



# Neuroedukacja – gdzie jesteśmy i dokąd idziemy?



Włodzisław Duch

Laboratorium Neurokognitywne,  
Interdyscyplinarne Centrum Nowoczesnych Technologii,  
CD „Neuroinformatyka i Sztuczna Inteligencja”, oraz Katedra  
Informatyki Stosowanej INT WFAIS, Uniwersytet Mikołaja Kopernika

Google: Wlodzislaw Duch

INSPIR@CJE 2021, Warszawa 25.09.2021

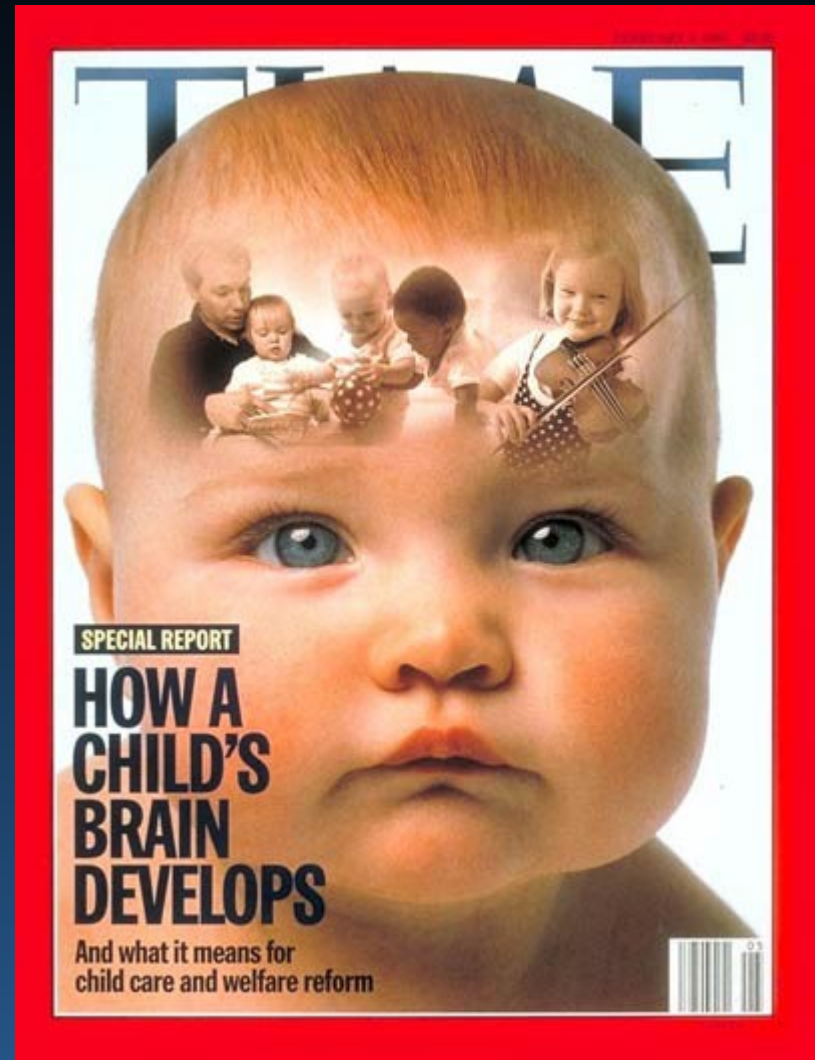
# Mój ulubiony organ!



# Plan

- Neuro-co? Podstawy, neuroplastyczność.
- Learning sciences, nauki o uczeniu.
- Czego się nauczyliśmy badając mózgi?
- Wskazówki praktyczne.

Wykład bardziej praktyczny niż teoretyczny.



Neuro-co?

# (Neuro)edukacja

Pedagogika: interwencje i obserwacje behawioralne hipotezy i teorie, rozumienie koncepcyjne.

Edukacja ↔ zmiany fizycznej struktury mózgu, więc edukacja to rzeźbienie plastycznych mózgow!

Tworzymy połączenia w mózgu, ścieżki aktywacji „żłobione” są przez doświadczenie i nauczycieli.

