji informacji w mózgu - zbadano to [na muszkach owocowych](#). Inne istotne geny dla rozwoju inteligencji regulują działanie mechanizmów nagrody, motywacji, reakcji emocjonalnych, wpływają na mielinizację aksonów.

Inny gen kodujący białka pojawiające się w czasie rozwoju mózgu płodu to [TKTL1](#). Pojedyncza mutacja, która zmieniła tylko jeden aminokwas, dała nieco inne białko, którego nie miały wcześniejsze człowiekowate ani neandertalczyki. [Zamiana tego genu u zwierząt](#) na ludzką formę zwiększa ich inteligencję.

Środowisko ekspertów od etyki badań naukowych protestowało - co zrobić z tą wiedzą zachowując 'polityczną poprawność'? **Nie zmarnować potencjału!**

Co koreluje się z inteligencją?

- Rozmiary mózgu - słabo.
- Szybkość przewodzenia sygnałów nerwowych.
- Czasy latencji i [szybkość reakcji](#); [dla cyfr](#); [dla rozróżnienia liter](#).
- Zużycie energii przez mózg jest odwrotnie proporcjonalne do jego kompetencji: im mniej tym większe IQ.
- Różne aspekty EEG i [potencjałów wywołanych](#).
- Pojemność pamięci roboczej, trzeba utrzymać w umyśle kilka myśli by je skojarzyć.

"Kobiet genialnych nie ma wcale", pisał Bayerthal (1911). To do niedawna był powszechny pogląd. Kobiety nie uganiają się za mężczyznami o ładnych nogach, a to świadczy o ich inteligencji.

Inny powszechny pogląd: wyższość jakiejś rasy nad innymi.

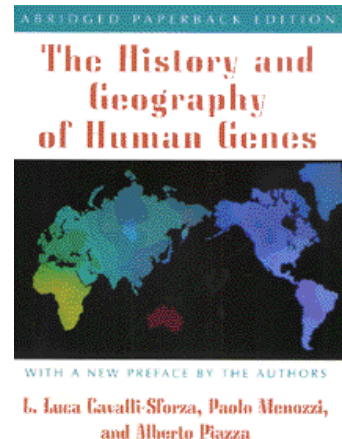
"[The Bell Curve](#): Intelligence and Class Structure in American Life", R. Herrnstein, C. Murray (1994), socjologdy - genetyka wyjaśnia różnice 15 punktów w IQ białych i czarnych.

[The History and Geography of Human Genes](#) - L. Cavalli-Sforza, P. Menozzi, A. Piazza (1995), synteza badań w genetyce populacyjnej.

Różnice genetyczne są powierzchniowe, wynikają z adaptacji do klimatu.

Wariancja genetyczna wewnątrz grupy jest większa od wariacji między grupami!

Aborygeni bardziej różnią się od Afrykanów niż od Europejczyków. Z genetycznego punktu widzenia tradycyjne kategorie rasy trudno jest jednak uzasadnić, bo kolor skóry zależy od pigmentu [melaniny](#), chroniącego przed promieniowaniem ultrafioletowym.



Oszacowanie liczby genetycznych przodków: 1 pokolenie = 25 lat.

100 lat = 4 pokolenia = 32 pra-rodziców, ogólnie 2^{k+1} pra-rodziców dla k pokoleń.

500 lat = 20 pokoleń = 2 miliony pra-rodziców.

800 lat = 32 pokolenia = 8 miliardów pra-rodziców.

800 lat temu liczba ludności na świecie nie przekraczała 400 milionów, więc nawet biorąc pod uwagę krzyżowanie się dalekich krewnych wystarczy około 30 pokoleń by prawie wszyscy żyjący wówczas ludzie, których geny przetrwały, mieli wkład do naszej puli genetycznej. Liczba ludności na świecie przekroczyła miliard dopiero w XIX wieku. Każdy obecnie żyjący człowiek ma wspólnego praprzodka nie dawniej niż 2 do 5 tysięcy lat temu ([DLT Rhode, Nature 2004](#)).

Genograficzny projekt National Geographic mapowania genetycznego wędrowek ludów pozwolił na opracowanie [atlasu historii migracji](#).

Omówiliśmy już wcześniej kilka modeli psychologicznych inteligencji płynnej i skryształizowanej, uwzględniających różne poziomy opisu funkcji poznawczych, pamięci krótko i długotrwałej, szybkości przetwarzania informacji, szybkości decyzji i czasów reakcji, układu słuchowego i wzrokowego, czytania i pisanie, umiejętności numerycznych, rozumowania płynnego (wymagającego postrzegania złożonych zależności, kreatywności) i skryształizowanego (wyuczonego i oparteo na zdobytej wiedzy). Wszystkie te cechy zależą od sprawności działania sieci neuronowych, a ta zależy od budowy neuronów i stopnia mielinizacji połączeń między nimi, decydującym o tym jak będą współpracować ze sobą sieci rozległe. Oczywiście genetyka ma na to wszystko wpływ, ale korelacje pojedynczych genów z poziomem edukacji czy innymi wskaźnikami inteligencji są bardzo słabe. Nowsze badania pokazują, że ekspresja [84% genów](#), czyli białka, które powstają w procesie transkrypcji tych genów, mają wpływ na budowę mózgu. Dlatego próby powiązania liczby lat poświęconych edukacji z genetycznymi markerami w ramach których uwzględniono 74 markery genetyczne dla 300 000 osób pozwoliło wyjaśnić tylko 0.4% różnic, a uwzględnienie 9 mln wariantów genetycznych daje wyjaśnia jedynie 3.2% różnic w długości formalnej edukacji ([A. Okbay et al. Nature 2016](#)).

B22.2 Sieci rozległe

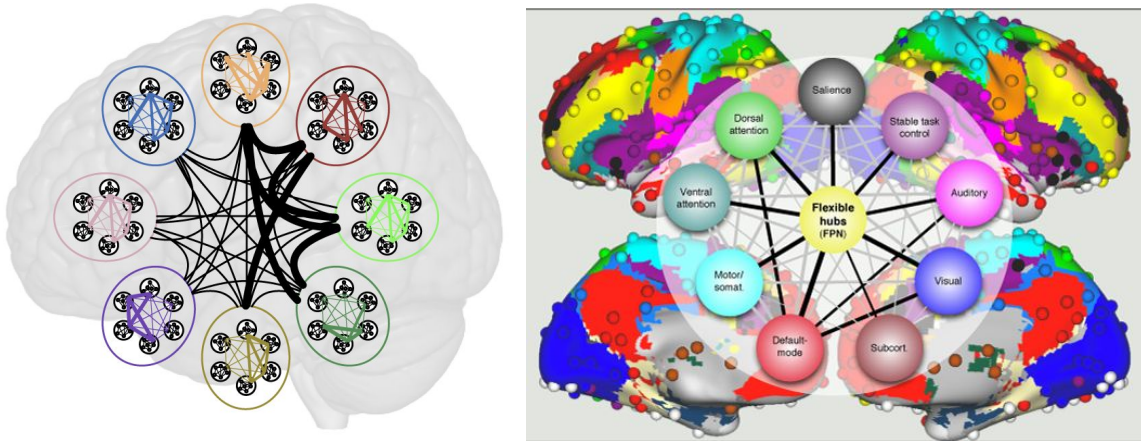
Badania sieci funkcjonalnych w czasie rozwiązywania łatwych i trudnych zadań pokazują związki poziomu wykonania zadań wymagających pamięci roboczej i modularnością oraz globalną sprawnością sieci (odwrotnością odległości mierzonej liczbą synaps pomiędzy współpracującymi ze sobą obszarami, im mniej synaps tym lepsza koordynacja). Globalna sprawność jest pozytywnie skorelowana z inteligencją płynną. Wiemy też, że grupy neuronów znajdujące się w obszarach należących do sieci wzbudzeń podstawowych (DMN) w przypadku trudniejszych zadań mogą włączyć się do sieci wykonawczych, pomagając w rozwiązaniu problemu, zwiększając sprawność pamięci roboczej. Sieci funkcjonalne, na tym samym koniektomie strukturalnym, potrafią się więc zreorganizować zależnie od potrzeb, włączając dodatkowe moduły. Sprawność procesów reorganizacji, szybkość resynchronizacji, ma wpływ na wyniki testów inteligencji. Zadania wymagające świadomych, złożonych działań prowadzą do większej integracji różnych obszarów mózgu, a działania wykonywane automatycznie do większej modularności sieci funkcjonalnych.

Hipoteza sprawności neuronalnej ([neural efficiency hypothesis](#)) głosi, że dla zadań o małym lub średnim stopniu trudności osoby o wysokiej inteligencji mają stosunkowo słabą aktywację w mózgu, zużywając na szukanie rozwiązań niewiele energii. Jednak przy zadaniach o wysokim stopniu trudności, z którymi osoby o niższej inteligencji sobie nie radzą, aktywacja ich mózgow jest wyższa (Neubauer i Fink 2009). Sprawność procesów neuronalnych zależy też od stopnia znajomości problemu. Osoby, których ogólna inteligencja nie jest wysoka, ale znają tematykę zadania bardzo dobrze, mogą go rozwiązać bez większego wysiłku mierzonego poziomem aktywacji mózgu.

Praktyczne wnioski dla efektywnej nauki oparte na tej teorii można [znaleźć tutaj](#).

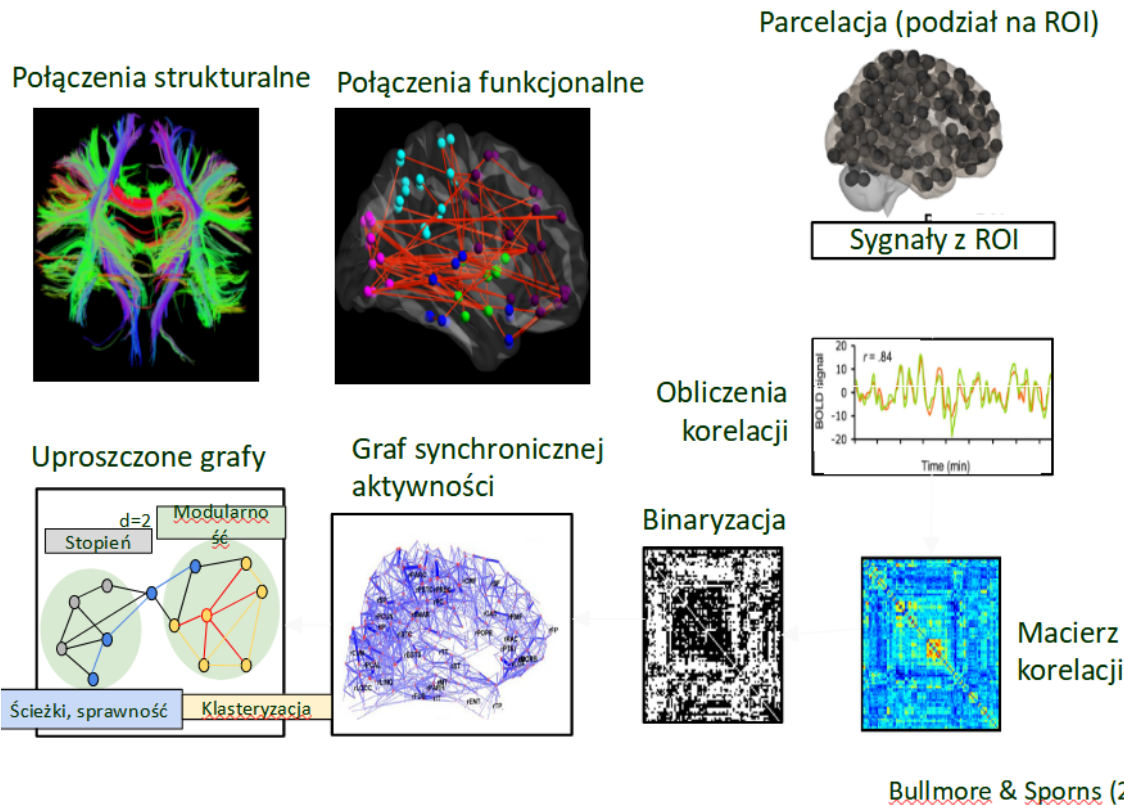
Wszystkie złożone funkcje wymagają synchronizacji przepływu informacji w obrębie całego mózgu. Chociaż używamy ogólnych pojęć, takich jak widzenie, pamięć, czy mowa, to każdy taki złożony proces umysłowy wymaga współpracy wielu systemów w mózgu, ma więc wiele aspektów. Sieci neuronowe, realizujące podstawowe funkcje związane ze zmysłami, zawierają gęsto ze sobą połączone grupy neuronów, a przepływ pomiędzy nimi kontrolowany jest przez "zmysł wspólny" (common sense), realizowany dzięki obszarom czołowo-ciemieniowym. Te obszary tworzą elastyczny system, "węzeł komunikacyjny", przez które przepływa informacja synchronizująca aktywność innych podsieci. Bezpośredni przepływ sygnałów pomiędzy różnymi podsieciami istnieje, ale jest słabszy niż przez obszary centralne.

