

„Ludzie głupieją hurtowo a mądrzeją detalicznie”. Wisława Szymborska
[Poprzedni rozdział](#) | [Wstęp do kognitywistyki - spis treści](#).

[Kontrola ciała](#) | [Plany ruchów](#) | [Ruchy automatyczne](#) | [Mózdzek](#) | [Ruchy wolicjonalne i zaburzenia ruchu](#) | [Inteligencja i geniusz](#) | [Kreatywność](#) | [Talent](#)

W tej części zajmiemy się mechanizmami kontroli ruchów i inteligencją.

B18.1 Kontrola ciała

Dla przeżycia organizmu najważniejsza jest zdolność do poruszania się, reagowania na bodźce. To wymagania dotyczące kontroli ruchu, kierowania się w stronę pożywienia lub partnera do rozmnażania, albo uciekania od zagrożeń spowodowały, że rozwinął się układ nerwowy i cały mechanizm synchronizacji neuronów wykorzystujący liczne neurotransmitery.

Najważniejszym zadaniem mózgu jest więc kontrola działania, a więc ruchu ciała. To wymaga nie tylko prostych odruchów, ale też pamięci sekwencji ruchów, planowania i złożonych form zachowań, które przez miliony lat zostały utrwalone w postaci wrodzonych instynktów i predyspozycji do szybkiego uczenia się.

Mamy 640 mięśni szkieletowych; nawet najprostsze ruchy wymagają bardzo złożonej kontroli, której nie jesteśmy w pełni świadomi. Zrobienie jednego kroku wymaga koordynacji większości mięśni.

Kwestie planowania działań należą do wyższych czynności poznawczych i będą omawiane później. Tu omówimy tylko podstawowy mechanizm jakim jest kodowanie populacyjne.

Szlaki ruchowe biegną przez śródmózgowie (droga korowo-rdzeniowa) lub przez mózdzek do pnia mózgu:

- [kora ruchowa](#) => śródmózgowie, most, rdzeń przedłużony => rdzeń kręgowy => mięśnie.
- [kora ruchowa](#) => mózdzek, most, rdzeń przedłużony => rdzeń kręgowy => mięśnie.

Lokalne odruchy rdzeniowe biegną od receptorów przez rdzeń do mięśni, tworząc pętle sprzężeń zwrotnych.

Mamy trzy główne obszary kory, kontrolujące ruch:

- [Pierwotna kora ruchowa](#) (M1, obszar 4 Brodmana)
- [Kora przedruchowa](#) (MII, obszar 6 Brodmana)
- [Dodatkowa kora ruchowa](#) (SMA).

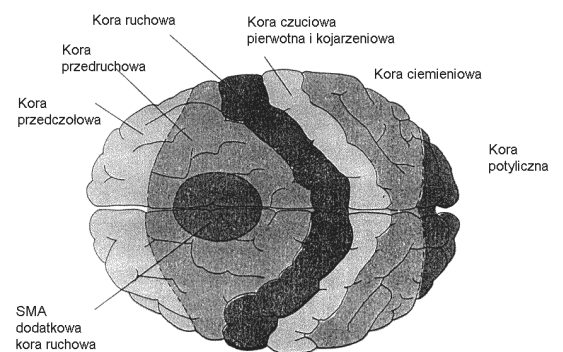
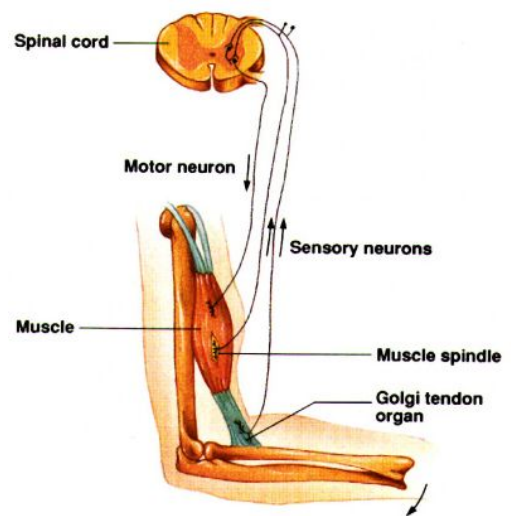
Dodatkowo czołowe pole okoruchowe (z przodu SMA) kontroluje wolicjonalne ruchy oczu.

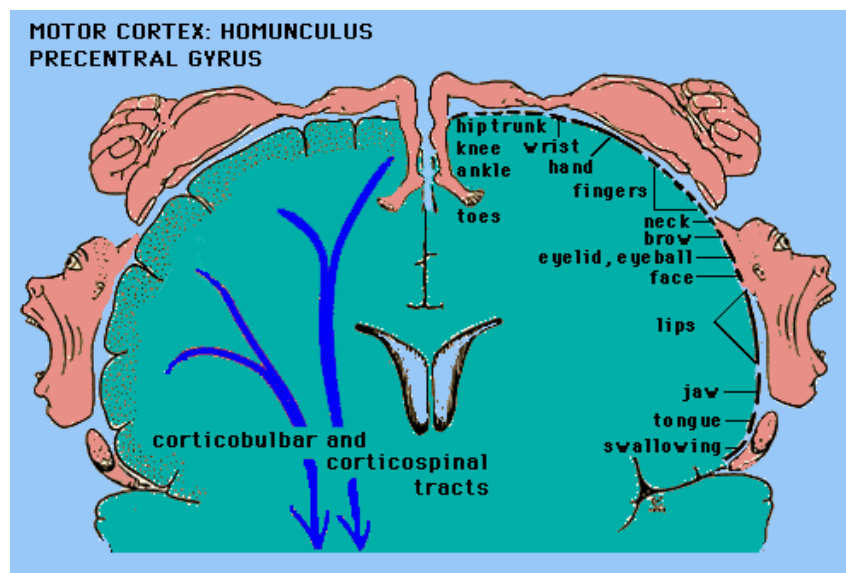
Pierwotna kora ruchowa (M1) ma organizację topograficzną (somatotopową), tworząc "homunculus motoryczny". Pobudzenia tej kory wywołują precyzyjne ruchy, pojedyncze mięśnie/ścięgna (latencja 60-80 ms), ale bez poczucia chęci ruchu.

[Zrób sobie mapę kory ruchowej.](#)

Mięśnie twarzy i głowy pobudzane są obustronnie, pozostałe przeciwległe. Pobudzenia dochodzą do M1 z :

- kory czuciowej (bezpośrednia reakcje na bodźce);
- brzusznobocznego jądra wzgórza (połączonego silnie z mózdzkiem);
- kory przedruchowej MII (ruchy planowane).





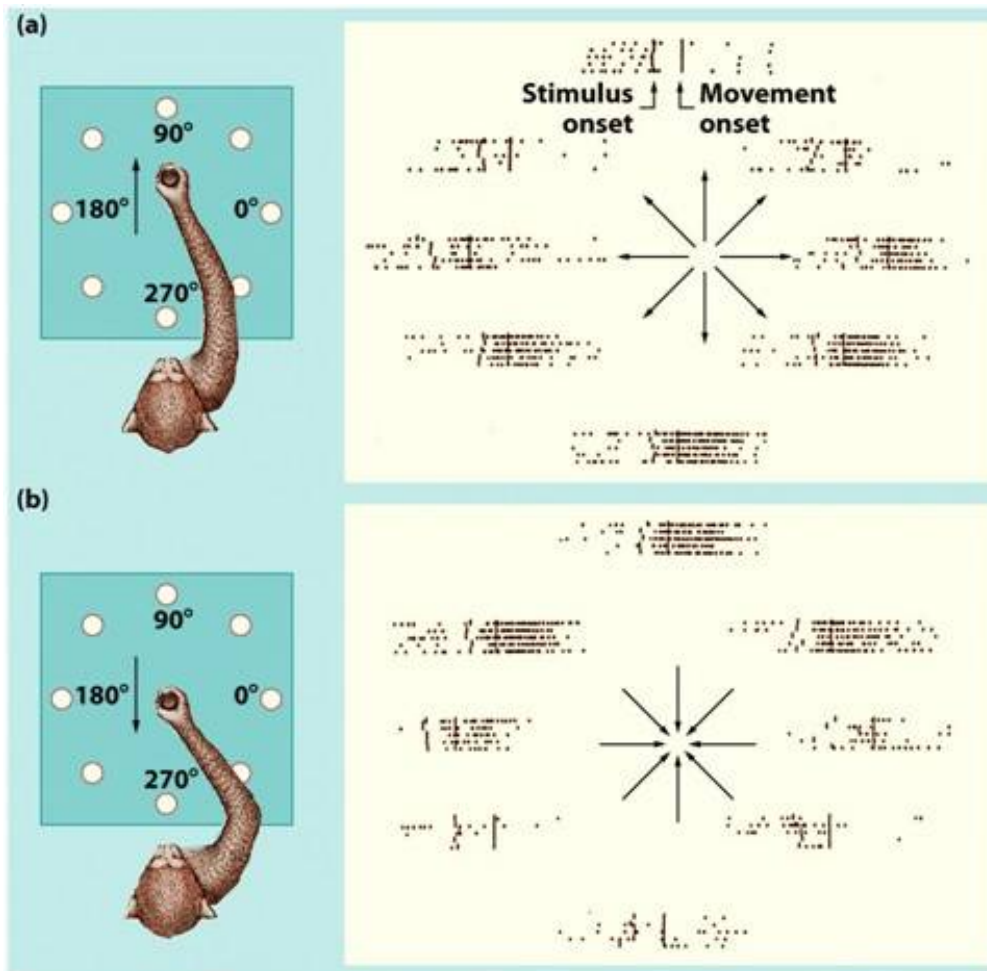
Dodatkowa kora ruchowa (SMA) ma również częściowo organizację topograficzną. Stymulacja wywołuje złożone ruchy, przygotowanie postawy ciała. Jej rolą jest organizacja sekwencji ruchów, np. obu rąk, oraz działania ruchowe wymagające pamięci.

Kora przedruchowa MII jest 6 razy większa od kory MI, wykonuje bardziej złożone zadania. Boczna kora przedruchowa odpowiedzialna jest za wolicjonalne działania senso-motoryczne, na podstawie danych zmysłowych. Obrazowanie mózgu pokazuje aktywność MII podczas zadań wymagających koordynacji wzrokowo-ruchowych lub słuchowo-ruchowych. Stymulacje wywołują stereotypowe ruchy złożone: kiwanie, obrót głowy lub tułowia. Brzuszo-boczna kora przedruchowa aktywizuje się przy celowych aktach ruchowych, np. chwytaniu niezależnie od sposobu uchwytu, lewej lub prawej kończyny lub warg.

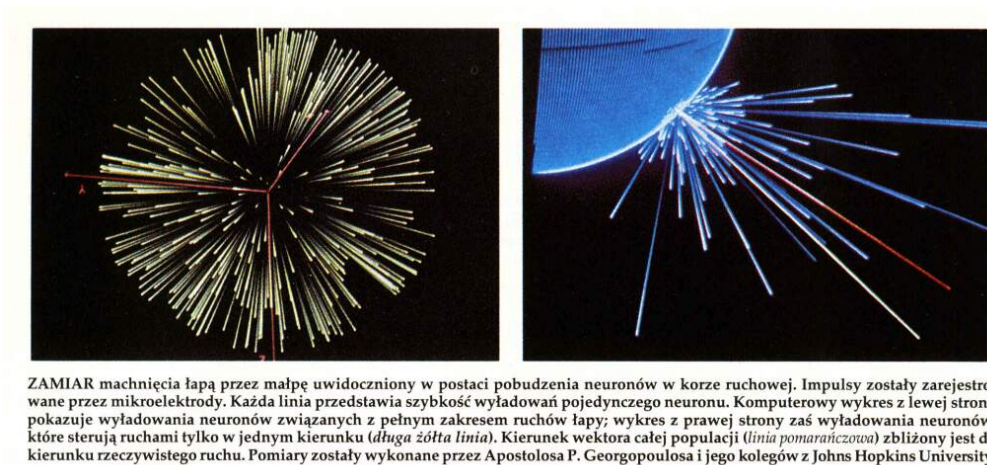
Lezje MII prowadzą do **apraksji**, niezdolności do wykonywania złożonych ruchów, np. chodzenia.