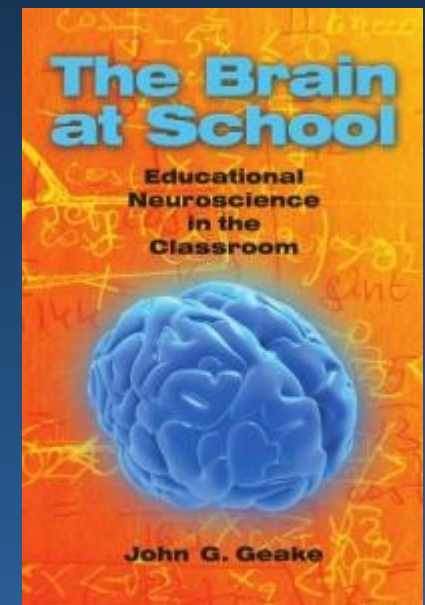
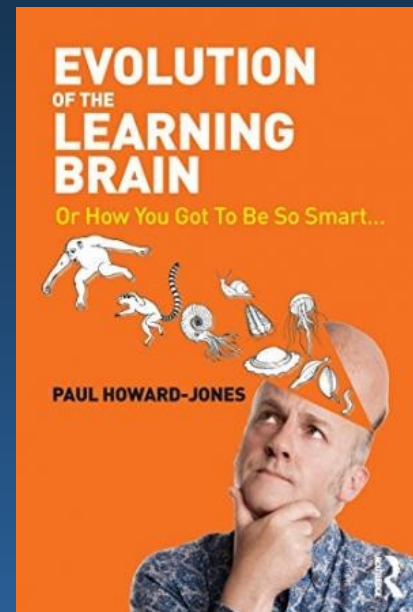
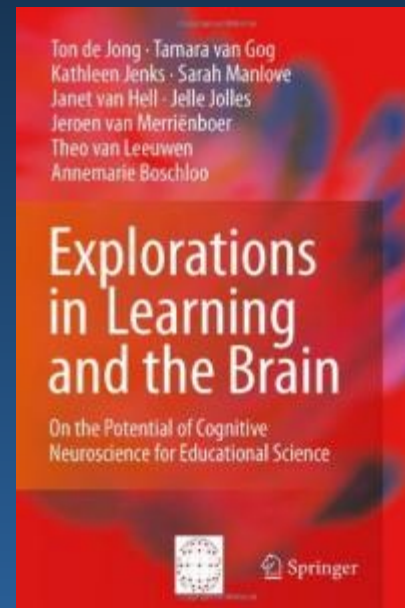
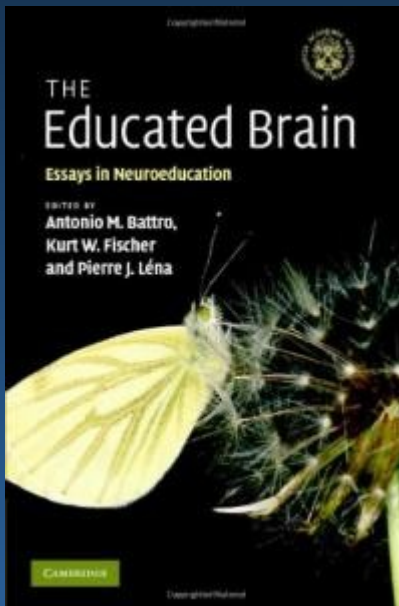
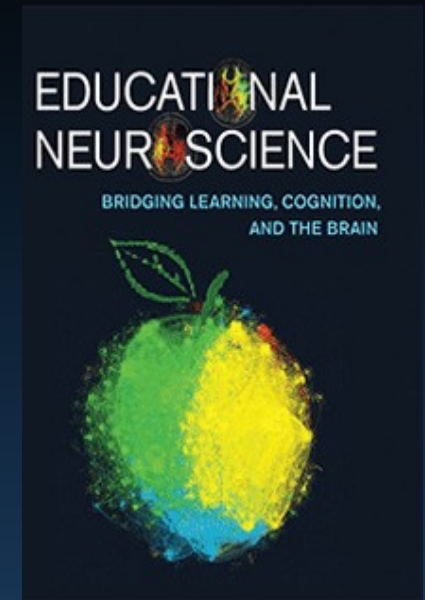
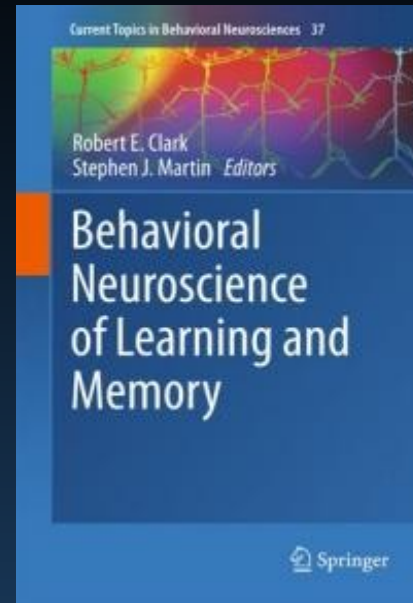
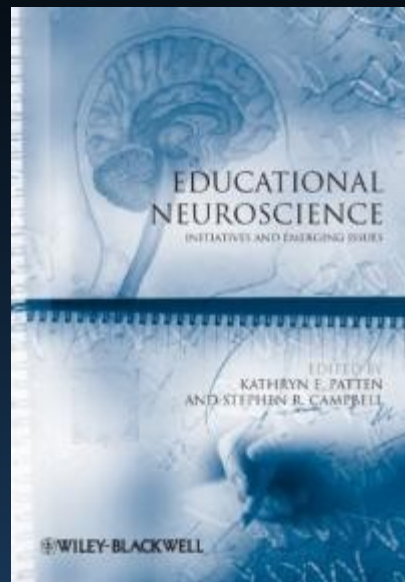
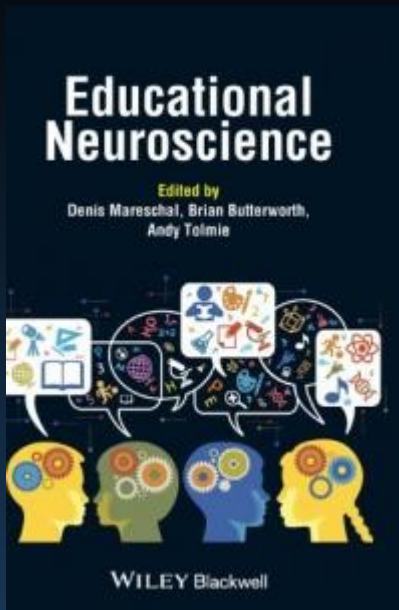
**Neuroedukacja:** interdyscyplinarna dziedzina łącząca wyniki neuronauki, psychologii i pedagogiki w celu opracowania bardziej efektywnych metod nauczania. Nowa?

Neurolog Henry Herbert Donaldson (1857–1938), napisał „The Growth of the Brain: A Study of the Nervous System in Relation to Education” w 1895 roku!

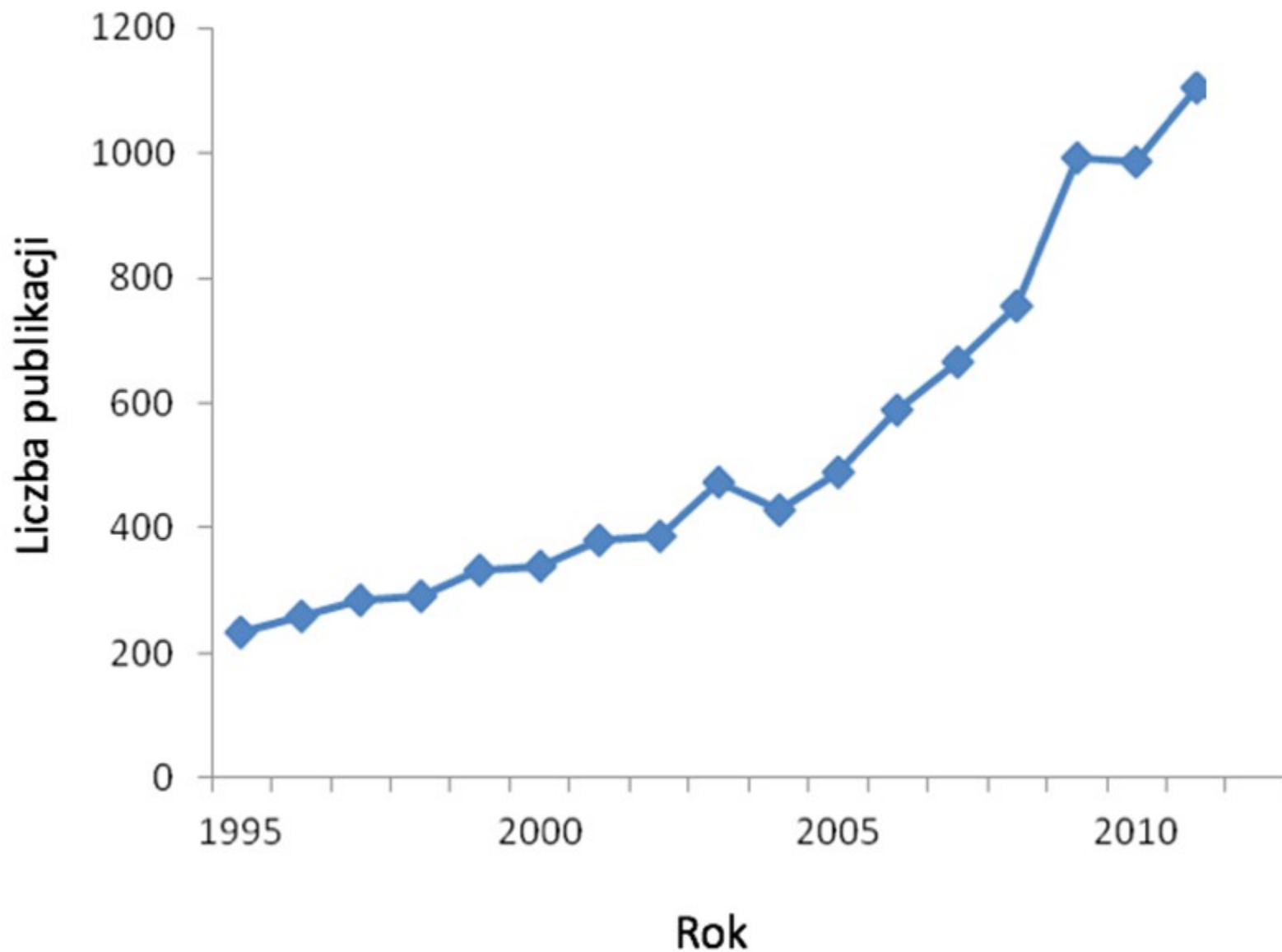
Pedagog Reuben Post Halleck (1859–1936), napisał „The Education of the Central Nervous System: A Study of Foundations, Especially of Sensory and Motor Training” w 1896!