Sieć DMN (wzburzeń podstawowych) jest pewnym wyjątkiem, korzysta z informacji innych sieci i włącza się w czasie, w którym nie wykonujemy żadnych konkretnych zadań. Jej moduły dołączają się jednak w czasie wykonywania trudniejszych zadań, tworząc większe sieci działające sprawniej. Schematycznie jest to przedstawione na poniższych rysunkach (za Cole i inn. 2013).



A. Sieci neuronowe o strukturze "małych światów". B. Sieci rozległe i komunikacja między nimi.

W jaki sposób możemy wykryć, że w realizacji jakiejś funkcji dochodzi do aktywacji sieci obejmującej różne regiony mózgu? Strukturę połączeń pokaże nam technika nazywana [traktografią](#), wykorzystująca do obrazowania kierunku włókien nerwowych rezonans magnetyczny (MRI). Badanie zmian koncentracji cząsteczek wody (czyli dyfuzję) w trzech wymiarach wokół długich połączeń (białej materii, aksonów neuronów) możliwe jest przy użyciu techniki tensora dyfuzji ([Diffusion Tensor Imaging](#), DTI). Tensor to po prostu tablica zawierająca składowe kierunki ruchu w każdym z małych obszarów, np. sześciątów (wokseli) o boku ok. 1 mm. Mózg można podzielić na kilkadziesiąt tysięcy takich wokseli. Obserwowane sygnały uśredniane są z większych obszarów, które nazywamy "interesującymi regionami" (Regions of Interest, ROI).



ROI=Regions of Interest, to lokalne obszary, których aktywność jest mierzona za pomocą fMRI, NIRS, MEG, EEG ...

Spójne, synchroniczne działanie regionów przypisanych do wyodrębnionych sieci daje się zauważyć nie tylko przy wykonywaniu określanych zadań ale również w spoczynku, stąd określenie "sieci spoczynkowe" (resting network). Wynika to z powolnych oscylacji aktywności silnie połączonych ze sobą obszarów mózgu. Stąd też określenie "sieci połączeń wewnętrznych" (intrinsic networks, ICN). Współpracujące ze sobą regiony nie muszą być jednak ze sobą fizycznie bezpośrednio połączone, mogą przesyłać sygnały przez regiony pośrednie.

To, co uznamy za rozległą sieć neuronalną zależy od progu dla siły korelacji, które uznamy za istotne, określających stopień synchronizacji współpracujących ze sobą grup neuronów. Dlatego wyróżnia się 6 (czasami 7) najbardziej stabilnych sieci o największej istotności (core networks, które wykryto u większości badanych osób) i pozostałe sieci, które oparte są na słabszych korelacjach. Sieci współpracują ze sobą i trudno jest jednoznacznie przypisać im funkcje, bo w zależności od kontekstu mogą się pobudzać w różnych sytuacjach.

Najważniejsze sieci to:

1. **Sieć sensomotoryczna** (sensorimotor network, SMN), nazywana też czuciowo-ruchową, a w niektórych artykułach pericentral network (PN), czyli obszary pierwotnej i wtórnej kory czuciowej i ruchowej. Włącza się do niej też część kory słuchowej. Jej rolą jest analiza informacji czuciowej i koordynacja ruchów.
2. **Sieć wzrokowa** (visual occipital, VON) obejmuje obszary [kory wzrokowej](#) w płacie potylicznym i częściowo ciemieniowym. Ze względu na pełnienie różnych zadań wyodrębnia się też wzrokową sieć przyśrodkową i wzrokową sieć boczną.
3. **Sieć istotności** ([salience network, SN](#)), w skład której wchodzi przednia część kory wyspy (AI) i grzbietowa część przedniej kory zakrętu obręczy (dACC). Zalicza się też do niej brzuszne prążkowie i część układu nagrody (istotę czarną). Jej rolą jest zwracanie uwagi na niespodziewane bodźce bądź stany mentalne wymagające uwagi, aktywacja sieci wykonawczych pozwalająca na orientację na bodźce zewnętrzne lub aktywacja sieci przetwarzania stanów wewnętrznych (sieci wzbudzeń podstawowych, DMN). Rolą sieci istotności jest też integracja różnych informacji: zmysłowej, emocjonalnej i poznawczej, konieczna dla sprawnej komunikacji, zachowań społecznych i świadomości swoich działań i stanów mentalnych.

Można też wyróżnić **brzuszną sieć uwagową** ([ventral attention network, VAN](#)), nazywaną również brzuszną siecią czołowo-ciemieniową (VFN) albo brzuszny system uwagi (VAS). Jak w każdej nowej dziedzinie minie trochę czasu zanim terminologia zostanie ustalona. Do sieci VAN przypisuje się [styk skroniowo-ciemieniowy](#) (TPJ), oraz brzuszną korę czołową, która też reaguje na istotne bodźce, np. zaskakujące obserwacje nie zgadzające się z oczekiwaniami. Silniejsze reakcje widać w prawej półkuli. Celowe skupienie uwagi na jakimś zadaniu wpływa hamująco na aktywność brzusznej sieci, przez co przestajemy reagować na zewnętrzne bodźce. To przykład kontrolowania procesów spontanicznych przez procesy wolicjonalne.

Sieć SN/VAN bywa też utożsamiana z siecią obręczowo-wieczkową (cingulo-opercular network, CON), obejmującą obszary bliskie SN. [Wieczko](#) obejmuje obszary przykrywające korę wyspy, rozciągające się wokół bruzdy Sylwiusza, oddzielającą płat skroniowy od czołowego i ciemieniowego.

4. **Grzbietowa sieć uwagowa** ([dorsal attention network](#)), DAN, nazywana też grzbietową siecią czołowo-ciemieniową. Zalicza się do niej obszary bruzd śródciemieniowych ([intraparietal sulci, IPS](#)) w płacie ciemieniowym, tylną część środkowego zakrętu skroniowego (middle temporal gyrus, MTG) i przednie pola wzrokowe ([frontal eye fields, FEF](#)) w płacie czołowym. Jest aktywna w czasie celowego skupiania uwagi na różnych własnościach bodźców, w tym monitorowaniu ruchu ciała i relacji przestrzennych z obiektami w środowisku, "odgórnie" podtrzymując aktywację obszarów czuciowych, przechowujących plany działania, oraz wykonawczych.
5. **Sieć czołowo-ciemieniowa** (fronto-parietal network, FPN) ma kilka nazw: sieć kontrolna czołowo-ciemieniowa (FCN), sieć wykonawcza (central executive network, CEN), lub sieć kontroli poznawczej (ang. cognitive control network, CCN). W skład tej sieci zalicza się wiele obszarów kory: grzbietowo-boczną korę przedczołową ([dorsolateral prefrontal cortex, DLPFC](#)), dolny płacik ciemieniowy ([inferior parietal lobule, IPL](#)), fragmenty przedniej kory wyspy ([anterior insula, AI](#)), przyśrodkowy fragment [dodatkowej kory ruchowej](#) (pre-SMA) i przedniej części zakrętu obręczy ([anterior cingulate cortex, ACC](#)).
W różnych zadaniach poznawczych te obszary aktywizują się zależnie od konkretnych zadań, pobudzając około 18 obszarów mózgu. To umożliwia wykonywanie zadań wymagających inteligencji płynnej. Niektóre aktywacje są bliskie DAN a inne DMN, można więc podzielić sieć FPN na dwie podsieci, ale ich wzajemna korelacja jest silniejsza niż z innymi sieciami.
6. **Sieć aktywności spoczynkowej** ([Default Mode Network, DMN](#)) jest aktywna przy skupianiu się na wewnętrznych stanach mentalnych, np. w czasie odpoczynku, gdy myśli krążą wokół spraw osobistych, wspomnień czy błędzenia myślami. Należą do niej obszary przyśrodkowe: tylne części kory zakrętu obręczy, przedklinek i część kory przedczołowej, oraz grzbietowo-boczne fragmenty płacika ciemieniowego, okolice zakrętu kąтового oraz fragmenty płatów skroniowych. Obszary te mogą się też włączyć w wykonywanie trudnych zadań poznawczych, np. dotyczących pamięci roboczej. Dokładniejsze badania pozwalają wyróżnić w obrębie obszarów wchodzących w skład DMN kilka skorelowanych ze sobą podsieci o nieco innych funkcjach. Przyśrodkowe obszary są głównie aktywne w przypadku pamięci autobiograficznej i myśli związanych z "ja". Część przyśrodkowo-skroniowa (DN-MTL) jest aktywna w przypadku rozmyślenia o przyszłości i tworzeniem wyobrażeń odwołujących się do pamięci epizodycznej. Część grzbietowo-przy-środkowo czołowa" DMN (DN-DMPFC) jest aktywna przy analizie informacji semantycznej, w przypadku rozmyślenia związanego z teorią umysłu, stanami mentalnymi innych osób.

Rola sieci spoczynkowych w w popularnym [artykule K. Jurewicz \(Kosmos, 2020\)](#).

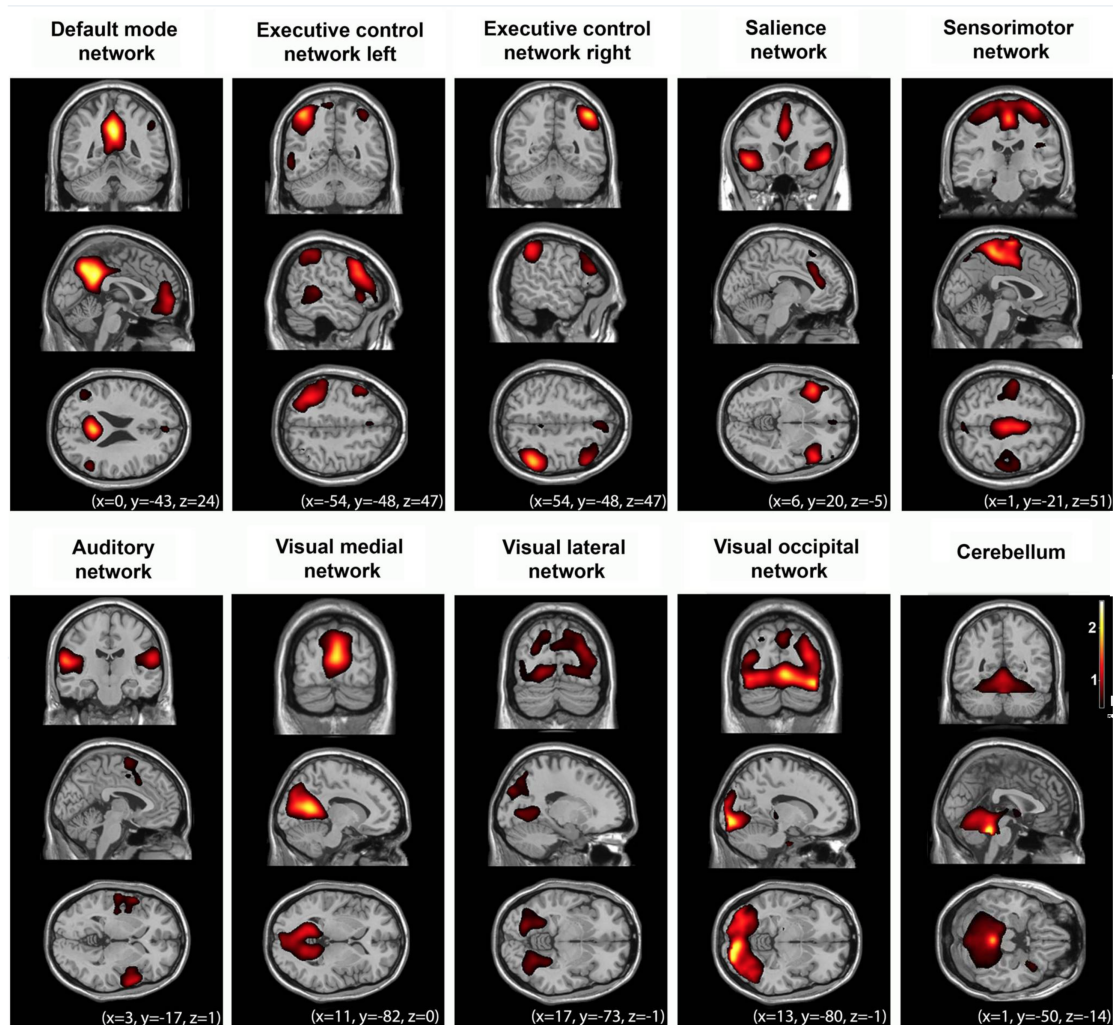


Figure 1. Cerebral networks identified with fMRI. *Resting State Networks and Consciousness* (2012) Lizette Heine, Andrea Soddu, Francisco Gómez, Audrey Vanhaudenhuyse, Luaba Tshibanda, Marie Thonnard, Vanessa Charland-Verville, Murielle Kirsch, Steven Laureys, and Athena Demertzi doi:10.3389/fpsyg.2012.00295

Przykład 10 sieci rozległych.