Jak to działa? [Kodowanie populacyjne](#)

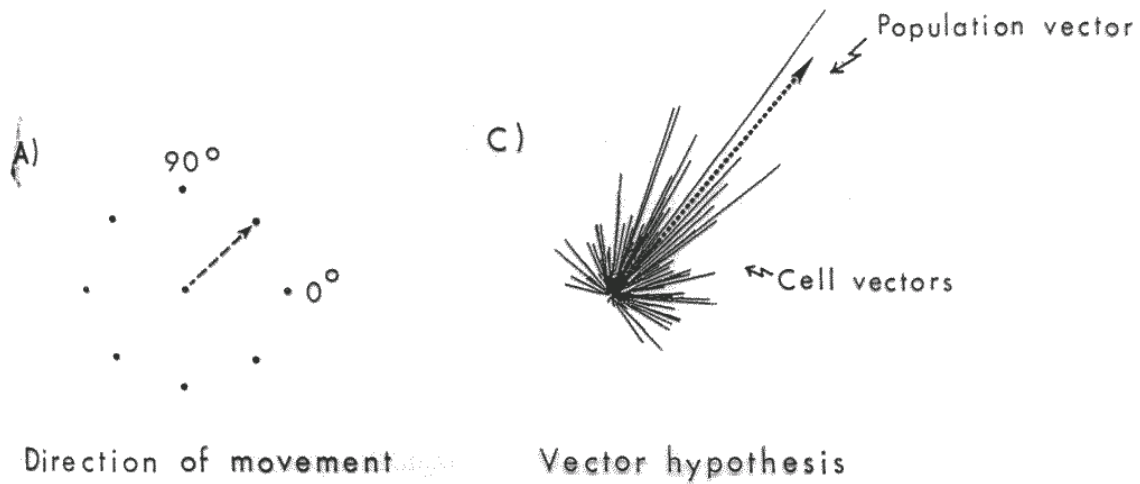
Jeśli wykonujemy ruch ręką w kilku kierunkach to aktywacja pierwotnej kory ruchowej zachodzi w takich sposób, że sumaryczna aktywność całej populacji, mierzona za pomocą liczby impulsów wysyłanych przez komórki tej populacji, wskazuje kierunek ruchu. Żeby go określić należy najpierw ustalić, jak reaguje komórka na różne kierunki i wyznaczyć jej preferowany kierunek, a następnie zsumować wektory kierunkowe, ustalając ich długość na podstawie liczby impulsów. Rysunek z pracy Georgopoulosa i inn. poniżej pokazuje jak wykonywane były eksperymenty.



Rysunek pokazujący kierunki ruchu łapy makaka, przy których dana komórka najsilniej reaguje.



Dany neuron pobudza się najsilniej przy ruchu w określonym kierunku i słabiej przy ruchu w podobnych kierunkach, a prawie wcale przy innych ruchach. Wypadkowy wektor całej populacji pokazuje kierunek ruchu.



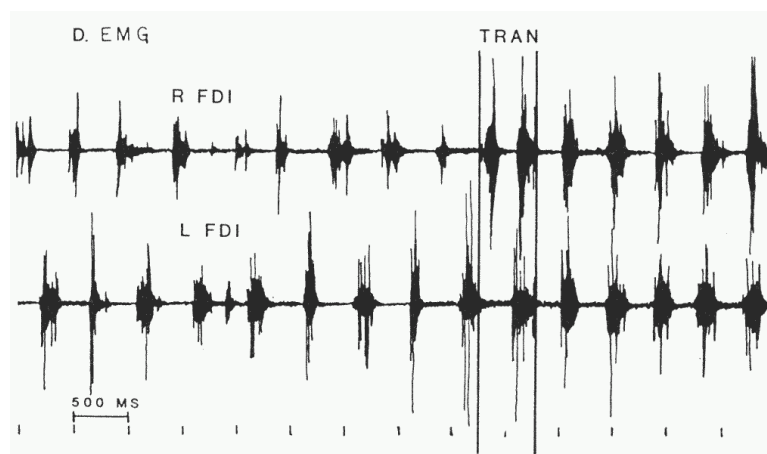
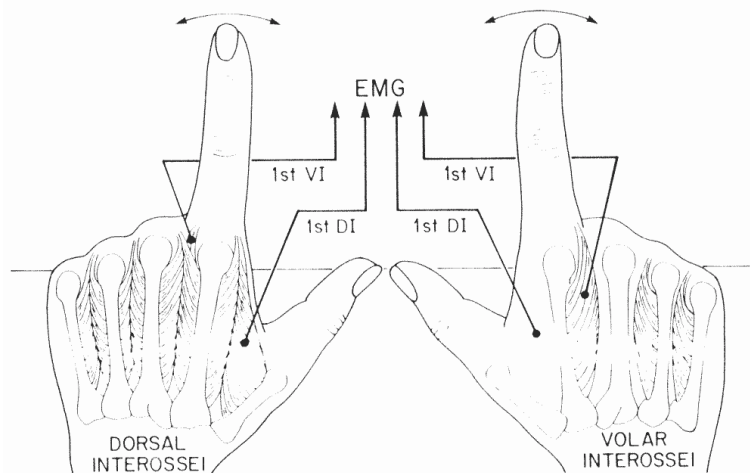
Długość strzałki zależy od częstości impulsacji neuronu w danej populacji, wzbudzającego się przy ruchu w danym kierunku. Już dla kilkuset aktywnych komórek sumowanie daje najsilniejsze średnie pobudzenie zgodne z prawdziwym kierunkiem ruchu. Najsilniej w ten sposób reagują komórki pierwotnej kory ruchowej MI, zgrupowane w duże kolumny o średnicy ok. 1 mm.

W korze ruchowej decyzje podejmowane są przez uśrednioną aktywację całej populacji, nie przez pojedyncze neurony. Wielkość aktywacji komórki określa się obliczając ile impulsów wysyła w ciągu sekundy. Jak widać jeśli ruch następuje w kierunku preferowanym przez komórkę wysyła ona wiele impulsów, jeśli to dość bliski kierunek też jest aktywna ale nie tak silnie.

[Kodowanie populacyjne](#) obserwujemy w korze MI, MII, SMA, różnych obszarach płatów kory i mózdzku.

Dekompozycja złożonych pobudzeń na pobudzenia elementarne pozwala zdefiniować lokalne funkcje bazowe.

Można zaobserwować przejście od ruchu palcami równoległe so siebie do ruchu nożycowego, zależnie od częstotliwości metronomu: miliony neuronów muszą działać synchronicznie i robią to tylko na dwa sposoby.



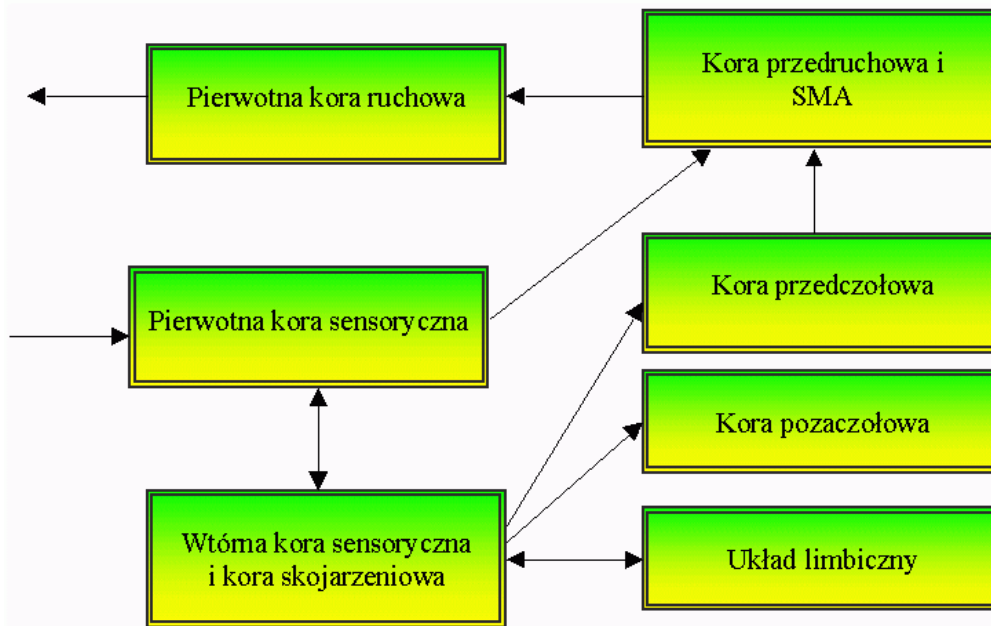
B18.2 Plany ruchów

Skąd się biorą plany ruchów w korze MII? Z płatów przedczołowych, jak również z [prążkowiec](#).

[Kora przedruchowa](#) ma znaczenie dla pamięci ruchów, jak i możliwości imitacji ruchów, dzięki wielomodalnym [neuronom lustrzanym](#). Obserwacja osoby jedzącej i poruszającej szczęką pobudza korę przedruchową, a widok wkładania czegoś do ust, np. gryzienia owoców, pobudza też wtórną korę czuciową w płacie ciemieniowym.

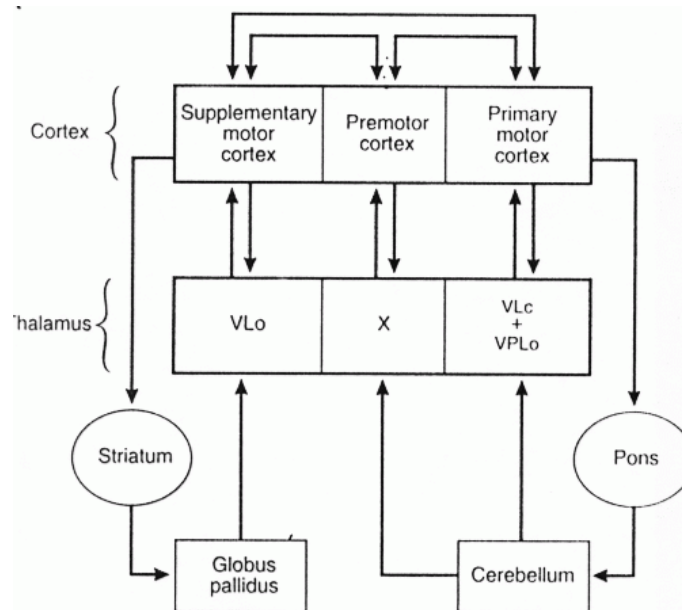
Postrzeganie i działanie aktywuje specyficzne sieci łączące kilka obszarów mózgu. Postrzeganie służy działaniu. Ruchy wolicjonalne omówione są poniżej (17.5).

Patrząc na ruchy innych osób informacje wzrokowe docierają do naszej kory ruchowej a jej aktywacje, podobne do tych, które sami byśmy zrobili wykonując taki ruch, pomagają nam zrozumieć jej intencje. Neurony ruchowe pobudzające się w czasie obserwacji nazwano neuronami lustrzanymi. Sposób ich aktywacji oceniany jest z punktu widzenia potencjalnego działania - łapania, głaskania. Wszystko jest ze sobą sprzężone, postrzeganie, odczuwanie, rozumienie intencji i własne działanie. Nie jest to jednak jakiś oddzielny, szczególny system neuronalny.



Dokładniejszy schemat pokazuje obszary wzgórza, łączące się z różnymi obszarami kory ruchowej. Dodatkowa kora ruchowa (SMA) łączy się z prążkowiec (striatum, największymi jądrami podstawy mózgu), głębiej leżącą gałką bladą (globus pallidus), która wpływa na wzgórze i reguluje aktywność dodatkowej kory ruchowej. Takie pętle pozwalają utrzymać równowagę pobudzenia i hamowania w korze ruchowej i pomagają w selekcji właściwych działań.

Pierwotna kora ruchowa wpływa na jądra mostu w pniu mózgu, a następnie na mózdzek, który przesyłając impulsy do wzgórza moduluje aktywność zarówno kory przedruchowej jak i dodatkowej kory ruchowej, jak widać na rysunku poniżej.



Kora ruchowa: pierwotna, przedruchowa i dodatkowa kora ruchowa, jest połączona z jądrami wzgórza, prążkowiec (striatum), jądrami mostu (pons) i mózdzkiem (cerebellum).

B18.3 Ruchy automatyczne



Mamy wiele automatycznych reflexów, takich jak [odrzuch kolanowy](#). Dotknięcie gorącego przedmiotu powoduje odruch wycofania.