# Neuro-edukacja: książki



# Publikacje o neuro-edukacji



# Geny i mózgi

Genetyka jest w modzie, wszystko przypisujemy genom, ale pomyślmy ...

Nicień



19.000 genów  
302 neurony  
7800 synaps

Człowiek



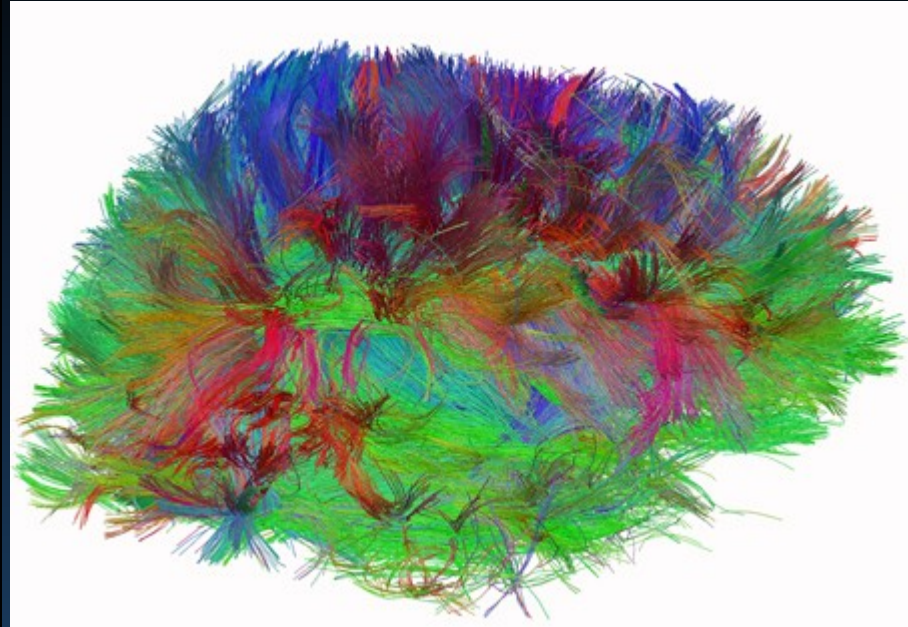
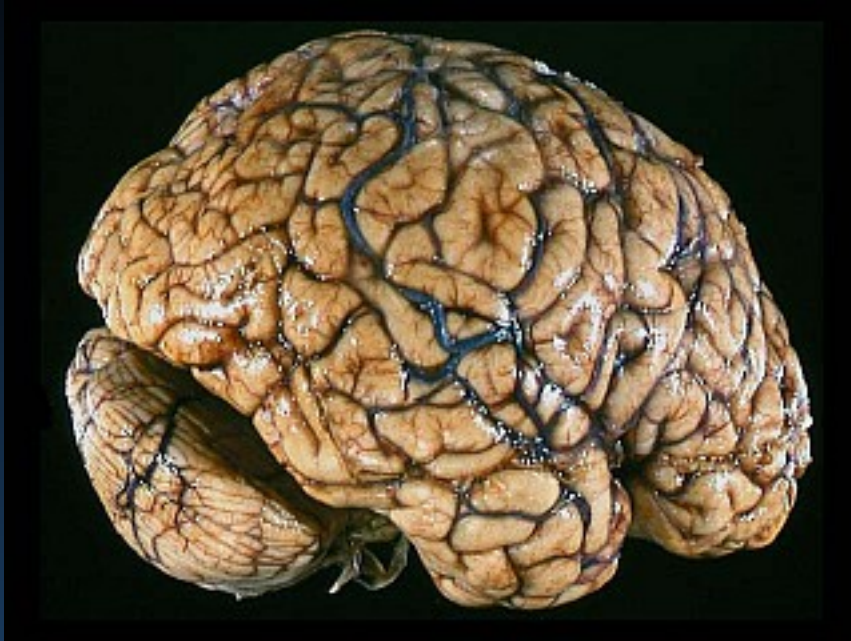
~ 19.000 genów, ~ 50 bln komórek  
~ 100 mld neuronów ( $10^{11}$ )  
~  $10^{14}$  –  $10^{15}$  synaps, 100 bln km DNA

Wniosek: Genetyka nie wystarczy by zrozumieć ludzki mózg.

Nie będzie cudownej pigułki regulującej procesy na poziomie molekuł ...  
ale terapia genetyczna usunie niektóre wady rozwojowe.



# Neuronalny determinizm



**Genetyczny determinizm** narzuca ogólne ograniczenia na sprawność mózgów, lepiej mieć liczne „zmarszczki” i „włochate” mózgi, niż gładkie i uczesane.

Aktywność neuronalna (neurodynamika) określa co nam przychodzi do głowy.

**Neuronalny determinizm:** mózg ukształtowany pod wpływem doświadczeń życiowych, wychowania, edukacji, tworzy skojarzenia, myśli, emocje.