Wyróżniono też szereg innych sieci, w zależności od metody analizy i siły korelacji. Niektóre z nich wykorzystują obszary w głównych sieciach omówionych wyżej, lub mogą nawet być ich podzbiorem. Inne, np. sieci językowe, są zbyt zróżnicowane by je wyodrębnić od aktywacji obszarów całego mózgu.

Jest wiele wyrafinowanych metod matematycznych, które pozwalają na analizę aktywności sieci rozległych. Ustalanie normalnego sposobu ich funkcjonowania i powiązanie zmian przepływu informacji w tych sieciach jest obecnie ważnym tematem badawczym. Stwarza to nadzieję na obiektywne metody diagnozy i nowe sposoby terapii licznych problemów psychicznych.

B22.3 Matematyka i mózgi

Skąd wiem, że $2+2=4$ lub $5>4$? Zapamiętałem i mam wrażenie, że rozumiem, że to prawda. Znam też nazwy dla liczb, które ułatwiają przywołanie informacji o ich własnościach.

Rozumienie wielkości liczb naturalnych mają do pewnego stopnia zwierzęta. Warto się orientować czy liczba przeciwników jest większa niż członków swojego stada, atakować czy uciekać. Lwy atakują jeśli mają przewagę liczebną, potrafią więc ocenić, że $5>3$.

[Véronique Izard i jej współpracownicy](#) (PNAS 2009) zadali pytanie: Czy abstrakcyjne pojęcia liczbowe zależą od języka lub kultury, czy też stanowią część wrodzonej, podstawowej wiedzy człowieka? Okazało się, że noworodki potrafią skojarzyć obrazki składające się z 4-18 geometrycznych elementów z sekwencjami sylab o tej samej liczbie elementów - słysząc sygnały patrzą dłużej na obrazki, jeśli liczba różnych sylab w sekwencji zgadzała się z liczbą obiektów na obrazku. Według autorów tych badań to wskazuje na istnienie abstrakcyjnych reprezentacji liczbowych zaraz po narodzinach. Czy na pewno są to jednak abstrakcyjne reprezentacje czy tylko stopnie pobudzenia kory wynikające z percepcji? Trzeba odróżnić zdolności matematyczne, manipulację symbolami, od wyczucia sensu niewielkich liczb, które można nazwać "zmysłem liczbowym" (number sense).

Badania nad umiejętnościami liczenia pokazują związki pomiędzy kulturą, językiem i zdolnościami poznawczymi. Liczenie na palcach było pierwszą "technologią służącą obliczeniom" i jest nadal zalecane przy nauce małych dzieci. Nasze zdolności manualne przyczyniły się do głębszego zrozumienia sensu liczb. Języki już około 6000 lat temu wykorzystywały dziesiętny system liczbowy. Do tej pory istnieją języki, które wykorzystują do liczenia palce i inne elementy ciała ([Johnson i Everett, 2021](#)).

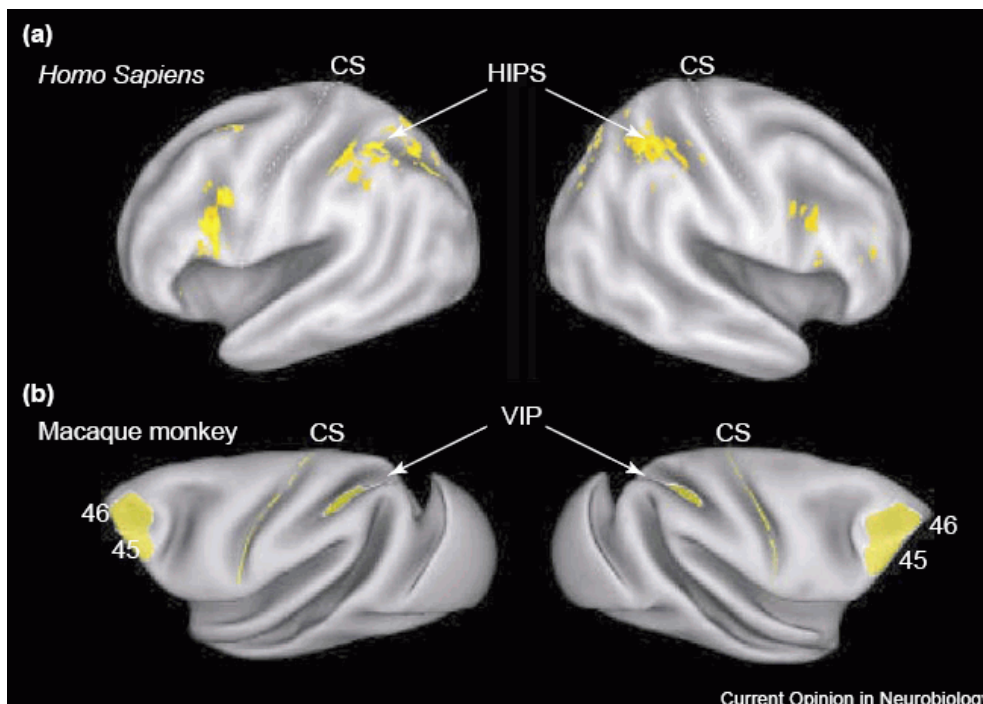
Zaskoczeniem było odkrycie, że plemiona [Pirahã i Mundurucu](#) z Amazonki **nie znają liczebników**, nie potrafią liczyć, nie odróżniają pudełek z rysunkami 3 lub 4 ryb, ale mają pewne wyczucie wielkości liczbowych. Pierwsze badania tych plemion okazały się błędne, bo pytano osoby, które nauczyły się nazywać liczebniki od odwiedzających ich wioski ludzi. Dokładniejsze badania pokazały ([Everett i Marora, 2011](#)), że ocena liczebności powyżej 3 obiektów wymaga symbolicznych nazw, nie tylko po to, by coś przywołać z pamięci, ale również porównywać liczby ze sobą. Są różne, bo ich nazwy się różnią.

Mundurucu nie potrafią liczyć powyżej 5 (dodawać lub porównywać liczb), ale już w wieku 7-13 lat wykazują zrozumienie abstrakcyjnych pojęć geometrycznych, chociaż nie uczą się tego w szkole. Na wiele pytań dotyczących geometrii płaskiej - punktów reprezentujących wioski, linii, odległości - odpowiadali prawidłowo w 90%, a geometrii na sferze w 70%. Porównywalne wyniki osiągają dzieci w szkołach USA i Francji ucząc się geometrii ([V. Izard](#) i inn. PNAS 2011). Nie brakuje im więc zdolności do myślenia przestrzennego, tylko abstrakcyjnego, opartego na symbolach.



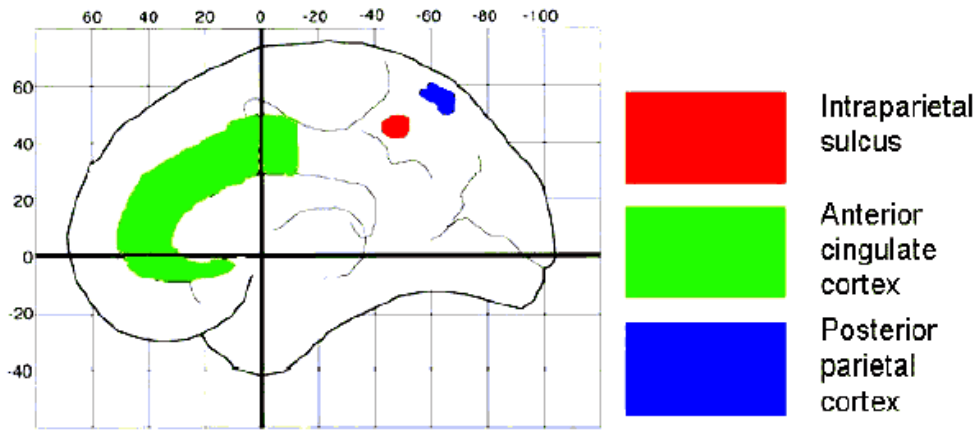
Język Pirahã ma 3 samogłoski i 8 spółgłosek, może być zarówno mówiony jak i gwizdany (co przydaje się do porozumiewania się w dżungli). Składa się z niewiele ponad 50 słów, np. jedno na ojca i matkę, brak w nim określeń kolorów czy liczb. Nie mają tańców, muzyki, sztuki i religii - to prawdopodobnie wymaga bogatszych wyobrażeń symbolicznych. W języku Indian Amondawa z Amazonki nie ma określenia na czas, osobnego pojęcia na zdarzenia w czasie, zmienia się imiona gdy zmienia się role dorastając. Można więc żyć prawie bez języka. Analiza zdolności takich plemion [doprowadziła badaczy do wniosku](#), że **znajomość liczb nie zmienia naszego wycucia wielkości czy liczebności obserwowanych obiektów**, ale pozwala zapamiętać i porównać ilościowo sytuacje w różnym czasie, miejscu, obserwowane w różnych sposób. Jeśli w amazońskiej dżungli nie było takich potrzeb, nie było też powodu by stosować symbole języka dla rozróżniania wielkości.

Uszkodzenia płata ciemieniowego po wylewie nie zaburzą pamięci, zaburzą za to orientację w przestrzeni. Czasem nie pozwalają nawet odpowiedzieć na pytanie: czy 5 leży pomiędzy 2 i 4? Aktywność płatów ciemieniowych konieczna jest zarówno do wyobraźni arytmetycznej, jak i rozumienia relacji przestrzennych; podobnie jest u zwierząt. Płaty skroniowe odpowiedzialne są za pamięć faktów, np. zapamiętanie tabliczki mnożenia.



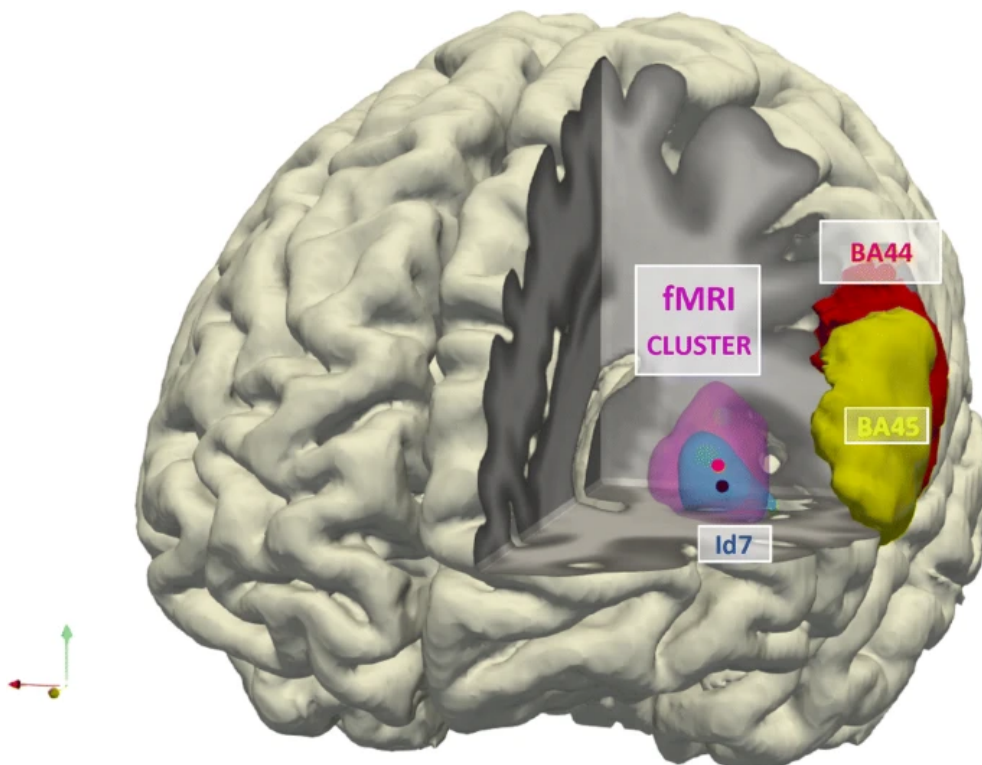
Położenie bruzdy śródciemieniowej, kluczowej w rozumieniu matematyki.