Zespół obcej ręki (alien hand syndrome).

Jest kilka podtypów tego zespołu, wynikających z uszkodzeń przyśrodkowej części kory ruchowej lub kory ciemieniowej: ręka zachowuje się autonomicznie, jakby miała swoją wolę!

Zespół ten występuje u osób z przeciętym spoidłem wielkim, lecz również może pojawić się wskutek udaru lub innych lezji. W skrajnych przypadkach ręce mogą ze sobą walczyć, realizując sprzeczne działania, np. lewa ręka bije głowę pacjenta.

W filmie "[Dr Strangelove](#)" Peter Sellers gra postać cierpiącą na ten zespół, stąd popularna nazwa "Dr Strangelove syndrome". Jak widać [na tym filmiku](#), mają go również psy!



Ten zespół opisał Kurt Goldstein w 1908 roku, pacjentka o mało siebie nie udusiła i nie panowała nad ruchami swojej ręki - oczywiście podejrzewała opanowanie przez "złe moce". Sekcja jej mózgu pokazała uszkodzenie spoidła wielkiego (prawdopodobnie wskutek udaru).

Jak to się ma do wolnej woli?

Możliwa jest dysocjacja pomiędzy działaniem intencjonalnym, wymagającym aktywności dodatkowego pola ruchowego (SMA), a działaniem odruchowym sterowanym przez afordancje, czyli dostrzeganie możliwości działania. Uszkodzenie SMA (wylewy, choroba Alzheimera, otępienie czołowo-skroniowe i inne choroby) prowadzi do "zachowania użytkownika" ([utilisation behaviour](#)), czyli sterowania zachowaniem przez różne przedmioty.

"Zespół polegania na środowisku" jest nieco podobny, bo w tym przypadku sytuacja zewnętrzna, czyli środowisko, a nie własne cele i motywy sterują zachowaniem. W rzadkich przypadkach może się to objawiać imitacją czyjegoś zachowania czy kompulsywnym chwytaniem przedmiotów i podążaniem za nimi wzrokiem.

Do pewnego stopnia – chociaż znacznie mniej dramatyczne – pokazują to proste eksperymenty. Np. siedząc podnosimy prawą nogę i kreślimy stopą koła zgodnie ze wskazówkami zegara, a po zrobieniu 10 ruchów próbujemy napisać prawą ręką cyfrę 6 - co się dzieje z nogą?

Terapie ruchowe: są dane świadczące o wzmożonej neurogenezie na skutek ruchu; mówi się o "somatycznej edukacji".

Do terapii ruchowych należy [metoda Feldenkreisa](#), zakładająca, że świadoma percepcja szczegółów ruchu (metoda Awareness Through Movement) pomaga w jego doskonaleniu i rehabilitacji.

Nawet zwykłe [szybkie chodzenie](#) pół godzinny dziennie pozytywnie oddziałuje na poprawę nastroju, zmniejsza ryzyko depresji, zwiększa przepływ krwi do mózgu poprawiając pamięć, a nawet kreatywność i różne funkcje poznawcze.

Ciekawostka: dlaczego [kura bez głowy nadal biega](#)? Do poruszania kończynami wystarczą odruchy rdzeniowe, ale bez zmysłów i możliwości sterowania kierunkiem ruchu będzie przypadkowy, chociaż reakcja czuciowa na objawianie się o przeszkody może go zmienić. Zwykle kura biega krótko, ale kogut Mike przeżył 18 miesięcy. Miał nieuszkodzony pień mózgu, właściciel odżywił go kroplówkami i pokazywał za pieniądze. Czym się różni życie z głową i bez głowy?



B18.4 Mózdżek



Mózdżek odpowiada za pozaświadomą, precyzyjną kontrolę i synchronizację ruchów w trakcie pracy.

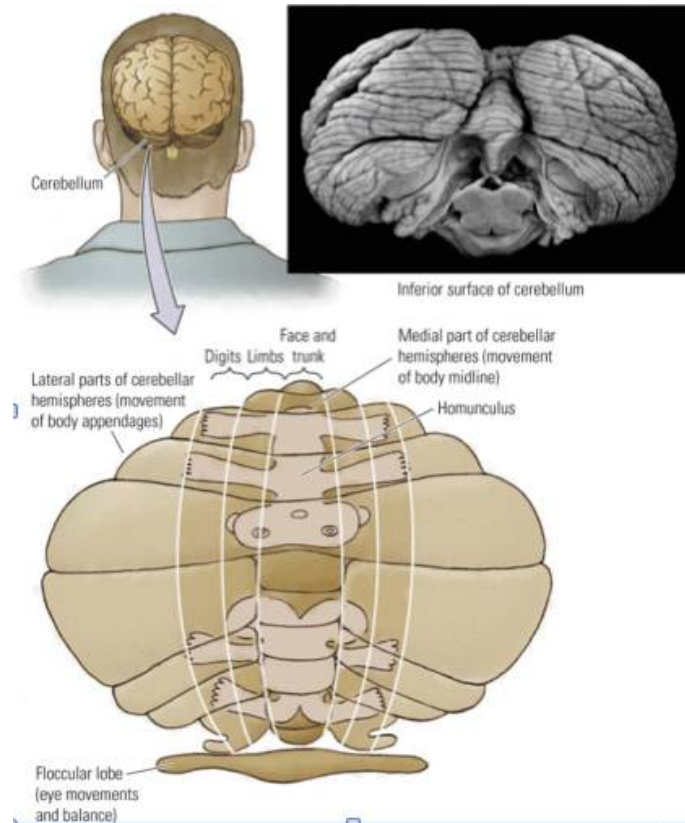
Jest to najważniejsza struktura u ryb i płazów, zajmuje u nich większą część mózgowia, również u słońi aż 97.5% wszystkich neuronów jest w mózdzku ([Herkulano-Houzel i inni 2014](#)).

Mózdżek człowieka zawiera ok. 70 mld neuronów (80% wszystkich neuronów mózgu), a więc 4 razy więcej niż jest w korze, ale za to ma 10 razy mniej połączeń pomiędzy neuronami. Lokalne grupy neuronów są silnie ze sobą połączone w obrębie modularnych obszarów mózgu, ale brakuje połączeń pomiędzy z odległymi obszarami. Dlatego uszkodzenia mózdzku nie prowadzą do wyraźnego upośledzenia funkcji poznawczych czy afektywnych, a tylko ruchu. Nie wystarczą same neurony, konieczna jest specyficzna organizacja.

Funkcją mózdzku jest przede wszystkim koordynacja ruchów celowych, utrzymanie równowagi, precyzyjna regulacja napięcia mięśni, "wygładzanie" poleceń wysyłanych do mięśni. Uszkodzenia mózdzku powodują wady postawy, brak koordynacji ruchów, niezgrabność, brak precyzji ruchów, drżenie ciała, niewyraźną mowę, nystagmus (gwałtowne ruchy gałek ocznych). Mózdżek bierze udział również w korygowaniu ruchów sakadycznych oczu.

Zachodzą w nim też procesy uczenia się odruchów warunkowych, może przechowywać pamięć niektórych odruchów, np. spadania na cztery łapy u kota. Uszkodzenia mózdzku powodują [ataksję](#), czyli zaburzenia koordynacji ruchowej ciała, określane jako "niezborność ruchów".

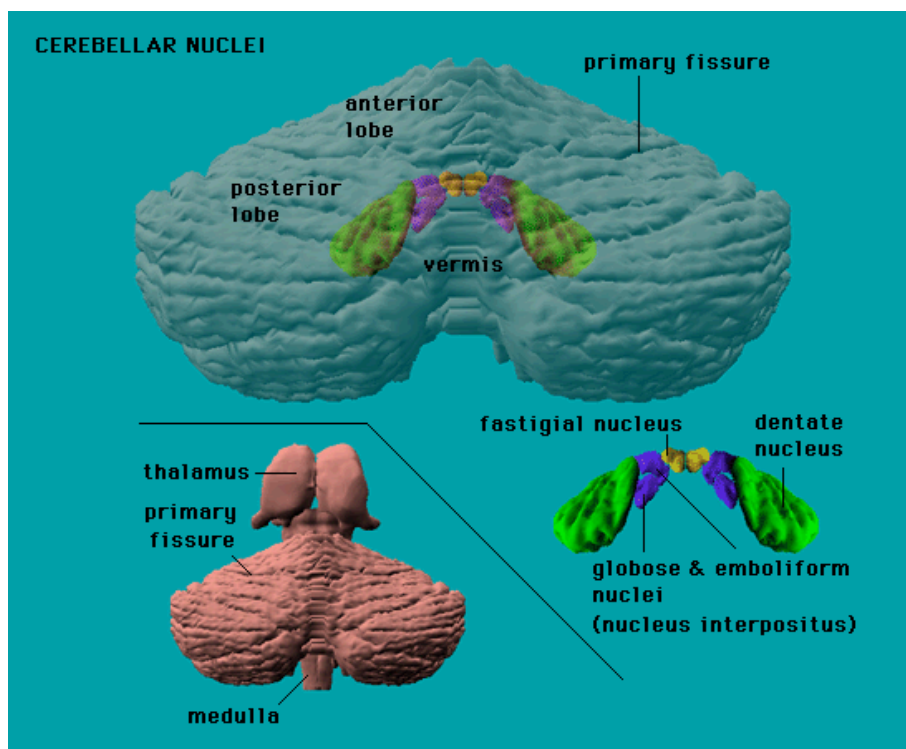
W mózdzku udało się zaobserwować uproszczoną mapę topograficzną ciała, czyli homunkulus.



Część rdzeniowa, centralna, zawierająca [robaka mózdzku](#) reguluje napięcie mięśni, otrzymuje sygnały czuciowe z rdzenia (organizacja topograficzna), oraz słuchu i wzroku, co wpływa na bieżącą kontrolę ruchów.

[Część przedsiolkowa](#) zawiera płacik kłaczkowo-grudkowy, biorący udział w kontroli równowagi, położenia oczu i głowy.

Część mózgowa zawiera [półkule mózdzku](#), zaangażowane w pamięć ruchów, pośrednicząc pomiędzy korą a mostem, gdzie sygnały z mózdzku wpływają na kontrolę ruchów.



Sensacją 2017 roku było odkrycie aktywacji mózdzku w procesach aktywujących system nagrody; komórki granulowate w mózdzku myszy zwiększają swoją aktywność w oczekiwaniu nagrody. Może to być efekt antycypacji ruchu, związanego z nagrodą. Prawdopodobnie mózdzek przesyła też informacje do okolic przedczołowych, gdzie różnica pomiędzy przewidywanymi i aktualnymi stanami ruchu ciała stanowi sygnał błędny pozwalający na modyfikacje kolejnych ruchów i predykcje skutków działania. W pośredni sposób mózdzek pośredniczy w sprzężeniu funkcji poznawczych i ruchowych, może wpływać na wyższe funkcje poznawcze, hamowanie niektórych reakcji, monitorowanie funkcji kognitywnych i afektywnych, istotnych w procesach uczenia się zachowań. Mózdzek wpływa też na nasze poczucie upływu czasu (Peterburs i Desmond 2016).

Mowa gestów: u ludzi czarnoskórych dłonie są jaśniejsze, prawdopodobnie pozwalając na lepszy kontrast wzrokowy w czasie gestykulacji.

Plemiona afrykańskie i inne społeczności zbieracko-myśliwskie w czasie opowiadań używają gestów podobnie jak w pantomimie, naśladując zwierzęta i ludzi. Szimpansy na wolności rozpoznają przynajmniej 66 różnych gestów, służących im do komunikacji (Hobaiter, Byrne, 2011).

Osoby głuche używają [języka migowego](#), korzystają przy tym z tych samych obszarów co w przypadku rozumienia i produkcji mowy. Jest kilka języków migowych, dość znacznie się od siebie różniących, w tym [Polski Język Migowy](#) oraz odrębny (i często z nim mylony) [System Językowo-Migowy](#), służący do wspomaganie wypowiedzi dźwiękowych znakami migowymi.

Poczucie rytmu i zdolność do poruszania się w rytm słyszanych dźwięków jest głównie cechą człowieka, nie potrafią tego małpy, nawet antropoidy. Jeśli kołyszą się rytmicznie to nie jest to związane z dźwiękami. Tylko nieliczne zwierzęta to potrafią, np. papugi kakadu. Może to być związane z uczeniem się mowy, która wymaga precyzyjnej synchronizacji; hipoteza, że istnieje korelacja pomiędzy mową a percepcją rytmu ma pewne potwierdzenie (A. Patel i inn., niepublikowane).