Geny  $\Leftrightarrow$  mózg i ciało  $\Leftrightarrow$  środowisko  $\Leftrightarrow$  geny

**Metafora: umysł to cień aktywności mózgu.**

# Fenomika neurokognitywna

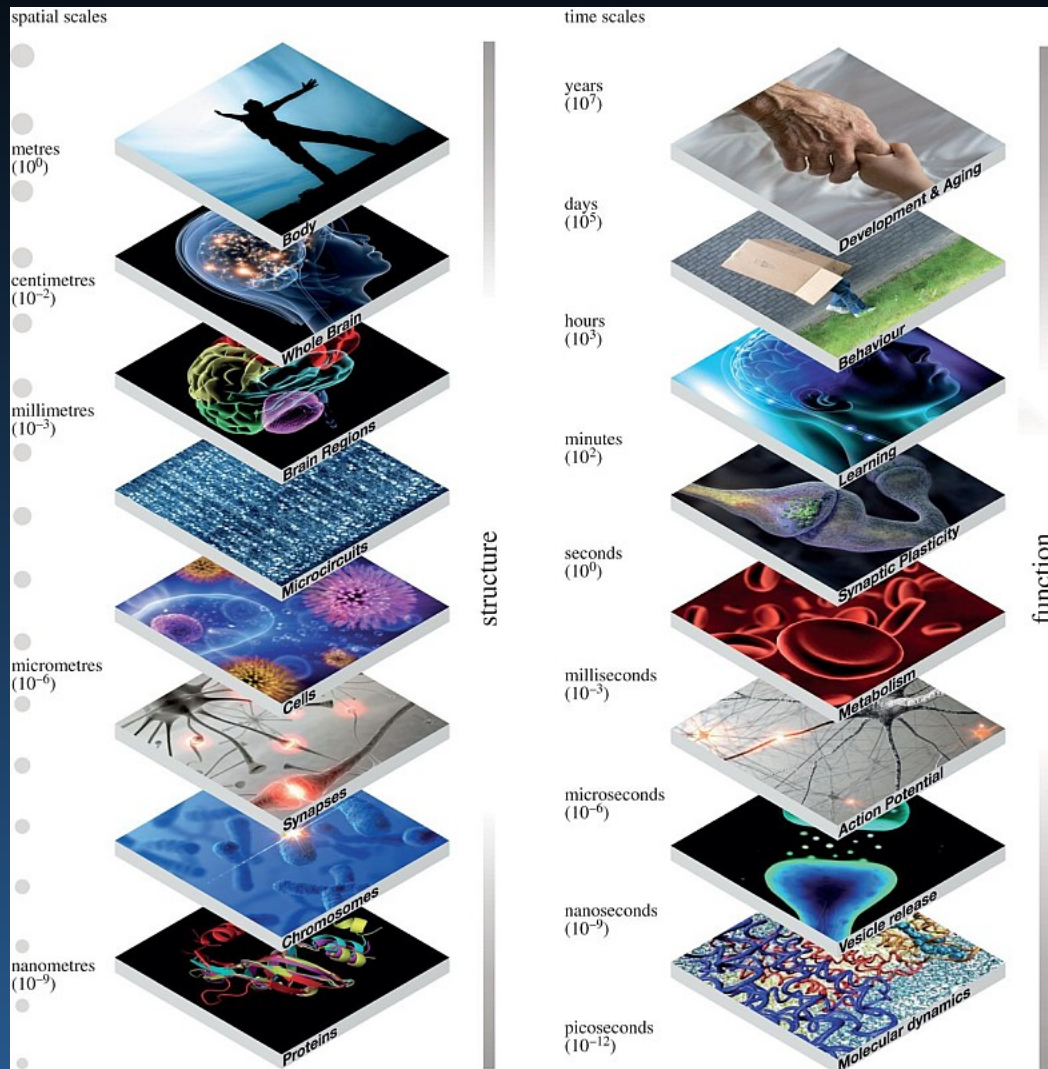
2008: Powstało

## Consortium for Neuropsychiatric Phenomics

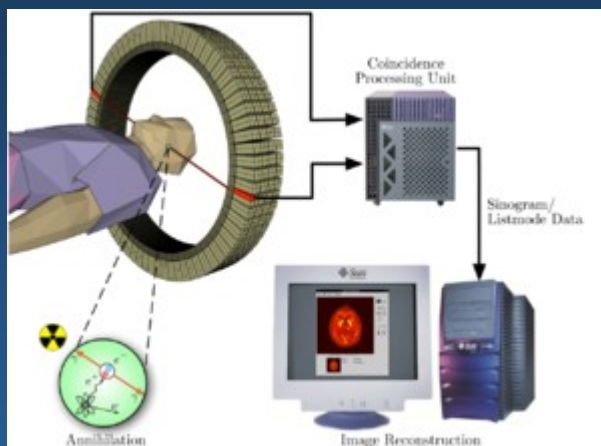
Od genów do sieci neuronów do mechanizmów poznawczych i do ich zaburzeń, wpływ na uczenie mają procesy na wielu poziomach

Skale czasowe od pikosekund do lat, przestrzenne od nanometrów do metra – RDOC NIMH.

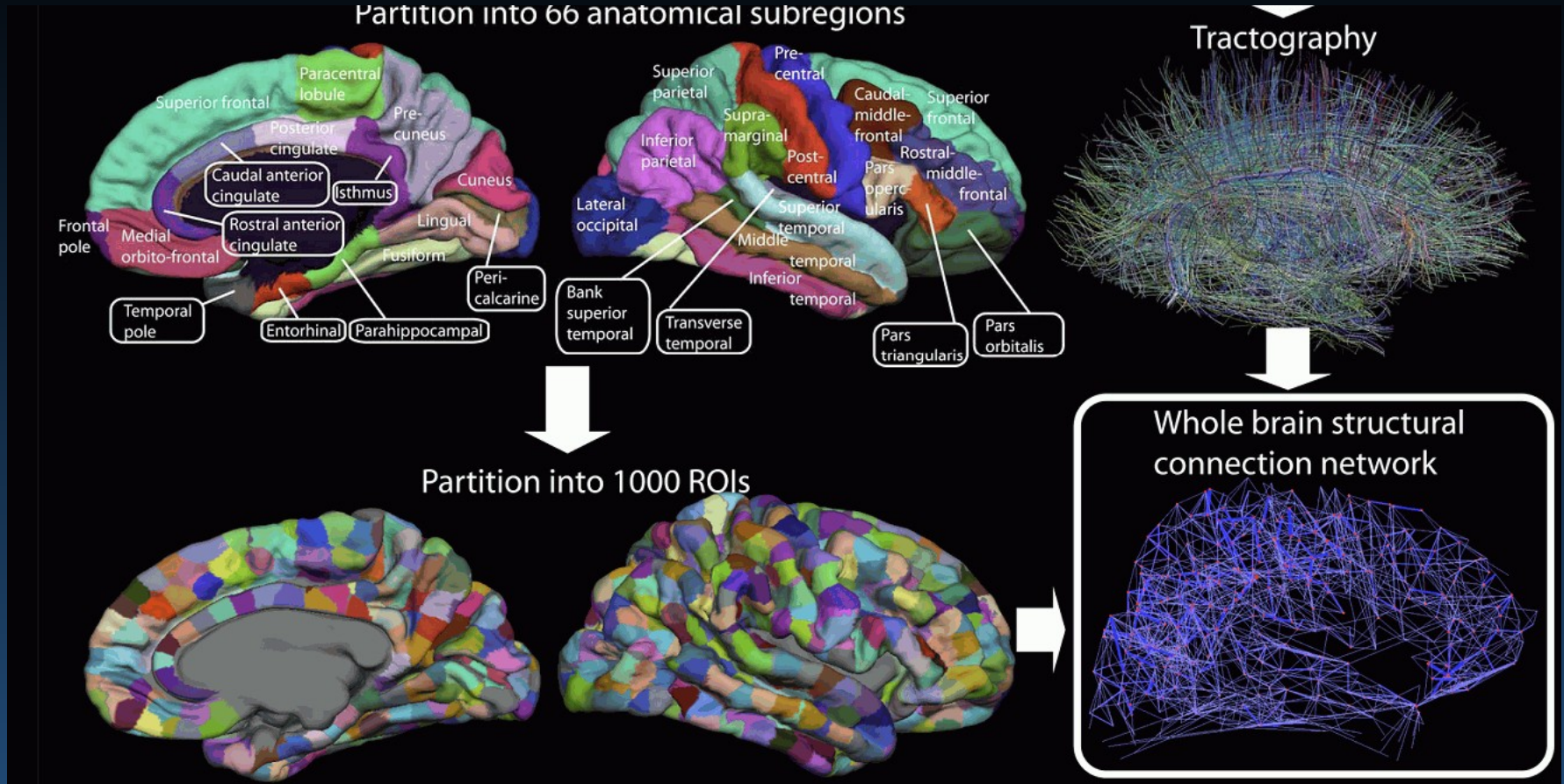
Sieci neuronowe są na poziomie środkowym, można ją badać metodami neuroobrazowania jak i za pomocą symulacji sieci neuronowych.