Neurony aktywne w czasie liczenia znajdują się w obszarze HIPS, czyli poziomego odcinka bruzdy śródciemieniowej w płacie ciemieniowym.



Obszary mózgu aktywne w czasie rozwiązywania równań (Luna 2004).

Dokładniejsze odróżnienie obszarów mózgu zaangażowanych w przetwarzania informacji ilościowych, operacji logicznych i językowych możliwe było w oparciu o eksperyment (Grodzinsky i inn., 2020), w którym uczestnicy najpierw słuchali poleceń nakazujących porównanie wielkości dwóch zbiorów (np. mniej niż połowa kropek jest niebieska), a następnie oglądali obrazki i naciskali przycisk prawda-fałsz. W takim eksperymencie można łatwo regulować poziom trudności pokazując obrazki o różnej złożoności. Słowo "mniej niż" kojarzy się z jego logicznym zaprzeczeniem "więcej niż". To powoduje wyraźne wydłużenie czasów reakcji prawie u wszystkich badanych. Analiza danych fMRI pokazała różnice głównie w dwóch obszarach. Pierwszy leży w lewej przedniej części kory wyspy, gdzie zidentyfikowano na podstawie budowy komórkowej tego regionu podgrupę określoną jako Id7. Aktywacja w przypadku pojawienia się negacji była tu wyższa niż przy jej braku. Drugim obszarem jest lewy górny zakręt skroniowy, którego aktywność związana jest z aspektami językowymi. Rozumienie logicznego sensu wymaga aktywacji specyficznego regionu mózgu, który nie jest związany z postrzeganiem różnic ilościowych ani werbalnym opisem.



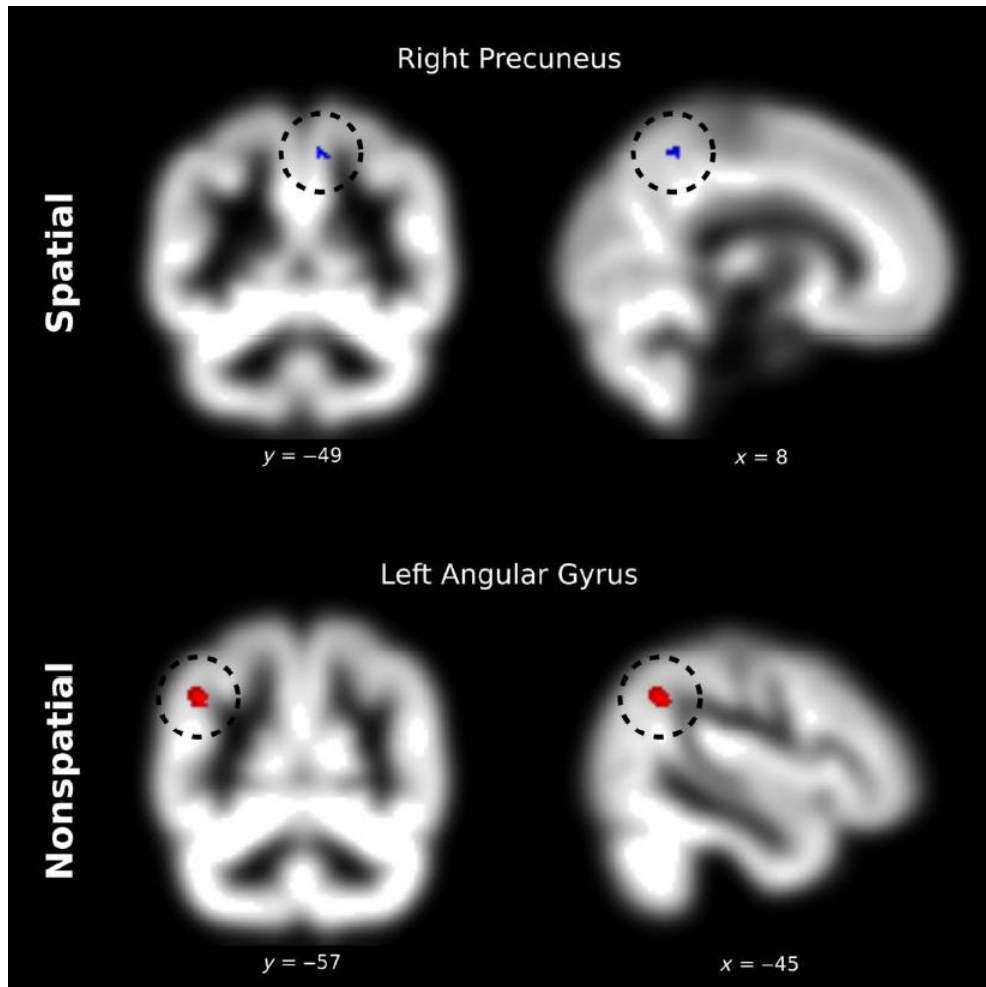
Obszar Id7 w przedniej części kory wyspy, którego aktywność związana jest z logicznym zaprzeczeniem (Grodzinsky i inn., 2020).

Dyskalkulia to niezdolność do rozumienia liczb i pojęć matematycznych, np. oceny która liczba jest większa. Może się też wiązać z trudnościami oceny upływu czasu, określenia kierunków, porządku sekwencji zdarzeń, ruchów tanecznych i innych sekwencji. **Dyskalkulia rozwojowa** jest obecnie rozpoznaną chorobą genetyczną.

Czy wszyscy ludzie w ten sam sposób rozumieją sens liczb?

Początkowo sądzono, że reprezentacja liczb ma naturę przestrzenną, przypomina ustawienie liczb na osi, czy też

uporządkowanie tonów na klawiaturze fortepianu, od małych liczb po lewej stronie (niskie tony), do dużych, po prawej stronie. Jednakże część osób nie odwołuje się do przestrzennych metafor związanych z położeniem, tylko do innych wrażeń zmysłowych, takich jak jasność, wielkość, czy siła nacisku. U osób wykorzystujących orientację przestrzenną stwierdzono różnice anatomiczne w ilości szarej materii w okolicach prawego przedklinka, a u pozostałych w obszarze lewego zakrętu kątowego.



Różnice w ilości szarej materii u osób preferujących przestrzenne lub nieprzestrzenne rozumienie liczb.

Zespół sawanta to niezwykle uzdolnienia w wąskim obszarze, zdolności arytmetyczne, pamięciowe, artystyczne czy ruchowe osób upośledzonych. Takie zdolności wynikają prawdopodobnie ze specjalizacji kory kosztem innych funkcji. Oliver Sacks opisał [autystycznych braci](#), dla których przyjemnością było "widzenie liczb pierwszych". Nie ma niestety wiarygodnych danych dotyczących tego typu zdolności, nie wiadomo jak duże liczby mogą przeanalizować i ile czasu to zajmie, ani jakim algorytmem się posługują (M. Yamaguchi, 2009).

Sawanci są "niewolnikami algorytmu", nie potrafią się adoptować, w większości przypadków mają jakąś formę autyzmu.

[Rüdiger Gamm](#) jest niezwykle przykładem zdolności sawanta, który odkrył swoje zdolności w wieku 21 lat. W odróżnieniu od innych sawantów potrafi stosować swoje zdolności do nowych zadań.

Sawantów bada się między innymi w [Center for the Mind](#) w Sidney; stymulacje za pomocą pola magnetycznego (TMS) wywołują u niektórych ludzi zbliżone efekty.

Czym jest to wrażenie "wiem, rozumiem"? Można pamiętać tabliczkę mnożenia, ale nie mieć poczucia, że zna się prawidłową odpowiedź. Prawdopodobnie konieczne jest pobudzenie układu nagrody (płata czołowego) po prawidłowo wykonanym działaniu, pomagającym stwierdzić, że mózg gotowy jest na nową porcję informacji.

Stanislas Dehaene posumował w książce ["The Number Sense: How the Mind Creates Mathematics"](#) wiedzę na temat tego, jak mózg nadaje sens liczbom. Jednakże przez wieki ludzkość nie miała pojęcia jakie mechanizmy poznawcze odpowiedzialne są za rozumienie matematyki. Zadawano niewłaściwe pytania, na które nie dało się jednoznacznie odpowiedzieć.

Czy **matematyka** jest **konstruowana**, czy raczej **odkrywana**? To podstawowe pytanie [filozofii matematyki](#). Są tu dwa tradycyjne obozy, a spory na ten temat toczą się od starożytności.

Platonicy twierdzą, że istnieje niezależny od nas świat abstrakcyjnych idei, matematyka jest więc odkrywana.

Konstruktywiści (empirycy) twierdzą, że wszystko to konstrukcje umysłowe wynikające z specyficznego typu myślenia.

Są kultury pierwotne, które nie posługują się liczbami. W umysłach tych ludzi nie ma miejsca na abstrakcyjne, matematyczne twierdzenia. Edukacja otwiera przed nami świat abstrakcyjnych idei. Ze znanych struktur matematycznych można skonstruować nieskończenie wiele relacji. Jesteśmy zdolni ogarnąć tylko znikomą część tego nieskończonego świata idei.

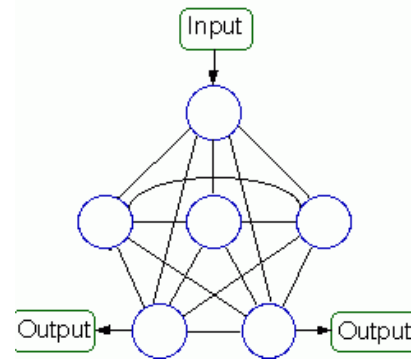
Platonicy mówią o świecie potencjalnym, a konstruktywiści o świecie rzeczywistym, pojawiającym się w naszych umysłach w czasie rozważania matematycznych konstrukcji.

Abstrahowanie, tworzenie nowych kategorii, umożliwia postrzeganie ogólnych związków i tworzenie teorii, dostrzeganie sensu na wyższym poziomie opisu. Świadomość (jak stwierdził już John Locke) to percepcja stanów umysłu, w tym wyobrażeń matematycznych struktur. Świat abstrakcyjnych teorii dla umysłu jest równie rzeczywisty co świat konstruowany z informacji pochodzącej ze zmysłów; reprezentacja wszystkich pojęć w mózgu jest podobna.

Obiekty matematyczne istnieją potencjalnie, definicje i aksjomaty pozwalają konstruować nowe pojęcia matematyczne (geometryczne, algebraiczne) i badać ich relacje. Na tym polega istnienie potencjalnie. Aktualnie istnieją różne rzeczy fizyczne, można sobie też wyobrazić różne rzeczy i zdarzenia minione, które istniały a teraz są tylko w naszych umysłach, są też rzeczy, które się stopniowo aktualizują, w świecie fizycznym gdy je budujemy lub w świecie mentalnym, gdy je planujemy. Gdy ktoś o nich pomyśli i dostrzeże stany swojego umysłu, które je reprezentują, aktualizują się w świecie mentalnym. Przyszłość istnieje potencjalnie, plany przenosimy na teren budowy, a matematyczne twierdzenia zapisujemy w postaci symboli. Dowodzenie i wymyślanie twierdzeń to rozpoznawanie relacji w przestrzeni abstrakcyjnych, wyobrażonych obiektów. Ścieżka od planów do realizacji, lub od założeń do dowodu, może być długa i bardzo zawiła, nawet jeśli samo sformułowanie problemu jest proste, jak np. w przypadku [wielkiego twierdzenia Fermata](#).

Aktualizacja wiedzy potencjalnej w konkretnym umyśle wymaga stabilnych stanów umysłu o własnościach relacyjnych odpowiadających relacjom pomiędzy postrzeganymi obiektami. Tworzenie takich stanów wymaga energii i czasu, a proces ten przypomina bardziej konstruowanie niż postrzeganie. Zależnie od sposobu pracy mózgu można w tym widzieć postrzeganie lub konstruowanie.

Zwykle konstruowanie przebiega w sposób utajony, nieświadomie, na podstawie uogólnionych przykładów. W efekcie powstające skojarzenia pozwalają nagle dostrzec powstałą konstrukcję. Konstruowanie może też przebiegać świadomie, na podstawie analizy wcześniejszej wiedzy lub w procesie indukcji. Prawdopodobnie po "zagnieżdzeniu się" abstrakcyjnych obiektów w pamięci:



- postrzeganie to proces wykorzystujący korę zmysłową do "odkrywania" relacji pomiędzy reprezentacjami abstrakcyjnych, wyobrażonych obiektów;
- konstruowanie wykorzystuje korę ruchową, tworzy połączenia przez aktywne transformacje obiektów.