Percepcja rytmu angażuje dodatkową korę ruchową i korę przedruchową, oraz jądra podstawy i korę słuchową.

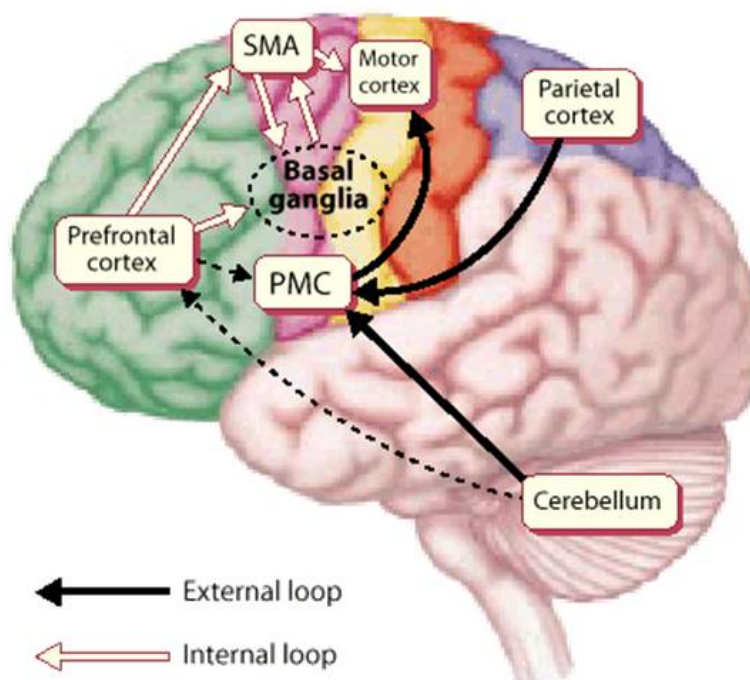
Postrzeganie ruchu związane jest z aktywacją obszaru MT w płacie ciemieniowym grzbietowego szlaku wzrokowego. Jednakże uszkodzenie tego obszaru nie powoduje utraty zdolności postrzegania ruchu organizmów biologicznych. Postrzeganie ruchu człowieka możliwe jest nawet wtedy, gdy widzimy kilka świetlnych punktów przyczepionych do rąk, nóg, głowy i tułowia, poruszających się w skoordynowany sposób jako plamy świetlne w ciemności.

Postrzeganie "biologicznego ruchu" jest tak istotne, że warto przewidywać co z takich obserwacji wyniknie i przygotować się do działania. Jest to funkcja tylnej części górnego zakrętu skroniowego (STS). Widać to już u 4-miesięcznych niemowlaków (Vos i inn. 2013).

Chociaż sygnały kontrolujące ruch członków ciała po jednej stronie dochodzą od kory ruchowej po przeciwległej stronie, okazuje się, że intencje ruchu można dostrzec w korze ruchowej po tej samej stronie. W przypadku udarów mózgu udało się odzyskać część funkcji motorycznych dzięki nieinwazyjnej [stymulacji mózgu](#) za pomocą interfejsu mózg-komputer.

B18.5 Ruchy wolicjonalne

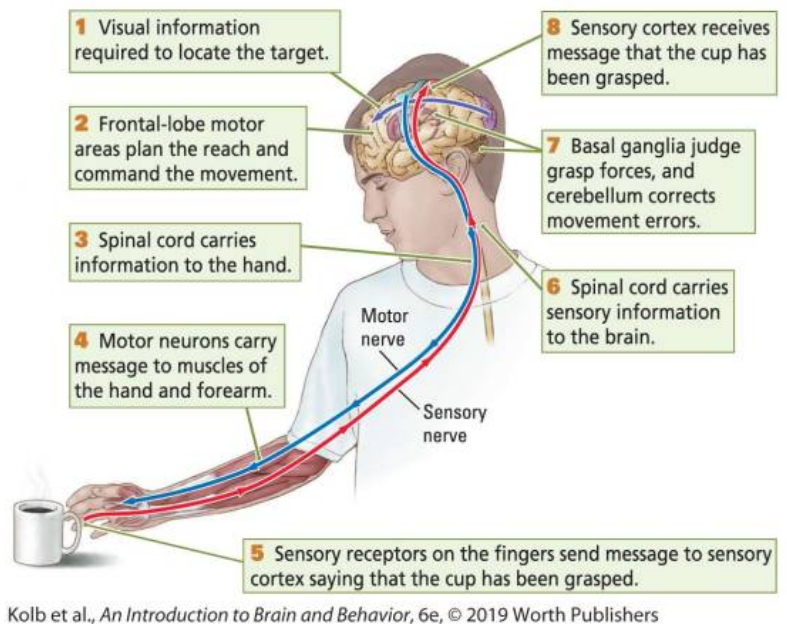
Znaczna część naszych ruchów wykonywana jest automatycznie. Mózg ustala, jak ułożyć palce czy stopę, w zależności od bodźców czuciowych i wzrokowych. Zanim jednak ruchy staną się automatyczne musimy je wyćwiczyć - czy to w przypadku ćwiczeń gimnastycznych, pisanie na klawiaturze czy grania na instrumencie. Aktywna percepcja wymaga koordynacji zmysłów z ruchem, dzięki czemu eksplorujemy świat i poznajemy możliwości własnego działania.



Popatrzmy dokładniej na przepływ informacji w przypadku prostej czynności, np. podniesienia kubka.

1. Niski poziom płynów wywołuje reakcje fizjologiczne, wzrasta koncentracja soli w krwi, kurczą się naczynia krwionośne.
2. Podwzgórze wykrywa te zmiany i przysadka mózgowa zaczyna wydelać wazopresynę (hormon ADH).
3. Nerki zaczynają wydelać reninę, wykrywaną przez podwzgórze, pobudzenie jego bocznej części stwarza poczucie pragnienia.

4. Uruchamia się odruch orientacyjny, automatycznie działający mechanizm uwagi.
5. Rozglądamy się i widzimy kubek z płynem. Informacja z siatkówki przepływa przez wzgórze, pierwotną korę wzrokową, trafia do kory dolnoskroniowej, gdzie zostaje rozpoznana jako kubek, a jednocześnie trafia do kory ciemieniowej, pozwalając na lokalizację w przestrzeni.
6. Kora ciemieniowa przesyła informację do kory czołowej, uruchamia się sekwencja planująca ruch ręki.
7. Pobudza się kora ruchowa i sygnały wędrują do mózdzku i rdzenia kręgowego.
8. Neurony ruchowe przekazują informację do mięśni ręki i przedramienia, sięgamy po kubek.
9. Receptory czuciowe przekazują informację o sile nacisku i masie podnoszonego kubka do rdzenia kręgowego.
10. Informacja czuciowa przechodzi przez mózdzek, który koryguje drobne błędy w sile nacisku każdego mięśnia.
11. Informacja czuciowa trafia też do jąder podstawy, która ocenia czy siłą nacisku jest odpowiednia.
12. Informacja czuciowa dochodzi do kory somatosensorycznej i kory ciemieniowej, która przesyła ją do kory ruchowej.
13. Podnosimy kubek do ust!



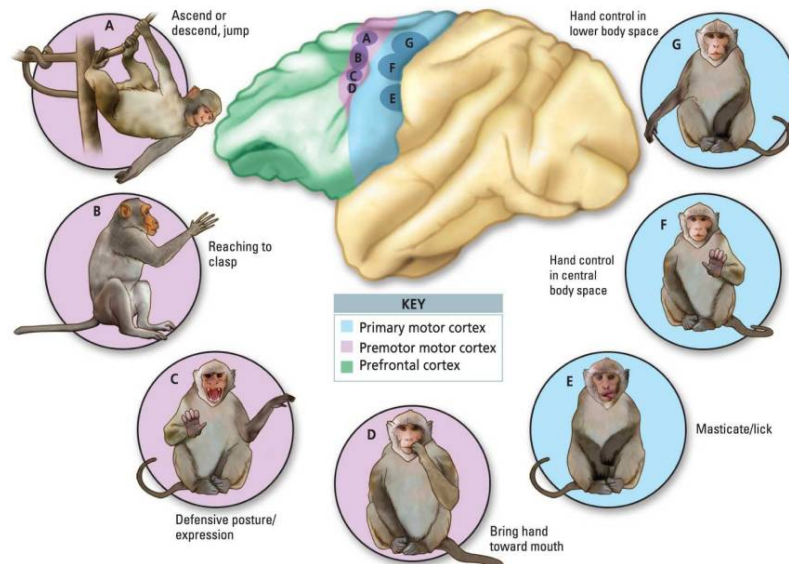
Wszystko to dzieje się w ciągu sekundy. Jeszcze krócej trwają procesy w czasie gry w piłkę, czy w tenisa. Nie ma czasu na planowanie i czekanie na informacje wzrokowe czy czuciowe by skorygować działanie. W czasie wykonywania jednego ruchu muszą być planowane następne ruchy, tworząc sekwencje motoryczne.

Większość działań związanych z ruchem przechodzi przez etap, w którym robimy błędy, uświadomienie, że konieczna jest korekta i intencjonalna chęć zmiany, dzięki której układ ruchowy uczy się wielokrotnie powtarzając sekwencje ruchów. Planowanie wymaga czasu, stąd przy odpowiednich wymagających złożonych zdań ludzie robią pauzy, mruczą, powtarzają zbędne słowa.

Wykonanie sekwencji ruchów wymaga planowania (kora przedczołowa) => organizacji poszczególnych kroków sekwencji => pobudzenia odpowiednich obszarów kory ruchowej.

Rolą kory przedczołowej jest nadanie ogólnego kierunku planowanym działaniom, podjęcie decyzji - czas wstać i rozprostować nogi. Taka instrukcja trafia do kory przedruchowej aktywując sekwencję skoordynowanych ruchów części ciała. Jedną ręką potrząsamy gałęzią, a drugą łapiemy spadające śliwki. Uszkodzenia kory przedruchowej uniemożliwiają koordynację takich prostych ruchów. Uszkodzenia kory M1 powodują trudności z chwytaniem, podnoszeniem przedmiotów do ust, a więc prostymi pojedynczymi ruchami.

Kora ruchowa ma więc zakodowane wyuczone sekwencje. Pobudzenie różnych części kory przedruchowej wywołuje złożone ruchy, a pierwotnej kory ruchowej ruchy proste. Na rysunku widać różne kategorie ruchów w przypadku bezpośredniego pobudzenia kory ruchowej u makaka. Podobną organizację [odkryto też w mózgu człowieka](#). Mamy pewien repertuar podstawowych ruchów, a kora przedczołowa wysyłając intencję działania do kory ruchowej uruchamia odpowiednie sekwencje. Działa to podobnie jak klawiatura elektronicznych organów - naciśnięcie jednego klawisza wywołuje zaprogramowany akord, upraszczając grę (A w tym przypadku sterowanie). Drażnienie prądem kory ciemieniowej w określonych miejscach mózgu ssaków naczelnych pozwoliło odkryć (Kaas, Stepniowska 2016) przynajmniej 8 podsieci sprzęgających regiony kory ciemieniowej (PPC) z korą ruchową (SI i SII). Identyfikacja specyficznych możliwości działania w korze ciemieniowej pobudza odpowiednie obszary kory ruchowej, hamując aktywność pozostałych, co prowadzi do selekcji odpowiedniego programu działania. Mózg łączy informacje ze zmysłu wzroku, równowagi, czucia nacisku z aktywnościami kory ruchowej.



Kolb et al., *An Introduction to Brain and Behavior*, 6e, © 2019 Worth Publishers

Kora bierze udział w wolicjonalnej kontroli ruchu, ale wykorzystuje też zautomatyzowane funkcje [jąder podstawy](#) (basal ganglia). W szczególności leżące pod korą struktury prążkowiec, czyli jądro ogoniaste, skorupa, oraz nieco głębiej gałka błada moduluje funkcje korowe związane z działaniem. Dotyczy to nabywania nawyków, charakterystycznych ruchów. Wszystkie obszary kory mają połączenia z jądrami podstawy. Jądra podstawy wysyłają pobudzenia do kory przez wzgórze i otrzymują dopaminę z substancji czarnej. Te połączenia tworzą pętle, przez które wszystkie obszary kory mają wpływ na korę ruchową.