# Neuro-zabawki



# Konektom



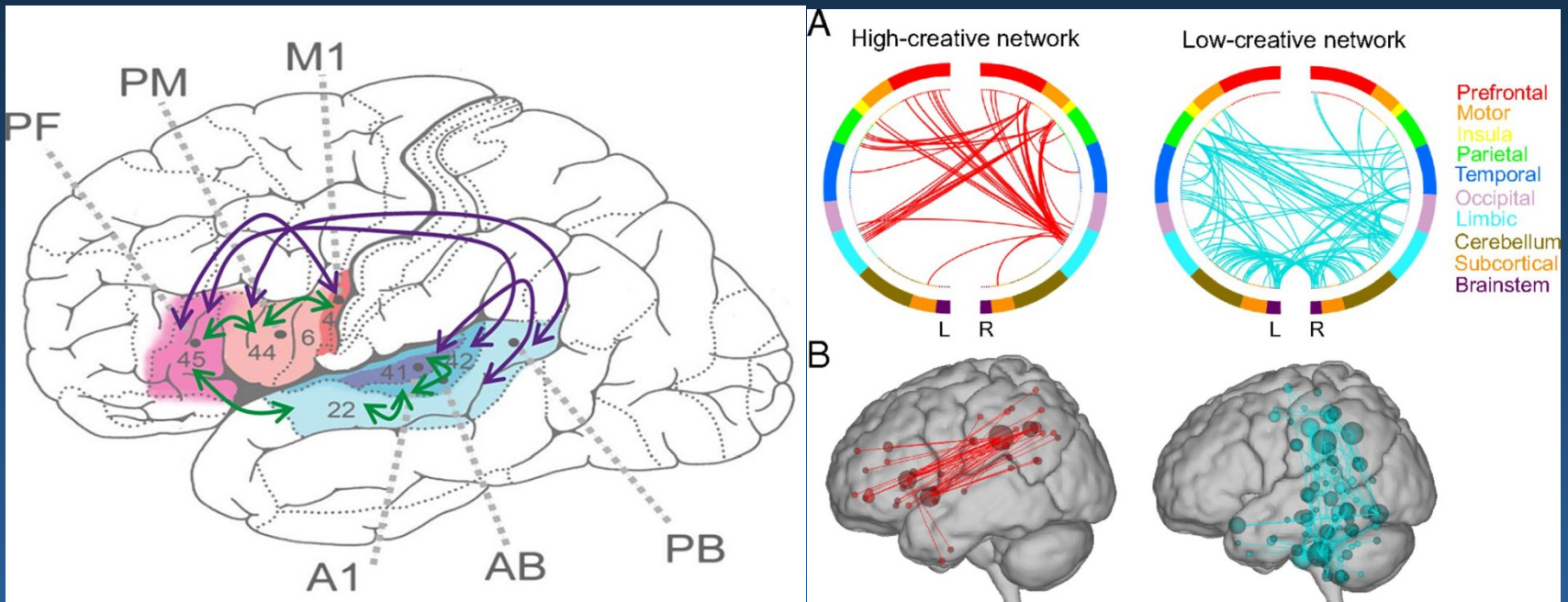
Atlasy mózgu dzielą korę i wnętrze mózgu na 100-250 obszarów (ROI).  
Cel: 1000 regionów, których aktywacja pozwoli scharakteryzować stan mózgu.  
Słowo, pojęcie  $\Leftrightarrow$  spójny kwazistabilny stan pobudzenia całego mózgu.  
Sens  $\Leftrightarrow$  relacje z innymi pojęciami, synonimami, antonimami.

# Rozwój inteligencji

W okresie niemowlęcym najpierw ruch i związane z nim wrażenia wpływają na organizację przepływu informacji przez mózg.

Zanim dziecko zacznie wymawiać słowa pokazuje swoje intencje gestami.

[The Developing Human Connectome Project](#) bada rozwój konektomów, sieci połączeń w mózgu w okresie pre-natalnym, w 20 - 44 tygodniu ciąży. Badania za pomocą neuroobrazowania (fMRI, EEG), obserwacji ruchów i reakcji płodu, genetyki. Neurony wysyłają impulsy dopiero w 24 tygodniu ciąży.



# Nauki o uczeniu się

# Nauki o uczeniu się



**Dwa mało nakrywające się kierunki badań:**

**Edukacyjne neuronauki (educational neuroscience)**, lub neuroedukacja – badanie uczenia się na poziomie zmian procesów zachodzących w mózgu.

**Nauki o uczeniu się (learning sciences)** bliższe są tradycyjnej pedagogice, używając metod psychologii kognitywnej, społecznej i kulturowej badają wpływ różnych innowacyjnych procedur, nowych metodologii, projektowania nowych środowisk uczenia się, ale są też łączone z neuronaukami.

**Ograniczenia badań neuroobrazowych:** Badania  $\Leftrightarrow$  Edukacja.

- Badania robione na zwierzętach nie zawsze dają się uogólnić;
- proste eksperymenty, zwłaszcza w skanerach fMRI to nie to samo co sytuacja w szkole, gdy powstaje złożona sieć powiązań między pojęciami;
- zwykle eksperymenty trwają stosunkowo krótko a edukacja trwa wiele lat;
- trudno uwzględnić rolę emocji, środowiska, czynników społecznych.

Podstawowe mechanizmy uczenia związane są z neuroplastycznością.

# Mity i błędne intuicje



Umysł niezależny od mózgu? Astrologia, czary, opętanie?