Jeśli nie zadajemy właściwych pytań spory nie dają się rozstrzygnąć. Jak głosi chińskie przysłowie, pytanie bywa jak słup, do którego przywiązać można osła na parę tysięcy lat. Być może spór platoników i konstruktywistów to właśnie taka sytuacja. Możliwa jest trzecia droga: **matematyka kognitywna**, zadająca całkiem inne pytania: w jaki sposób koncepcje matematyczne wyłoniły się z naszej "metafizyki dnia powszedniego".

G. Lakoff i R. Nunez napisali książkę [Where Mathematics Comes From](#): How the Embodied Mind Brings Mathematics into Being, która otworzyła drogę do [kognitywnej filozofii matematyki](#). Odwołali się przy tym do teorii metafor, pokazując jak pojęcia matematyczne wiążą się z percepcją i naszym rozumieniem procesów fizycznych. Liczby oparte są na zbiorach, punktach, liniach i powierzchniach, a zmiana jest związana z ruchem. Rekurencja wiąże się z powtarzalnością, ruchem kołowym.

Wystarczy przeczytać 50 stron ostatniego rozdziału tej książki by zrozumieć, skąd się biorą liczby zespolone i co oznacza słynna formuła Eulera: $e^{i\pi} + 1 = 0$. Mamy w niej najważniejsze symbole matematyczne: =, +, 0, 1, e , i , π , równość, dodawanie, zero, 1. Funkcja eksponencjalna e^{it} opisuje ruch kołowy na płaszczyźnie (jednostka urojona i to drugi wymiar), samoregulacja związana jest z szybkością zmian równą wartości samej funkcji (pochodna $(e^x)' = e^x$). Jeszcze przy końcu 19 wieku najlepsi matematycy sądzili, że manipulując symbolami możemy to udowodnić, ale nie udało się zrozumieć sensu tego równania. Matematyka kognitywna pokazuje, jak nawet tak abstrakcyjne równania wynikają z naszego doświadczenia bycia w świecie.

Ciekawostka: zdolności matematyczne nie są wrodzone ani nie są związane z rasą. W połowie 20 wieku i na początku programu kosmicznego [NASA zatrudniała](#) sporą grupę czarnych kobiet o unikalnych zdolnościach matematycznych, nazywanych "black women computers". Między innymi te kobiety obliczały trajektorię pierwszego lotu astronauty Alana Sheparda w 1961 roku. Ta historia stała się znana dopiero w 2016 roku po nakręceniu filmu "[Ukryte działania](#)" (Hidden figures).

Wiele zwierząt wykazuje podstawowe zdolności matematyczne, stwierdzono je [nawet u ryb](#). Nie jest to oczywiście zdolność do liczenia, a tylko umiejętność odróżniania "małe" i "większe" dla kilku obiektów.

Matematyka rozważa abstrakcyjne idee i ich relacje. Idee artystyczne można również uznać za próbę wyrażenia syntetycznych idei, stworzonych przez mózgi. Bada to nowa dyscyplina naukowa, [neuroestetyka](#). [Semir Zeki](#) rozważa z punktu widzenia neuroestetyki ogólne koncepcje sztuki, omawia koncepcje literackie, koncepcje piękna a nawet romantycznej miłości (Zeki 2012).

Mój stary referat na temat [neuroestetyki jest tu](#).

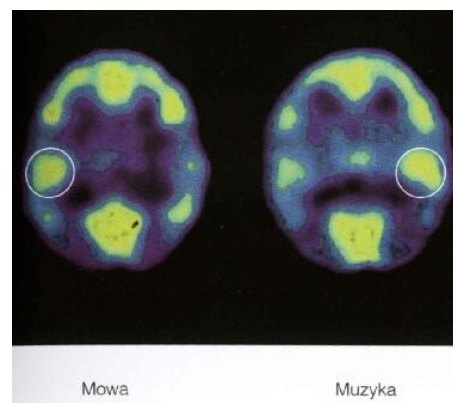
Nauczanie matematyki

Paul Howard-Jones opracował raport na temat wniosków z badań nad mózgiem dla edukacji. Przetłumaczony i uzupełniony o nowsze wyniki raport "Neuronauka i Edukacja: Przegląd Interwencji i Podejść Edukacyjnych Korzystających z Osiągnięć Neuronauki. Pełen Raport i Podsumowanie", [dostępny jest tutaj](#). Znaczna część poświęcona jest nauczaniu matematyki. Podsumowanie tego raportu i innych zagadnień związanych z neuroedukacją jest [w tej prezentacji](#).

Trudności doświadczane przez dorosłych studentów można przewidzieć na podstawie stopnia zaangażowania obszarów mózgu odpowiedzialnych za kontrolę poznawczą, kontrolowanie negatywnych reakcji emocjonalnych na obiekty związane z matematyką. Używanie liczb wywołuje lęk nawet u bardzo młodych uczniów i utrzymuje się to na dalszych etapach edukacji. Lęk niekorzystnie wpływa na pamięć roboczą, wysoki poziom lęku zwiększa aktywność ciała migdałowatego oraz zmniejsza aktywność w obszarach mózgu związanych z pamięcią roboczą i przetwarzaniem liczb. Wywołuje to [arytmofobie](#), która jest rozpoznany zaburzeniem lękowym na które cierpi [wiele osób](#). Bywają też fobie określonych liczb, np. 4, 13, czy 666.

B22.4 Muzyka i mózgi

O percepcji muzyki mówiliśmy już na wykładzie o percepcji [omawiając słuch](#). Był tam efekt Mozarta, muzykoterapia, amuzja, harmonia i ewolucyjna wartość muzyki. Wiemy też, że granie na muzycznych instrumentach wymaga precyzji ruchów, koordynacji ruchów palców czy modulacji wydychanego powietrza. Trening gry na instrumencie wpłynie na większą wrażliwość dotyku: pomyślcie jak precyzyjnie trzeba trafić w miejsce na strunie skrzypiec, by dźwięk miał właściwą częstotliwość z dokładnością do ułamków hertza. Wydobywanie dźwięku z instrumentów dętych wymaga odpowiedniego ściskania ustnika i wibracji. Zmieni to mapę czuciową w korze somatosensorycznej. Koordynacja ruchu placów powoduje zmiany mapy ruchowej w pierwotnej korze M1, ale też w pozostałych obszarach, kontrolujących planowanie i sekwencje ruchów. Ma to oczywisty wpływ na pamięć. Teraz skupimy się na genetyce i procesach centralnych, umożliwiających percepcję i tworzenie muzyki. Najpierw kilka uwag o przyczynach, dla których muzyka istnieje.



Ewolucja muzyki

Dlaczego we wszystkich kulturach istnieje muzyka? [Wpłynęły na to ważne czynniki ewolucyjne](#). Związek muzyki z emocjami jest wyraźny i nie dotyczy tylko ludzi. [Instynkt muzyczny](#) jest wrodzony ptakom, śpiewają wieloryby i inne ssaki morskie, ryby [śpiewają w chórach](#), gibony tworzą duety, śpiewają też myszy.

Śpiewy ptaków i reakcje na dźwięki typu "stroszenia piórek" mają ważną funkcję związaną z doborem płciowym. Na wczesnym etapie ewolucji powstały mechanizmy obronne, stroszenie piór gdy robi się zimno lub zwierzę chciało wyglądać na większe, bardziej groźne. Strach może wywołać reakcję stawiania włosów na głowie. W ciemności nastroszone włosy działały jako receptory dotyku, kurczą się mięśnie przywłosowe powodując wyprostowanie włosów. Ten mechanizm znany jest jako [reakcja pilomotoryczna](#) lub potocznie "gęsia skórka". Ludzie mają reakcje "gęsiej skórki" na niektóre dźwięki, szczególnie sygnalizujące niebezpieczeństwo, albo chmurę komarów. Nastroszone włoski pomagają odczuć, gdzie owad ląduje na skórze. Dysonanse muzyczne mogą wywołać podobne [reakcje fizjologiczne](#) wywołane nietypowymi dźwiękami, które mózg próbuje przeanalizować (widać to w słuchowych potencjałach wywołanych). Zaburzają więc chwilowo wrażliwość na istotne dźwięki, co budzi niepokój.

Ani [tamaryny](#) ani [marmozety](#) nie wykazały preferencji dla konsonantów, mogąc wybierać miejsca w labiryncie, w których było słychać różne akordy. Zdradzają natomiast preferencje do kołysanek w porównaniu z techno, prawdopodobnie z powodu wolniejszego tempa. Ponieważ najbardziej preferują ciszę można sądzić, że dźwięki kołysanek mniej im przeszkadzały słyszeć inne te dźwięki, które zwierzęta uważają za istotne. Zwierzęta silnie reagują tylko na dźwięki, które są

dla nich ekologicznie istotne, mają specyficzną strukturę.

Muzyka składa się ze złożonych dźwięków, ale niektóre z nich mogą uruchomić takie pierwotne reakcje, zarówno związane ze strachem, pobudzeniem, jak i przyjemnością. Niskie chrapliwe dźwięki, zgrzyty kojarzą się z niebezpieczeństwem i strachem. Rozległe kontury wznoszących się i opadających dźwięków wyrażają radość i niespodziankę, opadające tony są wyrazem dobrego samopoczucia, a „szczebiot” kojarzy się z wesołością.

Wokalizacja małp stadnych (jak i wielu innych zwierząt) służy komunikacji i ostrzegania obcych: to nasz teren, trzymać się z dala! Wymaga to mniej wysiłku niż znakowanie za pomocą śladów zapachowych, które preferują zwierzęta bojące się drapieżników, lub drapieżniki szczytowe, które nie boją się zdradzać swojego miejsca (B. Merker, 1999).

Ksenofobia prowadzi do dziedzicznych chorób; potrzebne jest mieszanie genów.

Zwierzęta żyjące w zwalczających się grupach boją się z nich odejść. U

szympansov (jak i ludów myśliwsko-zbierackich) samice wabione są głosem

chóru samców (Miller, 2002). Nawoływanie pozwala przekroczyć barierę strachu

i przejść do innej grupy – to musi budzić emocje. Współpraca samców żyjących w dżungli małp, przy chóralnych

zawodzeniach, pozwala je usłyszeć z większej odległości, wzmacnia też spójność wewnątrz grupy samców. Śpiewy

pomagają zdobyć partnerkę (partnera), przekraczając bariery pomiędzy stadami zwierząt i ludzkimi plemionami. Analiza

uzębienia dowodzi, że w społeczeństwach pierwotnych mężczyźni zostawali w tej samej grupie, a kobiety zmieniały grupy

(wiemy to z analizy [ilości izotopów strontu w zębach](#)).

Głos niesie się na krótsze odległości niż dźwięki instrumentów. [Najstarszy znany instrument](#) to zrobiony z kości flet neandertalczyków sprzed 60 000 lat.

Na poziomie psychologicznym mamy więc związek śpiewu i muzyki z poszukiwaniem partnera, miłością, seksem i wychowaniem potomstwa. Na poziomie neurofizjologicznym śpiew (a zwłaszcza wspólny śpiew) pobudza ośrodki przyjemności, pobudzają produkcję dopaminy, uruchamiają mechanizm nagrody pomagający przezwyciężyć barierę strachu związaną z opuszczeniem swojej grupy. Śpiewy maszerujących żołnierzy mają na celu zmniejszenie poczucia lęku i wzmocnienie spójności grupy.

Jest więc ewolucyjna presja do wspólnej wokalizy i powody, dla których większość piosenek jest na temat wabienia samicy lub samca, procesu zwanego u ludzi miłością -;) Śpiewajmy razem! Poprawia się nastrój, przeżywamy uniesienia emocjonalne, poczucie wspólnoty pozbawione rywalizacji i nacjonalistycznych uczuć, grających dużą rolę w przypadku wydarzeń sportowych.