Jedną z ważnych funkcji jąder podstawy jest regulacja siły aktywacji dochodzących z ciała przez wzgórze. Jedna z ścieżek aktywacji potrafi hamować aktywność wzgórza a druga je pobudzać. Brak równowagi przyczynia się do różnych zaburzeń - zbyt silne pobudzenie wywołuje drżenie i pływawicę, zbyt słabe trudności w inicjacji ruchu. Uszkodzenia prążkowiec mogą powodować różne tiki, wokalizacje, [zespół Touretta](#). Ma go 1 osoba na 1000.

Zaburzenia kontroli ruchu

Jądra podstawy mózgu mają silny wpływ na wykonywane ruchy, w szczególności jego zaburzenia. Zagadnienie wymaga dłuższego wykładu, tu jest tylko kilka uwag na temat zaburzeń kontroli ruchu.

- [Choroba Parkinsona](#) powoduje trudności w poruszaniu się, koordynacji ruchów i utrzymaniu równowagi ciała, niekontrolowane drżenie kończyn. Dotyka to około 1% osób powyżej 60 roku życia. Jest to wynik niedoboru dopaminy, wytwarzanej przez istotę czarną w śródmózgowiu.
- [Choroba Huntingtona](#), znana jako pływawica Huntingtona, gdyż do jej objawów należą niekontrolowane pląsy, drżenie kończyn ale też zmiany psychiki, pamięci, otępienie, urojenia. Mutacja genetyczna powoduje powstawanie wadliwego białka, które niszczy komórki prążkowiec i kory mózgu.
- Liczne [choroby neurodegeneracyjne](#), związane z niewłaściwą pracą nerwów kontrolujących mięśnie. W tym: [stwardnienie rozsiane](#), [stwardnienie zanikowe boczne](#) (ALS, choroba Lou Gehringa), [miastenia](#) i wiele innych.

W ostatnich latach wiele prac poświęconych jest próbie naprawy uszkodzonych szlaków nerwowych, przekazaniu sygnałów z pierwotnej kory ruchowej mózgu lub górnej części rdzenia kręgowego omijając uszkodzone obszary w kręgosłupie. Jest realna szansa na dobre [neuroprotezy](#) dla osób sparaliżowanych. Wymaga to użycia [elektrokortykografii \(ECOG\)](#), siateczek elektrod mierzących lokalne potencjały bezpośrednio z kory mózgu, lub wszczepienia elektrod w korę (ta technika to [stereoencefalografia, sEEG](#)). Sygnały z kilkuset (a mniej dokładnie, nawet z kilkunastu) neuronów kory ruchowej, przedruchowej a nawet wtórnej kory somatosensorycznej w obszarach ciemieniowych mogą zostać użyte do kontroli ruchu robotycznych manipulatorów o kilku stopniach swobody. Można w ten sposób nauczyć się złożonych trajektorii ruchów w trzech wymiarach. Nie wymagało to sygnałów ze specyficznych obszarów kory ruchowej, daje się je odczytać prawie z dowolnego miejsca i komórek kory. To pokazuje jak cała sieć neuronów współpracuje ze sobą.

Uczenie się manipulacji narzędziem za pomocą [interfejsów mózg-komputer \(BCI\)](#) (lub BMI, mózg-maszyna, bo nie zawsze jest to komputer) wykorzystuje system neuronów lustrzanych w czołowo-ciemieniowych obszarach. Wystarczy się przyglądać wielu różnym ruchom ramienia robota (mogą to być symulacje ruchu ręki lub nogi) na ekranie. Badania na zwierzętach jak i eksperymenty z ludźmi pokazały, jak dzięki neuroplastyczności obszarów kory somatosensorycznej i ruchowej takie zewnętrzne manipulatory wytwarzają nowe schematy ciała ([body schema](#)), czyli odczucia położenia i konfiguracji elementów ciała w przestrzeni (Lebedev i Nicoletis, 2017). Podobne próby wykorzystujące sygnały EEG do kontroli ruchu przyniosły dość ograniczone wyniki. Sygnał EEG nie jest dostatecznie szczegółowy by precyzyjnie odróżnić aktywacje różnych programów ruchowych.

Okazuje się, że osoby, które urodziły się mając 6 palców (nazywa się to polidaktylią i występuje dość często, raz na ok. 2000 urodzeń) mają odpowiednie zmiany w mózgu i rękach, pozwalające na sprawne kontrolowanie ruchu ([Mehringer i inni, 2019.](#)).

Trwają próby rozszerzenia możliwości ludzi przez [dodanie im dodatkowych kończyn](#), sterowanych przez sygnały z mózgu. Pozwoli to na proste manipulacje, trzymanie się jakiegoś uchwytu w czasie wykonywania czynności pod wodą, a nawet granie na perkusji.

B18.6 Inteligencja, geniusz, kreatywność.

Na nasze zachowanie mają wpływ procesy zachodzące w wielu skalach czasowych i przestrzennych. Będziemy powracać do wielopoziomowej fenomeniki, ale zaczniemy od błędów poznawczych i przyczyn irracjonalnego myślenia.

18.6 Inteligencja i geniusz

Chociaż nie ma powszechnej zgody jak zdefiniować inteligencję badania w tym obszarze rozwijają się dobrze. Już w 1923 roku zrozumiiano, że najlepiej jest uznać w kontekście badań psychometrycznych, że **"inteligencja jest tym co mierzy test IQ"** (Boring EG. Intelligence as the tests test it. New Repub. 1923). Jak z każdym pojęciem mającym liczne potoczne znaczenia pojęcie inteligencji można zdefiniować jednoznacznie tylko w określonym kontekście operacyjnym.

Celem badań nad inteligencją jest zrozumienie przyczyn indywidualnych różnic, jak i stworzeniem modelu pokazującego jak inteligencja i te różnice powstają w wyniku procesów zachodzących w mózgu.

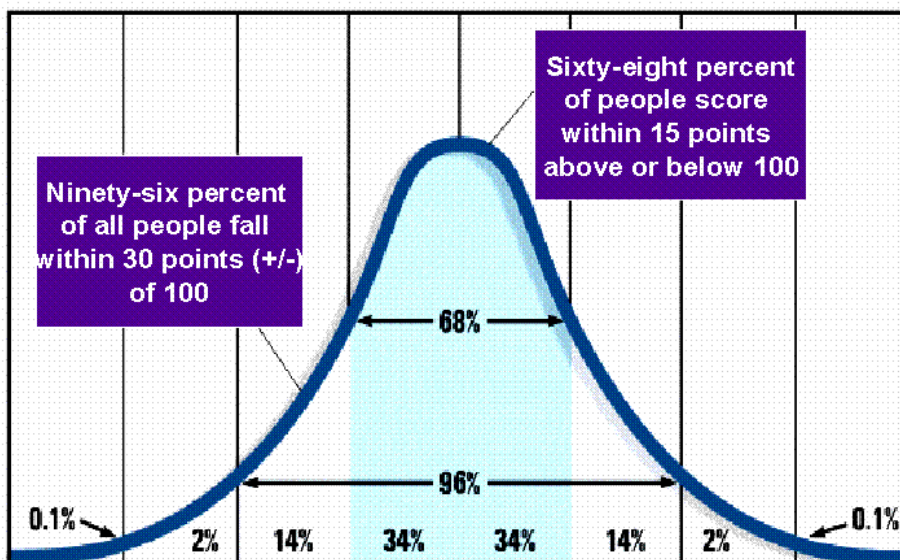
Za ojca psychometrii można uznać **Francisa Galtona** (zajmował się również biometrią, w tym odciskami palców i innymi cechami antropometrycznymi). Pierwszą osobą, która wprowadziła pojęcie ilorazu inteligencji w oparciu o zadania o różnym stopniu trudności był francuski psycholog Alfred Binet, autor (wspólnie z lekarzem Teodorem Simonem) testu do badania ogólnej sprawności intelektualnej (inteligencji) u dzieci.

Testy dla dzieci w różnym wieku mają różny stopień trudności i pozwalały na ocenę "wieku umysłowego", opartego na przeciętnych wynikach dzieci o określonym wieku. IQ obliczano jako $100 \times \text{wiek umysłowy} / \text{wiek życia}$, a więc $IQ=100$ oznacza średni wynik odpowiedni dla danego wieku. Takie testy inteligencji rozwojowej Stanforda-Bineta stosowano do lat 1980.

W 1939 roku David Wechsler wydał **Test Inteligencji Wechsler-Bellevue dla dorosłych**, w którym nie odwoływał się do wieku umysłowego (dla dzieci powyżej 13 roku życia takie postępowanie nie różnicowało dobrze inteligencji). Rozkład wartości współczynnika inteligencji mierzony za pomocą standardowych testów **Stanforda-Bineta na iloraz inteligencji** zastosowany do większej grupy jest w przybliżeniu rozkładem Gaussa o średniej 100 i odchyleniu standardowym około 15, a to znaczy, że ma duże odchylenia od średniej. Test Wechslera sumuje liczbę wszystkich uzyskanych punktów (wynik surowy) i porównuje ją ze średnią dla danej grupy wiekowej, a różnicę dzieli przez wartość odchylenia standardowego wyników surowych w danej grupie wiekowej. By zachować zgodność wyników z testem Stanforda-Bineta wartość IQ oblicza się dla danej grupy wiekowej W za pomocą wzoru:

$$IQ=100 + 15(\text{wynik surowy}-\text{średnia surowa}(W))/\text{odchylenie standardowe}(W)$$

Jeśli średnie się zgadzają to $IQ=100$; jeśli różnica = odchylenie standardowe to mamy $IQ=115$, osiąga to około 1/6 całej populacji. W rozkładzie Gaussa dla 2/3 osób IQ mieści się w przedziale [85,115], a 96% w przedziale [70,130], a więc około 1/6 (dokładnie 16%) ma IQ powyżej 115 a 2% powyżej 130.

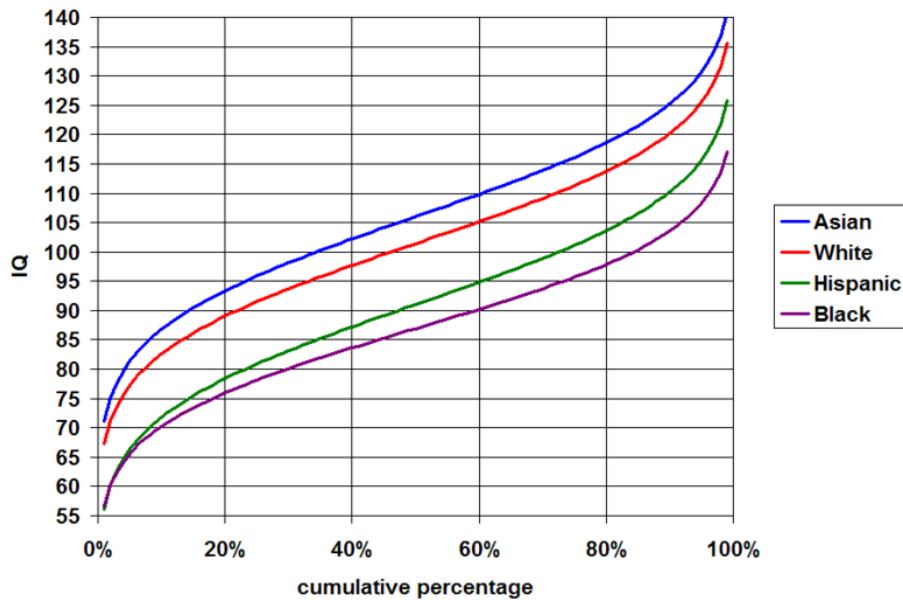


Wyniki różnią się dość istotnie dla różnych populacji. Wśród najbardziej inteligentnych ludzi przeważają obecnie Azjaci (dla $IQ>200$ prawie wyłącznie).

Trudno wyciągać jednoznaczne wnioski z takich badań bo zbyt wiele czynników wpływa na wyniki (np. populacja hiszpańskojęzyczna w USA nie jest reprezentatywna, bo dominują w niej najbiedniejsi emigranci o niskim IQ).