Referat: Nadmiar magii, brak rozumu.

Neuro/psycho-mity w edukacji (artykuł [Szczygieł/Cipora, Edukacja 2014](#)):

- Używamy 10% swojego mózgu (ok. 25% nauczycieli w Polsce w 2014 roku, w 5 krajach – UK, Holandia, Turcja, Grecja, Chiny to ok 50%).
- Dominacja lewej („inżynierskiej”) lub prawej półkuli mózgu (artystycznej) wyjaśnia różnice uzdolnień uczniów (60-80%).
- „Gimnastyka mózgu” Paula Dennisona, kinezyjologia edukacyjna.
- **Programowanie neurolingwistyczne** (NLP), struktogramy i wiele innych ...
- Dostosowanie się do preferowanego stylu uczenia się – wzrokowego, słuchowego, kinestetycznego – wpływa na skuteczność uczenia (>80%).

Lista **błędów poznawczych** jest długa, stąd wiara w mity i teorie spiskowe.



# Kursy edukacyjnych neuronauk

Żeby szukać trzeba najpierw znaleźć ... po to właśnie jest edukacja.

Future Learn: Orientation to Educational Neuroscience (Australia)

<https://www.futurelearn.com/courses/educational-neuroscience/>



Zespół IlluminatED Open Educational Resources (Finlandia) opracował darmowy kurs jak też narzędzia wspomagające (slajdy, wideo, artykuły, ankiety, quizy) dla nauczycieli.

<http://www.illuminatedproject.eu/>

<https://www.facebook.com/illuminatedproject/>



Kurs internetowy (MOOC) na temat neuronauki w edukacji

1. Wstęp do nauki o uczeniu się.
2. Badania **empiryczne** i fakty na temat uczenia się.
3. Dobre nawyki wspomagające uczenie się.

# 9 najważniejszych wniosków

Louis Cozolino, *The social neuroscience of education* (2013).

„Bliskie, wspierające relacje stymulują pozytywne emocje, neuroplastyczność i uczenie się”. Najważniejsze wnioski z neuronauk dla nauczania:

1. Mózg jest organem społecznym.
2. Wczesne uczenie się jest bardzo ważne.
3. Dwa mózgi/funkcje (lewy-prawy, seryjny-równoległy; D. Kahneman, Pułapki myślenia. O myśleniu szybkim i wolnym).
4. Świadome i nieświadome przetwarzanie informacji zachodzi z różnymi prędkościami, często jednocześnie.
5. Umysł, mózg i ciało są ze sobą nierozzerwalnie połączone.
6. Mózg potrafi się koncentrować tylko na krótko, potrzebuje powtórzeń i stymulacji wielu zmysłów, aby się zmienić (trwale nauczyć).
7. Strach i stres utrudniają naukę.
8. Prymat zewnętrznych projekcji - analizujemy innych, ale nie siebie.
9. Uczeniu się pomaga podkreślanie szerszego obrazu, a następnie umożliwienie uczniom samodzielnego odkrywania szczegółów.

# Raport „Neuronauka i Edukacja”

Paul Howard-Jones (tłumacz. K. Cipora, A. Bereś, E. Międzobrodzka, J. Płachetka). Neuronauka i Edukacja: Przegląd Interwencji i Podejść Edukacyjnych Korzystających z Osiągnięć Neuronauki. Pełen Raport i Podsumowanie. [Education endowment foundation.](#)



18 tematów, podsumowanie odkryć naukowych i zastosowania edukacyjne tych odkryć. [Cały raport dostępny jest tutaj.](#)

**Najlepiej przebadane**

# Fizjologia



Potrzeby fizjologiczne są kluczowe: **sen, odżywianie i nawodnienie.**

Sen: odpoczynek, konsolidację pamięci długotrwałej.

Proces konsolidacji rozpoczyna się od wtórnego aktywowania neuronalnej reprezentacji (wspomnień) zachodzącego w fazie snu wolnofalowego (SWS, ang. slow-wave sleep). Późniejsze rozpoczynanie lekcji w szkołach, w których normalnie nauka rozpoczyna się wcześnie rano, poprawia frekwencję i poziom zaangażowania na lekcjach.

Kofeina to jedyna legalna substancja psychoaktywna spożywana przez dzieci. Butelka coli 500 ml z automatu ma tyle kofeiny co filiżanka kawy.

Kofeina, czynniki psychospołeczne i biologiczne mogą zakłócać cykl snu, zwłaszcza u młodzieży.

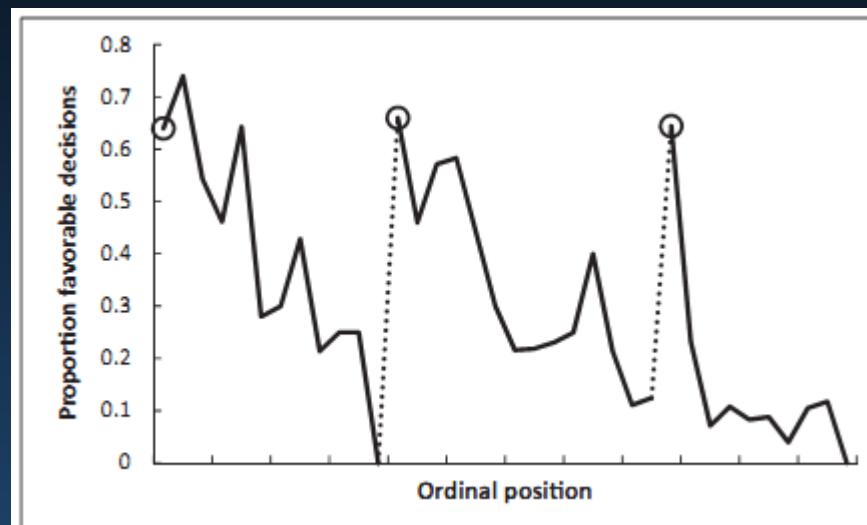
Nawet nieznaczne odwodnienie może powodować obniżenie sprawności poznawczej. Badania potwierdzają szkodliwe skutki na sprawność myślenia.

Cukier: duża ilość upośledza procesy poznawcze.

# Kiedy uczyć?

Na obrazku częstość przyznawania przepustki w zależności od pory dnia dla 1000 decyzji 8 sędziów izraelskich z 20-letnim stażem pracy (S. Danziger 2011).

- Kiedy szansa na przepustkę spada do zera trzeba nakarmić sędziego!



Samoregulacja i podejmowanie decyzji wymaga **energii, tlenu i glukozy**.

Trudno jest myśleć po ciężkim wysiłku umysłowym, pojawiają się stereotypy.

Ważny jest też czas prezentacji – chronobiologia pokazuje, że nie wszyscy potrafią się uczyć o tej samej porze (skowronki i sowy).

Dzieci nie powinny zaczynać nauki rano, muszą się wyspać.

# Nieświadome wybory

Czy racjonalnie podejmowane decyzje są najlepsze?