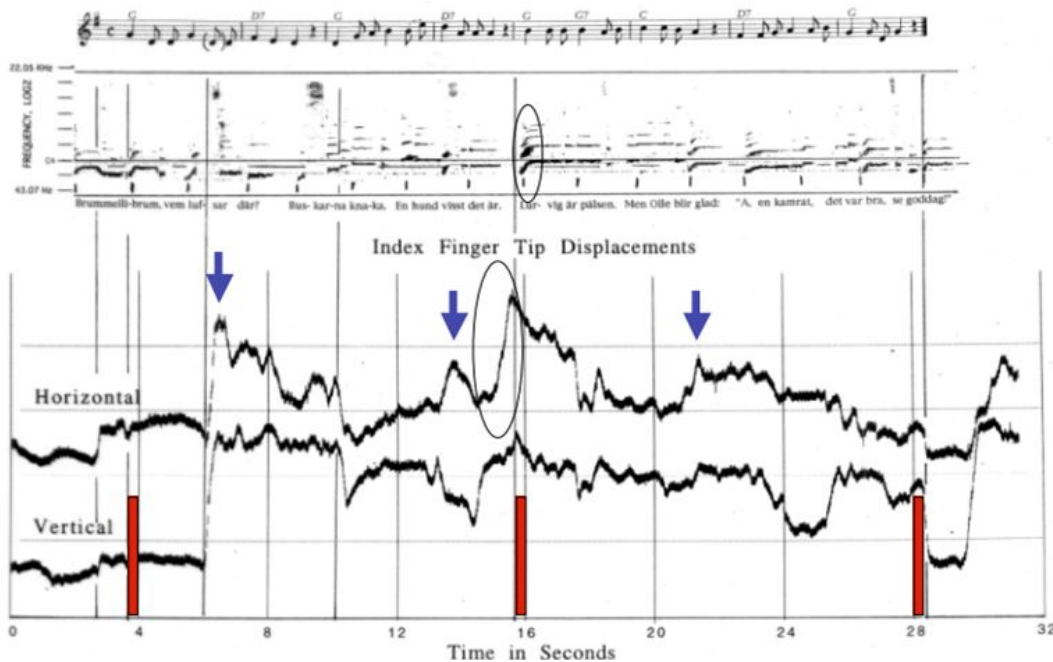
Wczesną ewolucję muzyki u naszych pra-kuzynów opisał Steven Mithen, w książce "The Singing Neanderthals" (2007).

Książka Alana Harvey (2017) "Music, evolution, and the harmony of souls" (Oxford University Press, 2017) omawia wiele aspektów muzyki z punktu widzenia nauk kognitywnych, ewolucji, rozwoju mózgu, zastosowań w edukacji i terapii.

Słuch działa już ok. 26 tygodnia ciąży. Płód słyszy rytm i melodię, częstości powyżej środkowego C są tłumione. Wiele rytmicznych melodii w łonie daje się łatwo zidentyfikować, np. 5 symfonię Beethovena. Wrażliwość muzyczna jest wrodzona i cechuje niemowlęta już w okresie płodowym. Słuchanie prostej muzyki (akordów kilku dźwięków) w 28-30 tygodniu życia płodowego wpływa na koordynację sensomotoryczną, np. wcześniejsze trzymanie butelki w dwóch rękach, wokalizację, wodzenie wzrokiem, imitację wyrazów twarzy.

Jednakże przekonanie, że słuchając Mozarta krowy dają więcej mleka a inteligencja dzieci rośnie jest mitem, który wynika z nadinterpretacji jednego z badań z 1993 roku, przeprowadzonego na małej grupie studentów psychologii. Efekt pobudzenia przez muzykę miał zauważalny, ale niewielki i krótkotrwały wpływ, na wyniki testów zdolności przestrzennych i szukania dróg wyjścia z labiryntu. Przeprowadzono większą liczbę badań i "[efekt Mozarta](#)" nie znalazł potwierdzenia. Pomimo tego napisano na ten temat kilka książek, a media rozreklamowały wpływ muzyki klasycznej na rozwój inteligencji. Zawsze trzeba patrzeć na wszystkie badania i na siłę efektu, zamiast używać określeń typu "wpływa" lub "nie wpływa". Jeśli jest to niewielkie odchylenie od średniej to na odpowiednio dużej grupie może zostać uznane za statystycznie znaczące, jednak w praktyce nie będzie to miało znaczenia.





Colwyn Trevarthen zauważył, że ruch palców niemowląt podąża za konturami melodii, podobnie jak ruchy dyrygenta!

Dreszcze emocjonalne odczuwane pod wpływem muzyki, zwane są fachowo [frisson](#). Nie zawsze towarzyszy to uniesieniom emocjonalnym pod wpływem muzyki, ale muzyka pobudza bardzo różne procesy w mózgu, które odczuwamy jako emocje.

Rytm

Małpy uderzają wielokrotnie w puste pnie, ale mają słabe poczucie rytmu. Potrafią wykonać serię skoków, ale unikają schematycznych, łatwych do przewidzenia sekwencji ruchów.

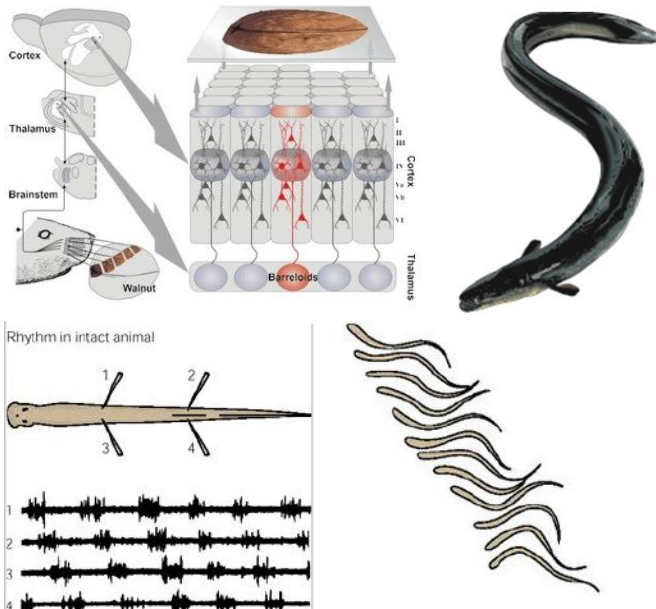
Ludzie odkryli, że dźwięki wydrążonych pni słychać z daleka. W Afryce, Azji Pół-Wschodniej i Oceanii używane były [tam-tamy](#) (bębny szczelinowe), które pozwalały na komunikację nawet na odległość dziesiątek kilometrów, wykorzystując rezonans. Wymagało to precyzji wykonania takich instrumentów. Niestety nie wiemy czy potrzeby komunikacji przyczyniły się do rozwoju instrumentów perkusyjnych. Taniec i muzyka prawdopodobnie rozwijały się razem.

Nasze mózgi tętnią wieloma oscylacjami/rytmami! To podstawowy mechanizm umożliwiający ruch. Organizmy jednokomórkowe mają rzęski i wici, którymi rytmicznie poruszają. Ruchy rytmiczne związane są z oddychaniem, biciem serca, połykaniem, poruszaniem czułkami itd. Wyginanie ciała u minogów (prymitywnych stworzeń wodnych), węgorzy czy ryb, węży, jak i ruch zwierząt czworonożnych, oparty jest na działaniu centralnych generatorów rytmu (CGR).

Lokomocja wymaga złożonej synchronizacji oscylacji. Rytmiczne pulsy przesunięte w fazie powodują skurcze mięśni po obu stronach ciała. Akrobacje wymagają wielkiej precyzji synchronizacji licznych grup mięśni, podobnie jak wystukiwanie rytmicznych wzorców lub granie na instrumencie. Precyzja wymaga wysokiej częstotliwości oscylacji. Średnia częstotliwość to około 40 Hz, impulsy są co 25 msek, ale wyładowania impulsów w paczkach są znacznie szybsze.

W mózgu nie ma „centrum muzyki”, znaczna część mózgu zaangażowana jest w analizę własności dźwięków, poznawanie świata za pomocą słuchu, analizę zagrożeń/przyjemności i orientację w przestrzeni.

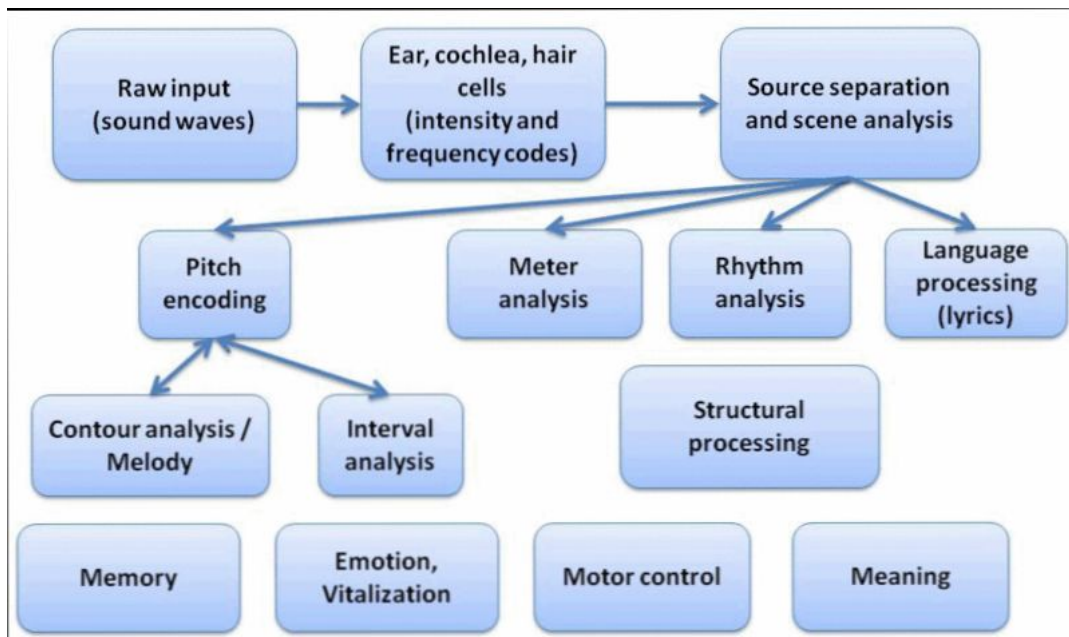
0:00 / 0:13



Różnice w ilości szarej materii u osób preferujących przestrzenne lub nieprzestrzenne rozumienie liczb.

Dźwięki muzyki

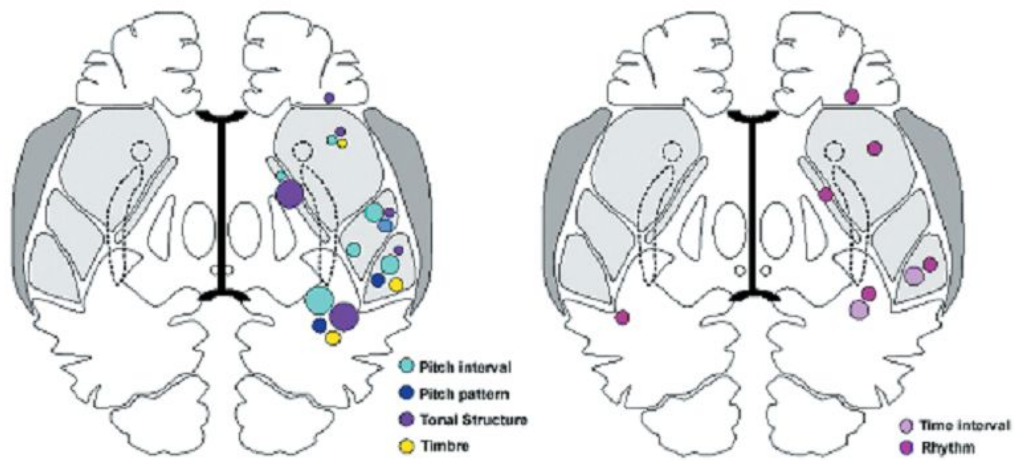
Można wyróżnić pierwotną, wtórną i trzeciorzędową słuchową korę muzyczną. Lateralizacja funkcji obu półkul widoczna jest już u niemowląt; najczęstsze są preferencje lewouszne dla muzyki i prawouszne dla mowy.



Różne aspekty dźwięków muzyki analizowane są przez odrębne obszary mózgu.

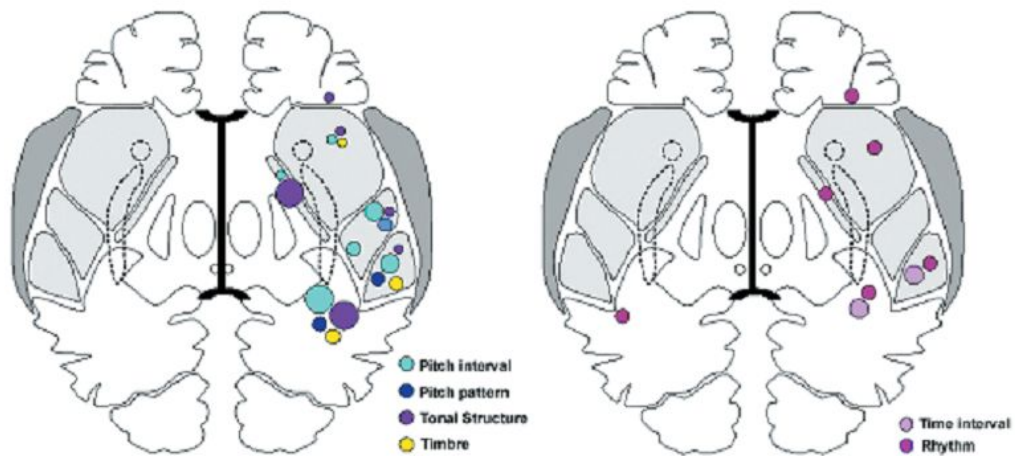
Kognitywny model przetwarzania muzyki (Koelsch, 2011) uwzględnia analizę sceny (słyszane dźwięki mają naturę przestrzenną), oraz separację źródeł (odróżniamy poszczególne instrumenty, przynajmniej niektóre). Mamy też analizę:

- częstotliwości dźwięków - analizowanych częściowo już w błonie podstawowej w ślimaku ucha;
- konturów melodycznych, wznoszenia się i opadania fraz;
- interwałów czasowych, wykonywaną przez jądra pnia mózgu, wzgórza i kory;
- analiza rytmu i wystukiwanie rytmu angażuje prądkowie, korę czołową i przedczołową.
- tony są rozpoznawane w zakręcie Heschla;
- barwa dźwięku (timbre) analizowana jest w tylnej części górnego zakrętu skroniowego (STS).