Pojemność pamięci roboczej chińczyków dla cyfr wynosi około 9 (Naveh-Benjamin i Ayres, 1986), więc jest aż o dwie cyfry wyższa niż w przypadku Europejczyków (jest tak również dla słów). Wiąże się to z szybkością wymowy cyfr w danym języku. Wskazuje to na szybsze możliwości kojarzenia w przypadku krótkich nazw, może wynikać z tonalnej struktury języka mówionego i ideograficznej pisanego.

Używanie symboli matematycznych czy logicznych bez aktywacji reprezentacji werbalnych prawdopodobnie usprawnia proste operacje numeryczne. Wymaga to oczywiście pewnego treningu w posługiwaniu się symbolami.



Zwiększona motywacja i nagrody pieniężne za wyniki testów mogą [polepszyć wynik](#) testu IQ nawet o 10-15 punktów (2/3 do 1 odchylenia standardowego)!

Średnia co pokolenie może zwiększyć się nawet o 10 punktów - jest to [efekt Flynna](#), który wynika prawdopodobnie zarówno z poprawy warunków zdrowotnych, lepszego odżywiania, bogatszego środowiska (np. zabawek) i wychowania dzieci rozbudzającego aktywność intelektualną. [Dodanie jodu do soli](#) zwiększyło średnie IQ w USA o 3.5 punktów IQ, a w stanach południowych, gdzie były znaczne niedobory jodu, aż o 15 punktów. Na południu ludzie chodzili boso, często mieli w organizmach [tegoryjce dwunastnicy](#), powodujące letargiczne stany. W diecie opartej na kukurydzy brakowało witaminy B3 (niacyny). Eliminacja ołowiu z benzyny (w Polsce używanej do 2005 roku) i innych produktów też wpływa na poziom inteligencji. Takie z pozoru drobne zmiany znacznie podniosły średnie IQ. Jednakże rezultaty z ostatnich lat są niepokojące, w wielu krajach średnie IQ uległo obniżeniu, nazywa się to "negatywnym efektem Flynna" (Dutton i inn 2016).

Tradycyjny pomiar inteligencji był często krytykowany, gdyż mierzy tylko jeden rodzaj aktywności człowieka, stąd pomysł wyodrębnienia [różnych składowych inteligencji](#). Można to zrobić na wiele sposobów.

Philip Vernon odróżnił zdolności werbalne (czynnik słowny, liczbowy, szkolny) i zdolności praktyczne (sprawność mechaniczna, zdolności przestrzenne i zdolności manualne).

Donald Hebb a po nim Raymond Cattell rozróżnił [inteligencję płynną](#), biologicznie zdeterminowaną podstawę sprawności wszelkich czynności intelektualnych, od [inteligencji skryształizowanej](#), wyniku zastosowania inteligencji płynnej w życiu, sprawności rozwiązywania problemów na podstawie tego, czego się nauczono.

L.L. Thurstone uznał rozumienie słów, płynność słowna, zdolności liczbowe, przestrzenne, rozumowanie, pamięć i szybkość spostrzegania za czynniki w miarę niezależne, które można mierzyć, oraz istnienie czynnika nadrzędnego, który nazwał zdolnością indukcji.

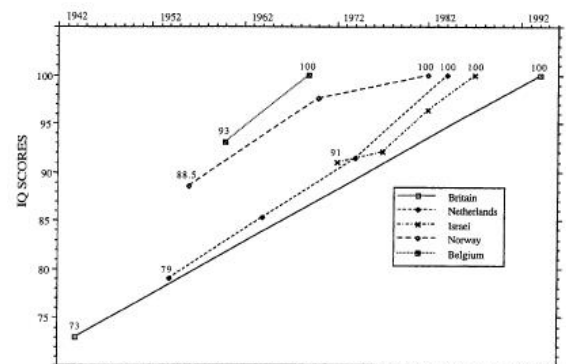
Szukanie niezależnych czynników doprowadziło [J.P. Guilforda](#) do wyróżnienia wielu (ok. 120) nieskorelowanych ze sobą (ortogonalnych) czynników składających się na strukturę intelektu, czynników dotyczących rodzaju operacji umysłowych (ocenie, zapamiętywanie i przypomnienie, poznanie, rozumienie, uświadamianie sobie, konwergencyjne i dywergencyjne myślenie, kreatywność, zdolność do oceny), rodzaju działania bądź mentalnego przedstawienia (behawioralny - działania ludzi, semantyczny, symboliczny, konkretny, wyobrażony), wytworów mentalnych operacji (przekształcenia, implikacje, klasy, relacje, systemy, elementy, jednostki).

Czy za inteligentnym zachowaniem stoi jakiś jeden wspólny czynnik "ogólnej inteligencji", określany symbolem g, czy wiele różnych funkcji poznawczych? Jakie procesy zachodzą w mózgu w przypadku rozwiązywania problemów wymagających inteligencji?

Początkowo próbowano stworzyć teorię ogólnej inteligencji. Spearman uznał, że korelacje wyników z różnych testów powinny mieć jedną wspólną przyczynę, a więc w analizie danych eksperymentalnych indywidualne różnice powinny się dać wyjaśnić za pomocą jakiegoś ukrytego czynnika, który nazwał czynnikiem g ogólnej inteligencji (g =general). Jednakże nie udało się wyróżnić takiego jednego parametru, stąd pomysł hierarchicznych modeli w których pojawia się grupa częściowo ze sobą powiązanych parametrów zależnych od ogólnego czynnika.

Model CHC. Popularny model posługujący się takimi parametrami ukrytymi ([model Cattell-Horn-Carroll](#), CHC) uwzględnia 3 poziomy opisujące funkcje poznawcze, specyficzny, szeroki i ogólny. Pozwala to na dopasowanie parametrów na poziomie drugim oceniających sprawność 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 opartego na zdobytej wiedzy). Na każdą z tych zdolności składa się szereg specyficznych zdolności mierzonych różnymi testami. Szerokie zdolności zależą w teorii CHC na poziomie ogólnym od czynnika g, ale nie

The Flynn Effect



jest to jeden czynnik, tylko wynik budowy mózgu, połączeń (konektom, mielinizacja aksonów decydujących o szybkości synchronizacji). Model CHC potrafi wyjaśnić wiele aspektów inteligencji związanej z procesami uczenia się, rozumowania, rozwiązywania problemów, ale by miał rzeczywiście dobre podstawy należy go powiązać z obiektywnie mierzalnymi procesami zachodzącymi w mózgu, a w szczególności ze strukturą konektomu i połączeń funkcjonalnych.

Rozróżnienie inteligencji płynnej i skryształizowanej okazało się bardzo użyteczne do wyjaśniania indywidualnych różnic i jest obecnie powszechnie stosowane.

Inteligencja płynna zmniejsza się z wiekiem, ale skryształizowana nie. Pojemność pamięci roboczej jest pozytywnie skorelowana z inteligencją płynną ale nie z skryształizowaną. Badania funkcjonalnym rezonansem również pokazują odmienne procesy odpowiedzialne za oba typy inteligencji w mózgu.

Analiza licznych eksperymentów, w których badano aktywację mózgu w czasie rozwiązywania zadań wymagających inteligencji doprowadziła Junga i Haiera (2007) do sformułowania **Teorii Integracji Ciemieniowo-Czołowej** (Parieto-Frontal Integration Theory, P-FIT). Autorzy starali się wyróżnić te obszary mózgu, które zidentyfikowano przynajmniej w ok. 10 eksperymentach.

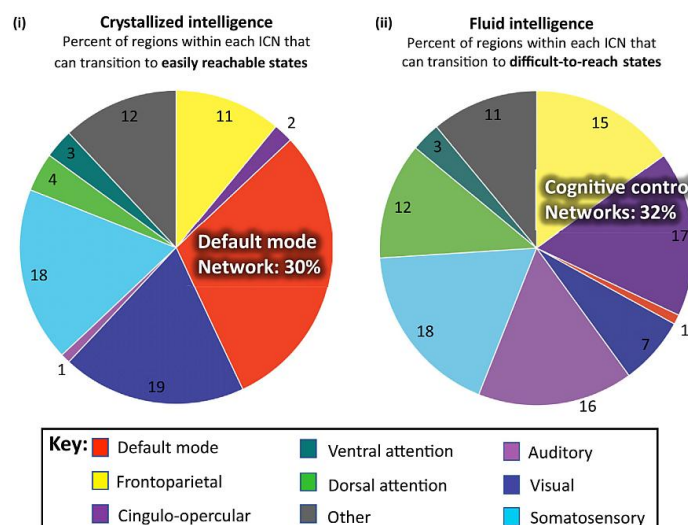
P-FIT zakłada, że informacja zmysłowa ulega wstępnemu rozpoznaniu w pierwszo- i drugorzędowej korze zmysłowej, skojarzeniom i integracji:

1. Na etapie pobudzenia mamy do czynienia z aktywacją kory wzrokowej, zwykle słuchowej i wzrokowej, od pierwotnej kory zmysłowej po obszary drugorzędowe gdzie mamy do czynienia z klasyfikacją perceptów. W przypadku wzroku jest to kora pozaprążkowa (obszary V2, V3, V4 i V5) i zakręt wrzecionowaty, a dla słuchu ośrodek Wernickego odpowiedzialny za analizę składni mowy.
2. Rezultaty przetwarzania danych zmysłowych trafiają do okolic górnej kory ciemieniowej, zakrętu nadbrzeżnego, kąowego, w których dochodzi do skojarzenia informacji, odwołania do pamięci semantycznej i skojarzeniowej, aktywacji pozwalających na zrozumienie sensu informacji.
3. Kora ciemieniowa połączona jest pęczkiem podłużnym górnym z czołowymi i przedczołowymi obszarami, dzięki czemu aktywizuje się pamięć robocza, pozwalająca na porównanie różnych skojarzeń, a więc testowanie kroków prowadzących do rozwiązania problemu.
4. Rozwiązania oceniane są przez przednią przyśrodkową korę obręczy, która specjalizuje się w ocenianiu błędów, a jej aktywność potrafi zahamować proces tworzenia dalszych, alternatywnych rozwiązań.

Teoria P-FIT ma obecnie silne wsparcie eksperymentalne, nowsze badania wskazują na te same struktury w mózgu, ale są to duże obszary, zaangażowane w wiele różnych czynności.

Nie jest to jednak teoria wyjaśniająca szczegóły tworzenia się rozwiązań. By to wyjaśnić potrzeba modelu opartego na symulacjach działania sieci neuronowych zaangażowanych w ten proces. Prawdopodobnie korelacje pomiędzy różnymi metodami badania inteligencji, mające świadczyć o istnieniu czynnika g, nie wynikają z istnienia jakiejś jednej, ukrytej cechy, a są jedynie emergentną własnością mózgu, działania sieci neuronowych w różnych sytuacjach.

Sieciowa teoria inteligencji (Barbey, 2018.) odwołuje się do tego jak łatwo jest przechodzić pomiędzy różnymi stanami, osiągalnymi łatwo lub trudno do osiągnięcia. Wyróżniając mniejsze obszary w obrębie rozległych sieci neuronowych (ICN, intrinsic connectivity networks) można zobaczyć, które z nich biorą udział w przejściach do takich stanów. Inteligencja skryształizowana ma sporo takich obszarów w obrębie sieci DMN i wzrokowych (zapewne prowadzących do szybkich bezpośrednich skojarzeń); inteligencja płynna ma takich regionów wiele w obrębie kory słuchowej (symboliczna reprezentacja pojęć), szlaku grzbietowego uwagi (świadomej kontroli), oraz sieci obręczowo-wieczkowej (cingulo-opercular network) czyli obszarów bliskich kory słuchowej ([wiczko przykrywa korę wyspy](#)).



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 konektomie 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 zdania bardzo dobrze, mogą go rozwiązać bez większego wysiłku mierzonego poziomem aktywacji mózgu.

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

18.7 Kreatywność

Kreatywność to zdolność do tworzenia rozwiązań które są nowe i interesujące. Kreatywność wymaga wiedzy, na której może się oprzeć, oraz ciekawości, aktywnego szukania w przestrzeni skojarzeń, które w oparciu o tą wiedzę mogą się utworzyć.