- Większość myślenia odbywa się nieświadomie;
- kreatywność wymaga nieświadomego myślenia;
- podejmowane decyzje są często bardziej zadawalające, szczególnie w skomplikowanych przypadkach.



Monti, Osherson, Logic, Language and the Brain. *Brain Research* 2011: rola języka w rozumowaniu dedukcyjnym jest ograniczona do początkowego etapu w którym werbalnie prezentowana informacja ulega zakodowaniu w postaci niewerbalnych reprezentacji. Te reprezentacje są wykorzystywane przez operacje mentalne ale nie wykorzystują neuronalnych mechanizmów związanych z językiem. **Kontrowersyjne ...**

Dijksterhuis, Nordgren, Perspectives on Psych. Science

**Nijmegen Unconscious Lab**, Unconscious Thought Theory (UTT, 2006).

# Etapy uczenia

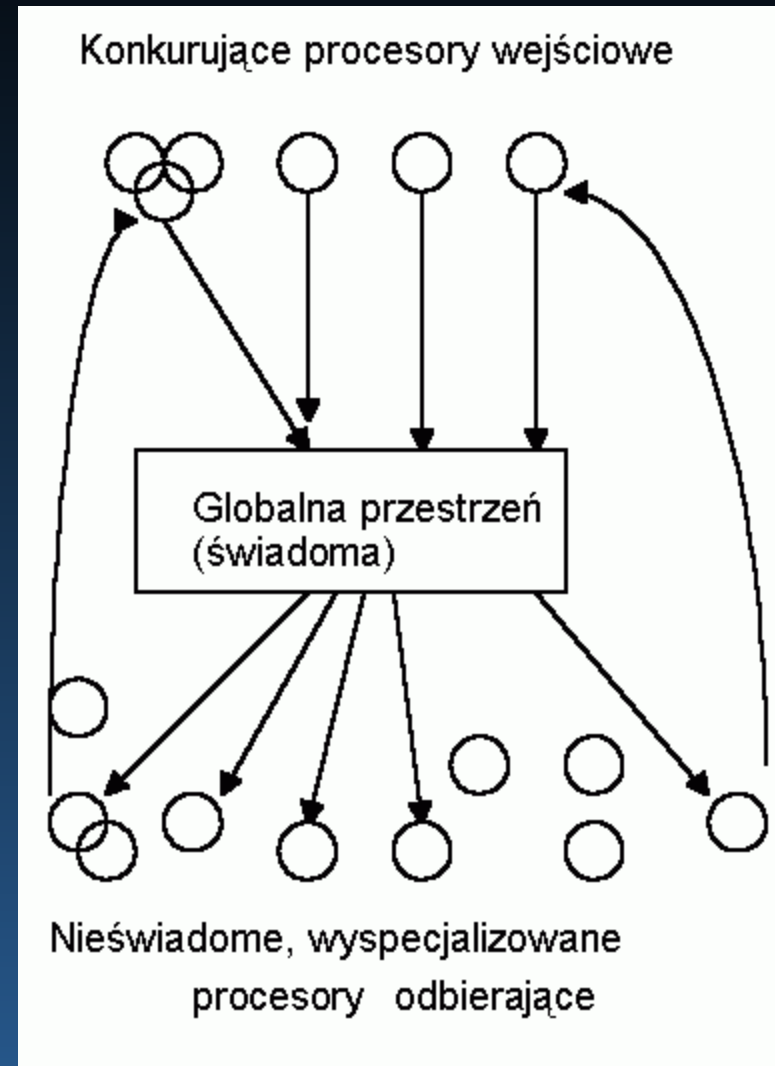
Rozwiązywanie problemu to triada:

- świadome postawienie zadania;
- nieświadome wykonanie obliczeń;
- świadome przedstawienie rozwiązania.

Nie musimy się szczególnie wysilać przy rozwiązywaniu problemów! **Wystarczy się skupić i oczekiwać na rozwiązanie.**

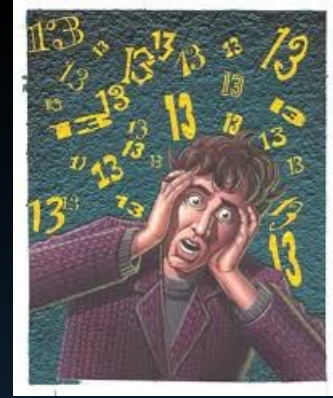
Sposób działania mózgu można podzielić na takie 3 etapy przy:

- szukaniu w pamięci;
- percepcji niejednoznacznych rysunków i rozpoznawaniu obiektów;
- planowaniu;
- rozwiązywaniu problemów;
- spontanicznym, twórczym działaniu;
- kontrolowaniu działania: intencja, nieświadome wykonanie i wynik).





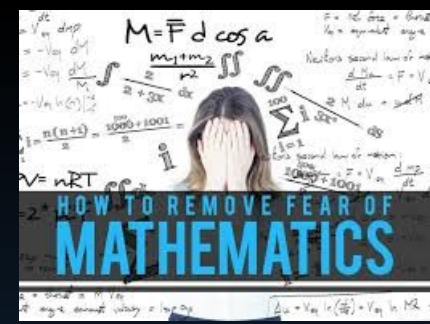
# Matematyka-lęki



Arytmofobia: liczby wyłączają niektóre mózgi ...

- Istnieją dowody na to, że 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.
- Lęk może zostać przeniesiony z nauczyciela na ucznia. 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.
- Sporo wyników badań świadczy o wpływie stresu na procesy uczenia się.
- Potencjalnie skuteczne interwencje?

# Matematyka-treningi



Czy zrozumienie lęku przed matematyką może doprowadzić do poprawy osiągnięć w matematyce?

Interwencja skupiona na kontrolowaniu negatywnych reakcji emocjonalnych poprawia wyniki w testach z matematyki.

Negatywny wpływ lęku przed matematyką na poziom wykonania testu u nastolatków można ograniczyć prosząc ich o opisanie odczuwanych emocji.

Pisanie na temat lęku może pomóc kontrolować negatywne emocje.

Zbadano w warunkach szkolnych 106 uczniów w wieku 14-15 lat. Na początku uczniowie oceniali poziom swojego lęku przed matematyką, a następnie losowo przydzielono ich do dwóch grup. Przez 10 minut, bezpośrednio przed testem z matematyki, jedna grupa pisała o swoim lęku związanym z matematyką, a druga grupa na temat niezwiązany z matematyką i testem. Wśród uczniów o wyższym lęku przed matematyką opisujących swoje lęki poziom wykonania testu był zbliżony do wyników grupy o niskim lęku.

# Matematyka-reprezentacja



Niesymboliczna i symboliczna reprezentacja liczb.