Różne aspekty dźwięków muzyki analizowane są w kilku odrębnych obszarach mózgu.

Budowanie ogólnego obrazu (gestalt) i struktury muzyki to zadanie dla obszarów bliskich językowym, czyli tylnej części STG (w pobliżu obszaru Wernickiego) i w płacie czołowym w okolicach obszaru Broka. Mamy więc bardzo rozproszony system analizy wysokości i aspektów czasowych, czyli rytmu dźwięków. Dostęp świadomy mamy głównie do końcowego etapu tej analizy, która grupuje wszystkie elementy, ale możemy też skupić się na wybranych cechach.



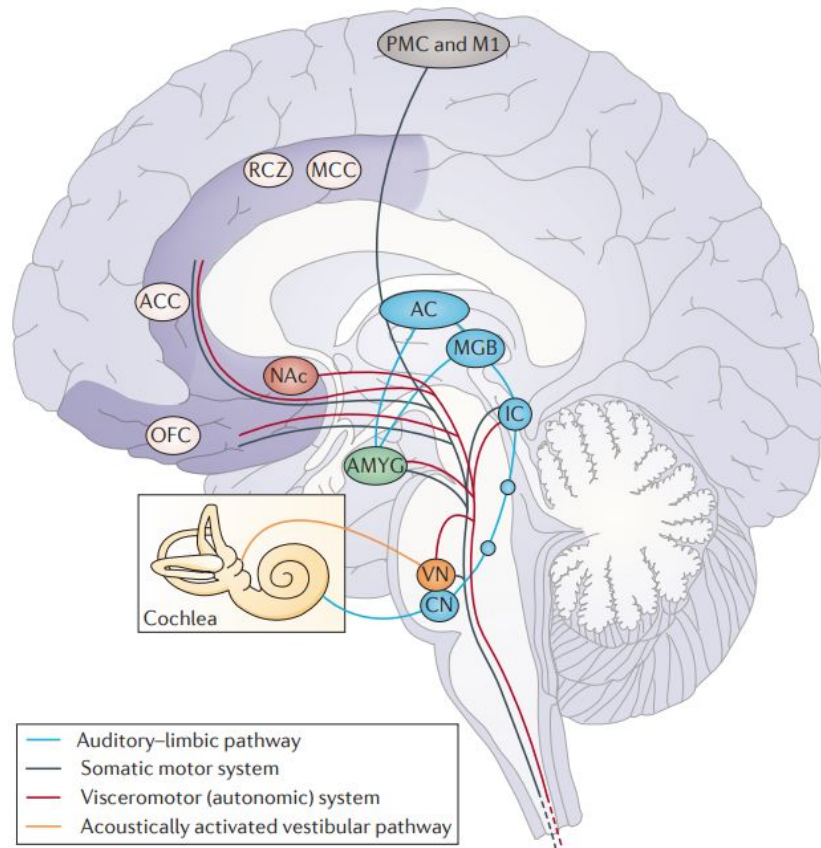
Różne aspekty dźwięków muzyki analizowane są w kilku odrębnych obszarach mózgu.

Dlaczego muzyka może wywoływać emocje?

Rysunek poniżej pokazuje główne szlaki łączące korę słuchową z strukturami limbicznymi i korą przedczołową, leżące u podstaw autonomicznych reakcji emocjonalnych i ruchowych na muzykę (Koelsch, 2014).

Kora słuchowa (AC) łączy się też z korą oczodołowo-czołową (OFC) i korą zakrętu obręczy. Jądro migdałowe (AMYG), OFC i kora zakrętu obręczy wysyłają liczne projekcje do podwzgórza (nie pokazano), wywołując reakcje autonomiczne poprzez układ endokryny.

MGB, przyśrodkowe ciało modzelowate; NAc, jądro akomodacji; PMC, kora przedruchowa; RCZ, strefa rostralna RCZ, rostralna strefa zakrętu obręczy; VN, jądra przedsionkowe.



Wpływ muzyki na struktury limbiczne zaangażowane w ekspresję emocji.

Słuch muzyczny i jego zaburzenia

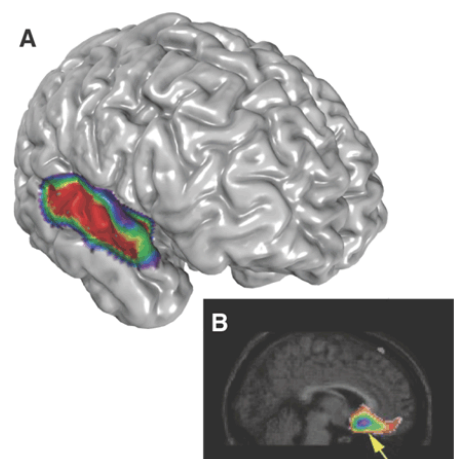
Słuch absolutny jest rzadki, u białych osób pochodzenia europejskiego ma go 1 osoba na 10.000. Badania studentów muzyki w USA pokazały, że u takich osób 9% ma słuch absolutny, pochodzenia japońskiego 26%, koreańskiego 37%, a chińskiego 65%. W kulturach, które posługują się językiem tonalnym (np. chińskim czy wietnamskim) słuch absolutny jest znacznie częstszy ([por. Diana Deutsch](#)).

Amuzja, czyli całkowita niezdolność do percepcji muzyki, jest dość rzadka (ok. 4% populacji). Zwykle jest związana z różnicowaniem wysokości dźwięków, ale może też dotyczyć rytmu i innych własności dźwięków. Uniemożliwia to określenia względnej wysokości dźwięku, powtórzenia melodii, więc często prowadzi do całkowitego braku zainteresowania muzyką. Amuzja rzadko występuje tam, gdzie są języki tonalne.

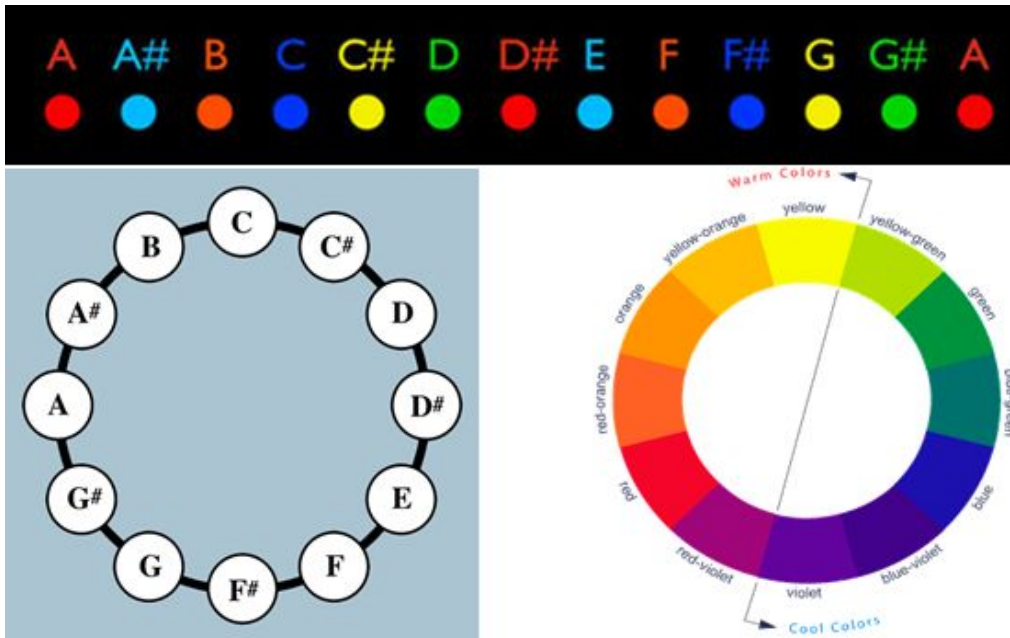
Amnezja rzadko upośledza funkcje związane z muzyką, pomimo zaburzeń pamięci epizodycznej. Świadczy to o bardziej rozproszonym przetwarzaniu muzyki w mózgu niż w przypadku pamięci zdarzeń czy faktów. Również w przypadku zaburzeń językowych, np. jąkania czy afatycznego zaburzenia płynności mowy, śpiewna wymowa lub próba wyśpiewania zamiast wymówienia bywa łatwiejsza, stąd zastosowania terapeutyczne treningu muzycznego.

Większość z nas potrafi nazwać 12 barw, chyba że cierpimy na anomię kolorów, szczególnie rodzaj dysfazji ([afazji anomicznej](#)). Nazw kolorów uczymy się w dzieciństwie, bo przydają się w opisie świata.

Większość ludzi ma anomię tonów muzycznych, nie potrafi nazwać 12 dźwięków. Ta wiedza przydatna jest tylko muzykom, dlatego wśród muzyków jest znacznie większy procent osób, które posiadają słuch absolutny.



Kora pobudzana przez muzykę.



12 dźwięków i 12 kolorów.

[Muzykoterapia](#) ma obecnie wiele zastosowań w przypadku różnych zaburzeń. Śpiewanie ma dobroczynny wpływ na osoby z chorobą Alzheimera, Parkinsona i inne, pobudzając emocje. Śpiewanie czy wybijanie rytmu ma wpływ na synchronizację procesów w mózgu. ([How singing unlocks the brain](#)). Osoby głuche mają również poczucie rytmu, inne zmysły dostarczają im informacji o procesach rytmicznych.

Wyobrażenie melodii prowadzi do aktywacji kory słuchowej w tylnej części górnego zakrętu skroniowego prawej półkuli, co widać w eksperymentach przy użyciu fMRI (Halpern et al. 2004).

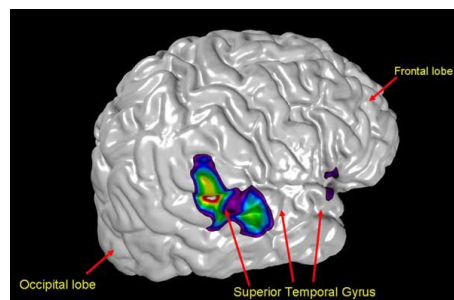
Świadome wyobrażenie jakiegoś epizodu, odczuwanego wrażenia, wymaga aktywacji odpowiedniej kory zmysłowej, która analizuje w specyficzny sposób dane dochodzące z receptorów lub pobudzenia nadchodzące z obszarów pamięci; dzięki pobudzeniu kory wtórne obszary analizujące dane zmysłowe mogą dokonać właściwej interpretacji.

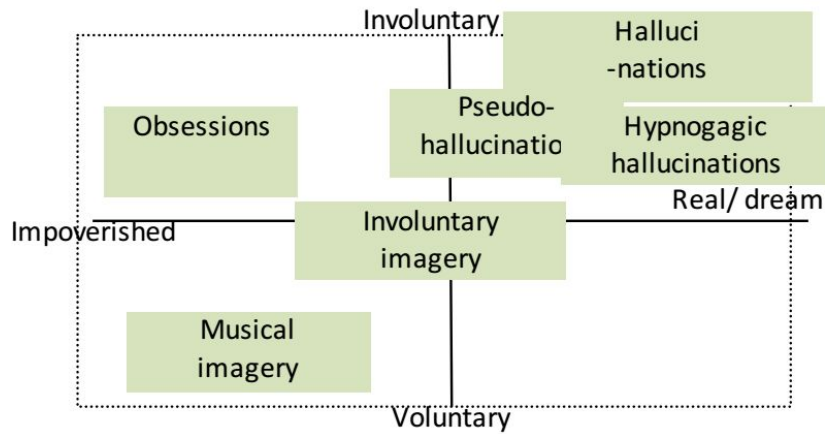
Podobnie dzieje się w przypadku wyobrażeń wizualnych, które aktywizują pierwotną korę wzrokową. Opis relacji przestrzennych przedmiotów i zwierząt aktywizuje korę ciemieniową.