Ciekawość jest jednym z pierwotnych instynktów, który popycha zwierzęta do eksploracji środowiska. Wywołuje emocje, ukierunkowujące działania przyczyniające się do rozwoju (a czasami do katastrof). Badania nad mechanizmami związanymi z ciekawością trwają obecnie na szeroką skalę zarówno w psychologii, neuronaukach jak i sztucznej inteligencji, gdzie powstało wiele modeli, które próbują określić ciekawość jako wynik oceny nowości, zmiany sytuacji (niespodzianki) niezgodnej z przewidywaniami modelu, złożoności sytuacji, niepewności decyzji i innych elementów, które wspólnie mają wpływ na pobudzenie ciekawości. Efekt zależy od układu poznawczego, wiedzy, wewnętrznego modelu rzeczywistości, ekosystemu i infosystemu, w którym się znajdujemy.

Inteligencja i kreatywność są z sobą słabo skorelowane. Dlaczego? Inteligencja nie wymaga tworzenia nowych rozwiązań, ale wymaga by istniały ścieżki skojarzeń. Kreatywność wymaga tworzenia nowych, szybko pojawiających się nowych ścieżek skojarzeń. Bierze w tym większy udział prawa półkula mózgu.

Jeśli mamy sieć neuronową, nauczoną regularności na poziomie prostych struktur, np. liter, fonemów, morfemów, prefiksów i sufiksów w danym języku to mamy przestrzeń, w której działają procesy torowania (prymowania). Każde słowo, bodziec czy zdarzenie pobudza szereg mikroobwodów, które nauczyły się reagować na elementy składowe takich bodźców.

Fragmenty reprezentacji mogą się pobudzić na tyle, by możliwe się stały różnorodne połączenia w wyniku fluktuacji aktywności mikroobwodów w mózgu, pobudzane przez fale EEG, dzięki czemu pojawiają się silniej zsynchronizowane kombinacje elementarnych pobudzeń; na poziomie mentalnym takie stany wiążemy z wyobraźnią.

Nie wszystkie aktywacje mózgu są na tyle interesujące by warto je było sobie uświadomić, a więc by mogły się pojawić na poziomie mentalnym. Wybieranie najbardziej istotnych pobudzeń dokonuje się dzięki skojarzeniom fonologicznym, semantycznym i emocjonalnym, otwierając dostęp do pamięci roboczej poprzez procesy typu "**zwycięzca bierze większość**".

Kreatywność = substrat (nauczone sieci) + wyobraźnia (fluktuacje aktywacji mózgu) + filtrowanie (emocje i skojarzenia).

Dzięki temu możemy tworzyć i rozumieć całkiem nowe słowa, ale również analizować i tworzyć obrazy, wyobrażać sobie nowe smaki itd. Można to nazwać prostą kreatywnością, z której korzystamy bez przerwy. Chociaż możliwe są inne formy kreatywności są one bardzo rzadkie i nie jest rzeczą jasną, czy ich natura wymaga odmiennych wyjaśnień.

Przykładem mogą być nietypowe twierdzenia i dowody [Ramanujana](#) w matematyce. Ramanujan był genialnym samoukiem, zajmował się teorią liczb, hipergeometrycznymi szeregami nieskończonymi, całkami i funkcjami eliptycznymi. Jego pomysły zaskakiwały matematyków z Cambridge, dokąd go zaproszono i gdzie spędził 5 lat. Nie zawsze jego twierdzenia okazywały się prawdziwe i wielu z nich Ramanujan nie potrafił udowodnić, jednakże jego intuicja była niezwykła. Analizy sposobu jego myślenia dokonał J. Rehling w swojej pracy doktorskiej (2001).

Teoria memów jak i teoria ewolucji są szczególnymi przypadkami zaproponowanej przez psychologa D.T. Campbella (1960) teorii **BVSR** procesów twórczych.

Twórcze procesy - ewolucyjne, kulturowe, indywidualne - wymagają dwóch kroków: wyobraźni, opartej na ślepych (z punktu widzenia celu) kombinacjach elementów (**blind-variation, BV**), oraz selekcji interesujących (przydatnych) kombinacji (**selective-retention, SR**), stąd nazwa BVSR tej teorii.

W przestrzeni neuronalnej mózgu możliwa jest ślepa wariacja, powstawanie kombinacji aktywacji grup neuronów. Doświadczenie, wiedza danej osoby, narzuca na ślepe kombinacje tych aktywacji strukturę probabilistyczną, nie jest to więc przypadkowe szukanie.

W przypadku tworzenia nowych słów kombinacje nie dające się łatwo wymówić nigdy nie powstają, a kombinacje nie mające morfemów kojarzących się z istniejącymi słowami nie będą interesujące. Jest to w dodatku proces dynamiczny, podlegający torowaniu przez poprzednio usłyszane słowa. Selekcja w mózgu wynika z pojawienia się kombinacji, które pasują do istniejących struktur w mentalnych przestrzeniach, które pobudzają mózgi emocjonalnie.

Nowe kierunki sztuki rozpatrywać można jako eksplorację możliwości układu nerwowego, tak jak robi się to w ramach [neuroestetyki](#).

Przyjemność związana z oglądaniem obrazów czy słuchaniem muzyki musi być związana z odpowiednimi reakcjami mózgu, a więc połączeniami pomiędzy obszarami analizującymi struktury muzyczne czy wzrokowe.

Widać to w analizie konektomu, połączeniach długimi aksonami (to jest biała materia) pomiędzy obszarami górnego zakrętu skroniowego (STS) i obszarami związanymi z emocjami i przetwarzaniem bodźców społecznych, korą wyspy i przyśrodkową korą przedczołową; gęstość tych połączeń koreluje się z wrażliwością na muzykę (Sachs i inn, 2016).

Jak możemy wzmocnić swoją kreatywność? Można znaleźć setki porad na ten temat, np. w książce: "Brain Hacks. 200+ Ways to Boost Your Brain Power" (Adams Media, 2018). Zwykle sprowadzają się do zdrowego trybu życia, właściwego odżywiania, snu, unikania stresu,

gier logicznych, ćwiczeń fizycznych, medytacji, gry na instrumencie itd.

Głębszą analizę znajdziemy w książce R.G. Best, J.M. Best, [Brain Apps: Hacking Neuroscience To Get There](#) (Booklocker.com 2017). Nowe idee nie pojawiają się w próżni. Jak głosi stara sentencja łacińska "Nihil novi sub sole" – nic nowego pod słońcem, wszystko jest remiksem łączącym fragmenty wcześniejszych epizodów. Dotyczy to wszelkich form sztuki, ale w nauce zdarzają się odkrycia autentycznie nowe, które zmieniają świat. Rzymianie przeniesieni do naszego świata zapewne dostrzegliby wiele zupełnie nowych rzeczy pod tym samym Słońcem.

Geniusz i genetyka

Wyjątkowymi zdolnościami, przejawiającymi się w kreatywności i oryginalności dzieł uznawanych za genialne zajmował się [Sir Francis Galton](#), w szczególności stworzył [historiometrię](#), wykładając swoje poglądy w książce "Hereditary Genius" (1869).

Nie ma jednak jednoznacznej definicji geniuszu, chociaż proponowano by np. uznać osoby z IQ powyżej 180 za genialne. Powyżej IQ ~120 zanika korelacja pomiędzy sukcesami a wynikami testów na inteligencję. To oznacza, że potrzebne jest pewne minimum ale superinteligencja nie gwarantuje sukcesu.

[Cudowne dzieci](#) osiągają przez skończeniem 15 roku życia wyniki podobne do osiąganych przez dorosłych ekspertów.

Istnieje korelacja pomiędzy geniuszem a szaleństwem: ewolucja eksperymentuje na ślepo (Andreasen 2005; Pickover 1998). Aż 80% wśród najbardziej uznanych pisarzy cierpi z powodu zaburzeń emocjonalnych i zaburzeń nastroju, poeci często z powodu cyklofrenii (Andreasen 2005). Wytrwałość w dążeniu do celów jest jedną z podstaw sukcesu. Powtarzanie pomyłek, upór, związane jest z mutacją A1 receptorów dopaminowych D2, co wpływa na interakcje przyśrodkowej kory przedczołowej (pMFC) z hipokampem (Ullsperger, Klein, 2007, 2008).

Ciekawe korelacje zauważono pomiędzy mutacją genu *CORD7* związanego z uszkodzeniem czopków oka. Osoby z taką mutacją są niewidome, ale wykazują lepsze wyniki w testach inteligencji werbalnej (niestety brak jest dobrego porównania wyników testów z innymi osobami niewidomymi, które też mogą wykazywać większą inteligencję werbalną). Ten gen ma wpływ na rozwój synaps, pomagając w transmisji informacji w mózgu - zbadano to [na muszkach owocowych](#).

Próby powiązania liczby lat poświęconych edukacji z genetycznymi markerami skończyły się niepowodzeniem. Przebadano 300,000 ludzi i wyróżniono 74 markery genetyczne, ale ich wkład do osiągnięć edukacyjnych oceniono na poziomie 0.4% ([A. Okbay et al. Nature 2016](#)). Uwzględnienie 9 mln wariantów genetycznych pozwala wyjaśnić jedynie 3.2% różnic w poziomie formalnej edukacji, mierzonej liczbą lat nauki.

W ciągu ostatnich 3 mln lat doszło dwukrotnie do duplikacji genu *SGRAP2* i jak pokazano (Megan Dennis, Uni. Washington, 2011) miało to wpływ na migrację neuronów i powiększenie kory mózgu.

Są silne indywidualne korelacje IQ i rozmiarów kory u dojrzewającej młodzieży; porównanie skanów mózgow zrobionych po 4 latach pokazały znaczne indywidualne różnice w rozwoju kory, pozytywnie skorelowane z różnicami w testach IQ: w ekstremalnych przypadkach było to zmniejszenie o 18 i zwiększenie o 21 punktów procentowych. Wydaje się, że nawet w wieku 17 lat mózgi dzieci nie są wystarczająco rozwinięte by ponosić pełną odpowiedzialność i rozumieć konsekwencje swoich czynów.

Talent, kreatywność i inteligencja to różne pojęcia: widać to szczególnie wyraźnie w przypadku sawantów (Kalbfleisch 2004).

Czy **korelacja między zaburzeniami psychicznymi i kreatywnością** naprawdę istnieje? Paradoks "szalonego geniusza" polega na tym, że zarówno odpowiedź tak jak i nie jest prawdziwa. Jeśli mierzyć kreatywność oceniając jakieś dzieła danego człowieka, które uznawane są za ważne (artystyczne czy intelektualne), to mamy dwie możliwości: 1) Wśród kreatywnych osób najwybitniejsze są najbardziej zagrożone chorobami psychicznymi, oraz 2) Wśród wszystkich ludzi osoby kreatywne cieszą się lepszym zdrowiem psychicznym niż osoby mniej kreatywne. Oba te stwierdzenia są prawdziwe ([Simonton, 2014](#)). Procent zaburzeń psychopatologicznych w ciągu całego życia pośród dużej grupy osób uznawanych za kreatywne jest mniejszy niż w przypadkowo wybranej grupie osób o tej samej liczebności. Z drugiej strony wśród osób, które w ciągu swojego życia stworzyły bardzo wiele wybitnych dzieł proporcja takich zaburzeń jest znacznie wyższa niż przeciętna. Takich osób jest jednak niewiele, więc nie będą miały wielkiego wpływu na statystyki osób kreatywnych. Te proporcje zależą też od obszaru działalności, najmniej zaburzeń jest u naukowców (u najwybitniejszych są tylko łagodne zaburzenia), u artystów i pisarzy ocena ich kreatywności rośnie w niewielkim stopniu liniowo wraz z oceną siły zaburzeń psychicznych (Simonton, 2014a).

[Bezpośrednie porównanie](#) ilu artystów i naukowców w Szwecji cierpiało z powodu różnych problemów psychicznych, od schizofrenii, silnych uzależnień po samobójstwa, pokazało korelację jedynie z chorobą dwubiegunową, jedynie wśród autorów książek jest pewna korelacja z innymi zaburzeniami.

[Wielu geniuszy](#) cierpi na upośledzenia specyficznych funkcji; można być geniuszem w jednej dziedzinie a w innych zupełnie sobie nie radzić. Mniej niż 10% osób cierpiących na autyzm to [sawanci o nadzwyczajnych zdolnościach](#): większość potrafi podać dzień tygodnia dla dowolnej daty; często mają fenomenalną pamięć, czasami potrafią szybko liczyć w pamięci, wykazują zdolności orientacji przestrzennej, lub zdolności muzyczne. Około 10% wszystkich sawantów ma nabyty zespół sawanta po rozległych udarach, uszkodzeniach mózgu lub częściowego otępienia. Około połowa sawantów cierpi na autyzm, pozostali mają różne uszkodzenia mózgu. Wśród sawantów jest bardzo mało kobiet.

[Lista genialnych sawantów.](#)

Przykłady: [Derek Paravicini](#), genialny niewidomy muzyk, [wideo na TED](#).

Jan Becker i Rüdiger Gamm to ludzkie kalkulatory

Style uczenia?

Większość pedagogów jest przekonana, że uczniowie uczą się łatwiej, jeśli styl uczenia jest dostosowany do ich preferencji. Te preferencje są związane z wykorzystaniem wzroku, słuchu i ruchu (czyli preferencji [kinestetycznych](#)). Rozważano też inne sposoby

uczenia przeciwstawiając prezentacje werbalne i wizualne, wymagające rozumowania lub intuicji, liniowe - holistyczne. Kontrowersje wokół stylów uczenia trwają od dawna i nie widać dowodów potwierdzających, że takie style uczenia mają jakiś wpływ na efektywność nauczania.

[Błob też się uczy](#), chociaż to tylko prosty słuzowiec.

18.8. [Talent](#)

Czym jest talent?

Zdolności lub talent oznaczają łatwość osiągnięcia wysokiego poziomu kompetencji w jakiejś dziedzinie. Talent zależy od rozwoju i współpracy specyficznych obszarów mózgu, dlatego może dotyczyć wybranych dziedzin i nie jest tożsamy z ogólną inteligencją (widać to szczególnie w przypadku sawantów). Do rozwoju talentu potrzebna jest silna motywacja, kombinacja zachowań celowych i sprawności mechanizmów percepcji, które nie zależą bezpośrednio od woli.

Spekulacje: podstawową rolę wydaje się tu grać wyobraźnia.

[Wyobraźnia](#) jest zdolnością pobudzenia skojarzonych z danym kontekstem lub powstających spontanicznie wrażeń, wspomnień i skojarzeń. Są mocne dowody (Buchsbaum i inni 2012) na to, że wyobrażenia przywołują podobny stan mózgu jak percepcja.

Odróżnia się amuzję czuciową i amuzję ruchową lub motoryczną (niezdolność do produkowania muzyki). [Amuzja](#) jest skorelowana z problemami wyobraźni przestrzennej. W artykule [Amusia is associated with deficits in spatial processing](#) pokazano, że osoby z amuzją gorzej radzą sobie z rotacją mentalną (potrzebnej np. do grania w tetrisa), ale za to wykazują mniejszą interferencję przy jednoczesnym wykonywaniu dwóch czynności wymagających wyobraźni słuchowej i przestrzennej.

Wyobraźnia może funkcjonować doskonale w obszarze abstrakcyjnych pojęć czy słowotwórstwa, ale nie wizualnym czy muzycznym.

Mozart słyszał wewnątrz melodie, po prostu spisywał to, co wytwarzał jego mózg; jest to wbrew pozorom dość częste u kreatywnych ludzi.

Nie każdy potrafi przypomnieć sobie szczegółowo jakiś obiekt, przechowując w pamięci np. wyobrażenie melodii, lub znajomej twarzy. Trudności w odtworzeniu jak i wyobrażeniu sobie w szczegółach nowych obiektów (wizualnych, dźwiękowych, ruchowych) mogą wynikać z niedostatecznie silnych pobudzeń wstecznych kory zmysłowej. W tej sytuacji jeśli pamiętam melodię będąc słysząc, czy została wybrana właściwa nuta, ale nie będę mógł jej wskazać lub nazwać; osoby obdarzone absolutnym słuchem potrafią nazwać każdą nutę, a osoby ze zwykłym słuchem muzycznym potrafią nazwać kolejną nutę, pamiętając interwał.

Wydaje się więc, że należy rozróżnić słuch związany z rozpoznawaniem (kiedy sygnały dostarczane są przez projekcje wstępujące, bottom-up), od tego związanego z odtwarzaniem lub wyobrażaniem (projekcje zstępujące, top-down).

Jeśli u kogoś zaburzone jest przetwarzanie dźwięków, to nie będzie zainteresowany muzyką. Jeśli tylko wpływ połączeń wstecznych jest zaburzony to przejawia się to w postaci trudności z wyobrażaniem sobie melodii, graniem ze słuchu, zapamiętywaniem muzyki, więc taka osoba nie będzie miała talentu do grania na instrumentach czy śpiewania, chociaż może lubić muzykę. Powinno to być widać w potencjałach wywołanych przez reakcję na kolejne dźwięki prostej melodii, ale nie ma jeszcze badań w tym zakresie.

Osoby, które mogą sobie wyobrazić i przypomnieć dźwięki generują odpowiednie oczekiwania i grając na instrumencie mogą na tej podstawie wykonywać odpowiednie ruchy.

Prawdopodobny schemat pobudzeń wygląda tak: (tylna kora skroniowa i ciemieniowa - wyobraźnia) => pierwotna kora słuchowa => kora przedruchowa.

Równolegle: kora ciemieniowa => kora przedruchowa.

Amuzja wyobrazeniowa osłabia pierwszą drogę, ale druga jest czynna, więc chociaż nie słyszy się wewnątrz to można grać nie mając pojęcia co z tego wyjdzie, z punktu widzenia świadomości jest się jedynie słuchaczem.

Kreatywność jest niezależna od inteligencji, związana jest bardziej z produktywnością i krytyczną oceną.

Kreatywność wymaga tworzenia wielu idei i odrzucania słabych pomysłów, to główny czynnik wyróżniający kreatywne osoby.

Inteligencja nie zawsze wiąże się z kreatywnością. Teoria amerykańskiego psychologa Donalda Campbella [Blind Variation Selective Retention \(BVSr\)](#), czyli wariantów generowanych na ślepo i selektywnie przesiewanych, ma coraz lepsze uzasadnienie empiryczne, potwierdzają ją też komputerowe symulacje.

Zadanie:

Spróbuj przeanalizować wrażenia powstające w czasie inicjacji ruchu. Czy zawsze najpierw pojawia się świadome polecenie "ruszaj palcem, ręka, wstań" czy raczej dostrzeżasz, że zaczynasz się poruszać i uznajesz to za swoją decyzję? Czy zdarza się, że uświadamiasz sobie co robisz, nie mając wrażenia, że poprzedziła to jakaś decyzja? Wykonaj ćwiczenie z ruchu nogi i kreśleniem cyfry 6. Spróbuj coś napisać używając obu rąk jednocześnie. Prześledź szczegółowo jakie procesy muszą zajść w mózgu, które struktury muszą się pobudzić i ze sobą współpracować, by dopisać nowy numer w telefonie.

Jakiego rodzaju inteligencja jest Twoją mocną a jakiego słabą stroną? Jak to zależy od Twoich zdolności percepcji zmysłowej?

Przykładowe pytania: kontrola ruchów.

1. Jaka jest rola neuronów lustrzanych?
2. Na czym polega zespół obcej ręki?
3. Jakie obszary mózgu zaangażowane są w kontrolę ruchu?
4. Co to są mapy ruchowe i w jakiej części mózgu je znajdziemy?
5. Na czym polega i do czego służy kodowanie populacyjne.
6. Wymień główne funkcje kory przedruchowej.
7. Jakie struktury mózgu zaangażowane są w ruchy wolicjonalne?

Inteligencja.

1. Jakie cechy mózgu korelują się pozytywnie z inteligencją.
2. Kreatywność i jej korelaty biologiczne.
3. Jakie procesy mogą być odpowiedzialne za talent artystyczny?
4. Jakie trzy obszary w mózgu związane są z humorem?
5. Czym się różni inteligencja płynna i skryzalizowana.
6. Na czym polega teoria kreatywności Campbella?
7. Czy geniusze cierpią zwykle na zaburzenia psychiczne?

Seria "[Nasze niesamowite zmysły](#)" pokazuje wiele ciekawych informacji o działaniu zmysłów.
[Ministerstwo Rozwoju Inteligencji](#), Wenezuela.

Literatura:

Ruch

- de Langavant, C.L., Trinkler, I., Cesaro, P., & Bachoud-Lévi, A. (2009). Heterotopagnosia: When I point at parts of your body. *Neuropsychologia*.
- Kaas JH, Stepniewska I (2016) Evolution of posterior parietal cortex and parietal-frontal networks for specific actions in primates. *Journal of Computational Neurology*, 524: 595–608
- Lebedev, M. A., & Nicolelis, M. A. L. (2017). Brain-Machine Interfaces: From Basic Science to Neuroprostheses and Neurorehabilitation. *Physiological Reviews*, 97(2), 767–837.
- Peterburs J., Desmond J. E. The role of the human cerebellum in performance monitoring. *Curr Opin Neurobiol.* 2016; 40:38-44.
- de Vignemont, F. Body schema and body image—Pros and cons. *Neuropsychologia* 48(3):669-80, 2010.
- Borroni, P., Gorini, A., Riva, G., Bouchard, S., & Cerri, G. (2011). Mirroring avatars: dissociation of action and intention in human motor resonance. *The European Journal of Neuroscience*, 34(4), 662–669.

Inteligencja, geniusz i kreatywność.

- Anderson, M.L. [Neural re-use as a fundamental organizational principle of the brain](#). *Behavioral and Brain Sciences* 33(3), 245-313, 2010.
- Andreasen N.C, *The Creating Brain: The Neuroscience of Genius*. Dana Press, 2005.
- Beaty et al. (2018). [Robust prediction of individual creative ability](#) from brain functional connectivity. *PNAS*, 115(5), 1087–1092.
- Campbell D.T.(1960) Blind variation and selective retention in creative thought as in other knowledge processes. *Psychological Review* 67:380–400.
- 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.
- Dutton, E., van der Linden, D., Lynn, R. (2016). The negative Flynn Effect: A systematic literature review. *Intelligence*, 59, 163–169. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2016.10.002>
- Eagleman D. (2020) *Livewired : The Inside Story of the Ever-Changing Brain*. Canongate Books Ltd.
- Goleman D, *Inteligencja ekologiczna*, Dom Wydawniczy REBIS, 2009
- Kalbfleisch M.L. [Functional neural anatomy of talent](#), *The Anatomical Record Part B: The New Anatomist*, 277B, 21-36 (2004).
- Neubauer, AC; Fink, A. "Intelligence and neural efficiency". *Neurosci Biobehav Rev.* 33: 1004–23.
- Pickover C.A, *Strange Brains and Genius*. Plenum Trade 1998.
- Rehling, J. "Letter Spirit (Part Two): Modeling Creativity in a Visual Domain". Doktorat, Indiana University, (2001).
- Saenger Paul, *Space Between Words: The Origins of Silent Reading*. Stanford Uni. Press, 1997.
- Simonton D.K. (2010) Creative thought as blind-variation and selective-retention: Combinatorial models of exceptional creativity. *Physics of Life Reviews* 7: 156-179
- Simonton, D. K. (2014). The Mad-Genius Paradox: Can Creative People Be More Mentally Healthy But Highly Creative People More Mentally Ill? *Perspectives on Psychological Science*, 9(5), 470–480.
- Stein K, *The genius engine*. J. Wiely 2007
- Yamaguchi M, [On the savant syndrome and prime numbers](#), *Dynamical Psychology* 2009.
- Zohar D, I. Marshall, *Inteligencja duchowa*, Dom Wydawniczy Rebis, Poznań 2001
- [Extraordinary People: Understanding Savant Syndrome](#)

Referaty na temat kreatywności:

- [Referaty po polsku](#). Umysł i sztuka w świecie rzeczywistym i wirtualnym. Kreatywny sztuczny mózg. Wirtualny świat fikcji, sztuki i fantazji, Twórczość, Intuicja, Mózgi i Komputery.
- [The incredible inventions of intuitive AI](#)

Procesy wglądu (Eureka) są również opisane w tych referatach.

Prace na temat kreatywności są na stronie [projektu komputerowej kreatywności](#).

[John Cleese na temat kreatywności](#) oraz [5 rzeczy sprzyjających kreatywności](#) - sporo praktycznych uwag.

Cytowanie:

Włodzisław Duch, Wstęp do Kognitywistyki. Rozdz. B18: Kontrola ruchu i inteligencja. UMK Toruń 2023.

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