Drażnienie prądem kory słuchowej wywołuje halucynacje.

Zmiany aktywności fMRI w zadaniach wyobrażania sobie dźwięków w ciszy, pokazuje aktywację tylnej części górnego zakrętu skroniowego (STS).

Wyobrażenia słuchowa, lub też „wewnętrzne słyszenie”, uważane jest za ważny aspekt kształcenia muzycznego. Zadaniem instrumentalisty jest połączenie wyobrażonego dźwięku z „poczuciem działania”, które go wywoła. Celem jest odtworzenie wewnętrznego obrazu dźwięków. Niektóre osoby potrafią przywołać w wyobraźni realistyczne wrażenia melodii, konturów melodycznych, wysokości i barwy dźwięków. To wymaga jednak pobudzenia obszarów kory słuchowej, które pozwolą odtworzyć epizod muzyczny, czyli stan mózgu w czasie słuchania utworu. Jednakże połączenia wstępujące, od kory słuchowej (lub ogólnie zmysłowej) do hipokampa i kory skojarzeniowej, które zapamiętują epizody, nie są symetryczne. Nawet jeśli coś zapamiętamy to połączenia zstępujące mogą nie pobudzać dostatecznie kory słuchowej by wywołać szczegółowe wyobrażenie muzyki.

Wyobrażenie muzyki ([Zatorre, Halpern, 2004.](#))



Wyobraźnię muzyczną można rozpatrywać w dwóch wymiarach: realizmu i woli.

Niekontrolowana wyobraźnia muzyczna może przyjąć formę uporczywych melodii, które krążą nam w głowie i nie możemy się ich pozbyć. To zjawisko zaczęto badać stosunkowo niedawno (1978), nazywając je po niemiecku "Ohrwurm", po angielsku ["Earworms"](#), a w literaturze fachowej INMI (Involuntary musical imagery). Nie mamy dobrej nazwy po polsku. Choć długo nie było dostrzeżone to INMI jest bardzo powszechne i angażuje wiele mechanizmów: pamięć, emocje, percepcję, spontaniczne myśli. Zwykle uporczywe melodie trudno jest kontrolować. Może się to skończyć podśpiewywaniem, ale nie zawsze jest to przyjemne zjawisko. Sporo na ten temat napisał Oliver Sacks w książce "Muzykofilia".

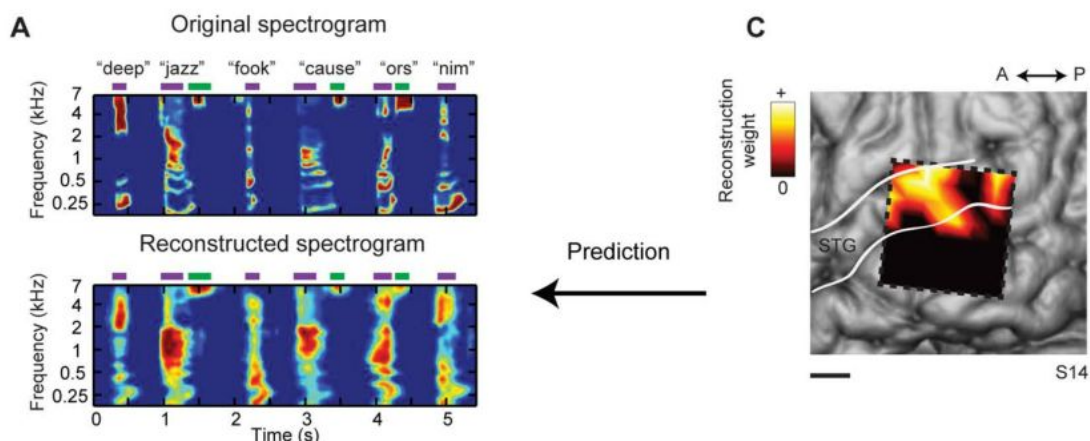
Pionierskie badania na 12 500 studentach w Finlandii zrobiła za pomocą Internetowych kwestionariuszy [Lassi Liikkanen](#) (2010). Wynika z nich, że tylko 2.3% studentów nie miało nigdy INMI, a prawie 60% ma je raz lub więcej razy w ciągu dnia. Zwykle wyraża się to w podśpiewywaniu lub mruczeniu (74.6%), przypominaniu sobie co to za melodia chodzi nam po głowie (60.2%), część (57.3%) osób próbuje odszukać piosenkę, część (50.5%) włącza inną muzykę by się pozbyć jej z głowy, 40.7% śpiewa głośno a 29.5% próbuje się skupić nad czymś innym.

INMI zdarza się nawet ludziom pozbawionym wyobraźni muzycznej. Choć nie mogą sobie wyobrazić melodii zaczynają ją sobie podśpiewywać. O tym co się dzieje w naszych głowach możemy się dowiedzieć dzięki zewnętrznej pętli, wyrażając to poprzez działanie.

Częstość spontanicznych melodii, emocje z tym związane i wiele innych aspektów są obecnie badane na wiele sposobów ([Liikkanen, Doktorat 2018](#)).

Na rysunku widzimy spektrogramy dla pojedynczych, wypowiedzianych oddzielnie słów: zmieniający się w czasie rozkład energii dla różnych częstotliwości w fragmencie zakrętu STG. Na podstawie danych elektrokortykograficznych można zrekonstruować spektrogram i [zamienić go na dźwięki mowy](#), lub wyobrażone [słowa na tekst](#). Rozkłady dla fraz muzycznych są bardziej skomplikowane.

Oprócz klasycznej muzyki, związanej z przetwarzaniem informacji słuchowej, warto uwzględnić muzykę wyobrażeniową, lub ogólniej słuchową agnozę wyobrażeniową ([Duch, 2021](#)), która znacznie utrudnia naukę muzyki.



Reprezentacja dźwięków w fragmencie korze słuchowej zakrętu STG.
Rozkład energii dla różnych częstotliwości zmienia się w czasie.

W przypadku ludzi głuchych implanty ślimakowe mogą pobudzać bezpośrednio nerw słuchowy. Chociaż nie pozwala to na szczegółowe rozróżnienie wysokości dźwięków to nadal szlaki połączeń z układem limbicznym pobudzają stany emocjonalne w mózgu i słuchanie, jak i wykonywanie muzyki może sprawiać przyjemność. Festiwale implantowanych muzyków pod nazwą "[Beats of cochlea](#)" organizowane są w Warszawie przez Instytut Fizjologii i Patologii Słuchu.

Czy w konstrukcji muzyki w różnych regionach świata są jakieś niezmienniki?

Wrażliwość tonalna jest kulturowo uwarunkowana, osoby wychowane na muzyce klasycznej lub popularnej w krajach zachodu często nie lubią muzyki indyjskiej, perskiej lub chińskiej. Podział na [dysonanse i konsonanse](#) jest wszędzie podobny, chociaż skale muzyczne są różne. Kołysanki mają wszędzie podobną strukturę, powolne tempo, proste powtarzające się elementy. Percepcja rytmu u niemowląt w 6 i 12 miesiącu pokazuje tendencje do specjalizacji w rozpoznawaniu tylko tych rytmów, które są w danej kulturze obecne.

Język mówiony może być [szczególnym rodzajem muzyki](#), jak twierdzą autorzy pracy [Music and early language acquisition](#). Niemowlęta najpierw reagują na strukturę rytmiczną i kontury melodyczne, zanim się nauczą rozpoznawać dźwięki mowy.

Czemu w różnych okresach historii pojawiały się formy muzyczne, które albo szybko zniknęły, albo stały się popularne? Jak się to może wiązać z mechanizmami percepcji? To wyzwania dla neuroestetyki. Na razie możemy na ten temat tylko spekulować.

Referat "[Music and the brain](#)", oraz "[Mózgi i Muzyka](#)".



Implant słuchowy.

Zadanie:

Jakie najważniejsze idee z tego wykładu zapadły Ci w pamięć?

Jak sieci rozległe pomagają nam w zrozumieniu działania mózgow?

Jakie procesy i jakie regiony mózgu zaangażowane są w rozwiązywanie problemów matematycznych, a jakie w wykonanie muzycznego utworu?

Spróbuj przeanalizować swoje wrażenia i wyobrażenia muzyczne, rozróżnić cechy dźwięku, które dają się rozpoznać skupiając się kolejno na każdej osobno. Na ile słyszana i wyobrażana muzyka zawiera te same cechy?

Pytania, na które powinniście znać odpowiedzi po przeczytaniu notatek do tego wykładu:

1. Co opisują ontologie kognitywne?
2. Czemu nie da się zaprogramować umysłu?
3. Dlaczego eugenika ma tak złą opinie?
4. Jak można odróżnić wpływ genetyki od wpływu środowiska?
5. Jakie cechy mózgu korelują się pozytywnie z inteligencją.
6. Dlaczego tak trudno znaleźć geny odpowiedzialne za inteligencję?
7. Jak możemy wykryć, jakie regiony mózgu tworzą sieci funkcjonalne?
8. Jaka jest rola rozległych sieci w realizacji złożonych funkcji poznawczych?
9. Dlaczego trudno jest określić jakie są sieci rozległe?
10. W jakich sieciach rozległych udział biorą korowe struktury przyśrodkowe?
11. Jakie obszary mózgu zaangażowane są w rozumienie pojęć matematycznych?
12. Co to jest dyskalkulia i z jakimi uszkodzeniami mózgu jest związana?
13. Jak można opisać wyobrażenie muzyczną?
14. Jakie cechy dźwięku są analizowane w różnych sieciach mózgu?
15. Czemu muzyka wywołuje w nas emocje?
16. Czy matematyka jest odkrywana czy konstruowana?

Literatura:

[Your brain on music](#), Alan Harvey, TEDxPerth

- Edward Sapir Kultura, język, osobowość, Państwowy Instytut Wydawniczy, Warszawa 1978
- P. H. Thibodeau, L. Boroditsky, Metaphors We Think With: The Role of Metaphor in Reasoning. PLoS ONE 6(2), e16782 (2011)
- Anderson, M.L. [Neural re-use as a fundamental organizational principle of the brain](#). Behavioral and Brain Sciences 33(3), 245-313, 2010.
- Conway, A.R. A., & Kovacs, K. (2015). New and emerging models of human intelligence. Wiley Interdisciplinary Reviews. Cognitive Science, 6(5), 419–426. <https://doi.org/10.1002/wcs.1356>
- Deary, I. J., Penke, L., & Johnson, W. (2010). The neuroscience of human intelligence differences. Nature Reviews Neuroscience, 11(3), 201–211. <https://doi.org/10.1038/nrn2793>
- Duch W, Intuition, Insight, Imagination and Creativity. IEEE Computational Intelligence Magazine 2(3), 40-52, 2007.
- Eagleman D. (2020) Livewired : The Inside Story of the Ever-Changing Brain. Canongate Books Ltd.
- Harvey, A. R. (2017). Music, evolution, and the harmony of souls. Oxford University Press.
- Koelsch S. (2011). Toward a neural basis of music perception – a review and updated model. Frontiers in Psychology 2 (110), 1-20
- Koelsch, S. (2014). Brain correlates of music-evoked emotions. Nature Reviews Neuroscience, 15(3), 170–180.
- Miller, G. F. (2002). Evolution of Human Music through Sexual Selection. W: N.L. Wallin, B. Merker, S. Brown (red). The Origins of music, MIT Press, s. 329-360.
- Minsky M, Society of Mind, Simon and Schuster,1986.
- Neubauer, AC; Fink, A. "Intelligence and neural efficiency". Neurosci Biobehav Rev. 33: 1004–23.
- Sacks O, Muzykofilia. Opowieści o muzyce i mózgu. Zysk i Ska 2009.
- Schaller, Susan. 1995. A Man Without Words. Berkeley: University of California Press.
- Zatorre & Halpern, Mental Concerts: Musical Imagery and Auditory Cortex, Neuron 47, 9-12, 2004.
- Zeki S, Blaski i cienie pracy mózgu. O miłości, sztuce i pogoni za szczęściem, Wyd UW, 2012
- Zwolińska Ewa, Neuronauka w muzyce. Kwartalnik Pedagogiczny 227, 52-78, 2013
- [Understanding Emotions in Mathematical Thinking and Learning](#)
- [Extraordinary People: Understanding Savant Syndrome](#)

Cytowanie: Włodzisław Duch, Wstęp do Kognitywistyki. Rozdz. B22: Złożone czynności psychiczne. UMK Toruń 2023.

[Następny rozdział: Wola i decyzje.](#) | [Wstęp do kognitywistyki - spis treści.](#)