- Neuronauka pomogła odkryć znaczenie niesymbolicznej i symbolicznej reprezentacji wielkości liczbowych zarówno w najwcześniejszych jak i późnych etapach edukacji matematycznej.
- Dzieci muszą nauczyć się wiązać ze sobą te dwa rodzaje reprezentacji.
- W interwencjach mających na celu rozwijanie reprezentacji niesymbolicznych u dzieci uzyskano zróżnicowane wyniki.
- Powstały gry diagnostyczno-terapeutyczne, przydatne również dla osób cierpiących na dyskalkulię (np. [MathCognition Lab](#) na UMK).
- Niektóre gry mają wpływ treningu na reprezentacje symboliczne i transfer na inne umiejętności związane z posługiwaniem się liczbami.

Dowody na skuteczność w edukacji – średnie; zastosowania – średnie.

# Matematyka-gnozja palców

Gnozja palców to zdolność rozróżniania tylko na podstawie informacji dotykowej czy dotknięty został jeden czy dwa różne palce (to również test na synchronizację półkul).

U 8-latków używanie palców zwiększało aktywację w obszarach ciemieniowych związanych ze zmysłem numerycznym (HIPS, poziomy odcinek bruzdy śródciemieniowej).

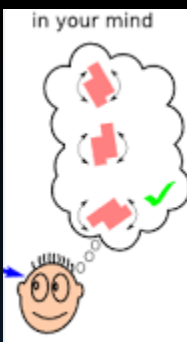
Badanie dzieci w wieku 6-12 lat sugeruje, że liczenie na palcach ma istotne znaczenie dla przejścia od reprezentacji niesymbolicznych („wyczucia wielkości”) do symbolicznego, dokładnego przetwarzania liczb.

Liczenie na palcach wydaje się być ważnym przykładem ucieleśnionego poznania, w którym procesy sensomotoryczne są podstawą rozwoju. Liczydła w tym pomagają.

Palce reprezentują ucieleśnione obiekty zaangażowane w szacowanie wielkości liczbowych, dużo pomyłek o 5 wynika z wykorzystania palców do reprezentowania pośrednich wyników obliczeń (i pominięcia jakiejś piątki).



# Matematyka-treningi wyobraźni



Trening wyobraźni, rotacji mentalnych (np. Tetris) może poprawić wyniki nauczania przedmiotów matematyczno-technicznych (STEM).

Trening spowodował poprawę u studentów, którzy mieli trudności w zakresie umiejętności przestrzennych; osiągnęli wyższe oceny z kursów technicznych, matematycznych i przedmiotów ścisłych, a postęp w nauce był u nich lepszy.

Pozytywny wpływ gier wideo na sprawność rotacji mentalnych i rola, którą te zdolności odgrywają dla osiągnięć w zakresie STEM, wydają się uzasadniać hipotezę, że granie w gry wideo (powszechnie dostępne i/lub specjalnie w tym celu stworzone) prowadzi do poprawy osiągnięć w zakresie STEM.

To nadal kontrowersyjny temat: nadal brak bezpośrednich dowodów na to, że gry wideo mogą prowadzić do poprawy osiągnięć w zakresie STEM poprzez poprawę sprawności rotacji mentalnych, chociaż jest to często spotykany pogląd.

# Logika i język

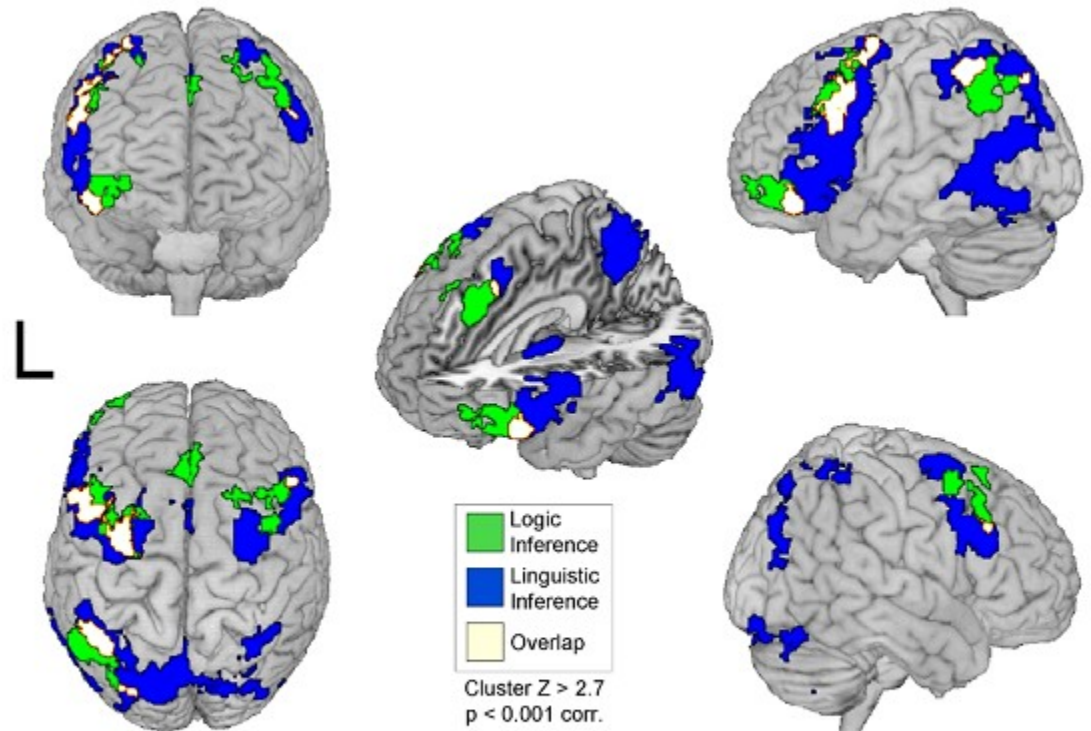
Rozumienie argumentów językowych i logicznych to różne funkcje mózgu, nie ma tu przeniesienia.

**Argumenty logiczne:**

jeśli zarówno X i Z to nie Y, lub jeśli Y to ani nie X ani nie Z.

**Arg. lingwistyczne:**

rzecz X, którą Y widział jak Z brał, lub Z był widziany przez Y biorąc X.



**Fig. 1. Inference minus grammar contrast.** Mean group activity for logic arguments (green/yellow) and linguistic arguments (blue/yellow).

M.M. Monti, L.M. Parsons, D.N. Osherson, The boundaries of language and thought: neural basis of inference making. PNAS 2009

# Czytanie



Jest wiele badań procesów związanych z umiejętnością czytania, zarówno w laboratoriach, jak i w kontekście szkolnym.

Stworzono bazujące na wynikach tych badań programy komputerowe.

- Na umiejętność płynnego czytania składa się wiele umiejętności cząstkowych.
- Dzieci uczą się czytać, przyporządkowując symbole (grafemy, czyli litery, cyfry i inne znaki) do odpowiednich dźwięków. **Ciche czytanie od 11-14 wieku!**
- Trzeba opanować umiejętność przekładania pisanych słów i zdań na dźwięki, poznać ich znaczenia, zrozumieć sens symboli.

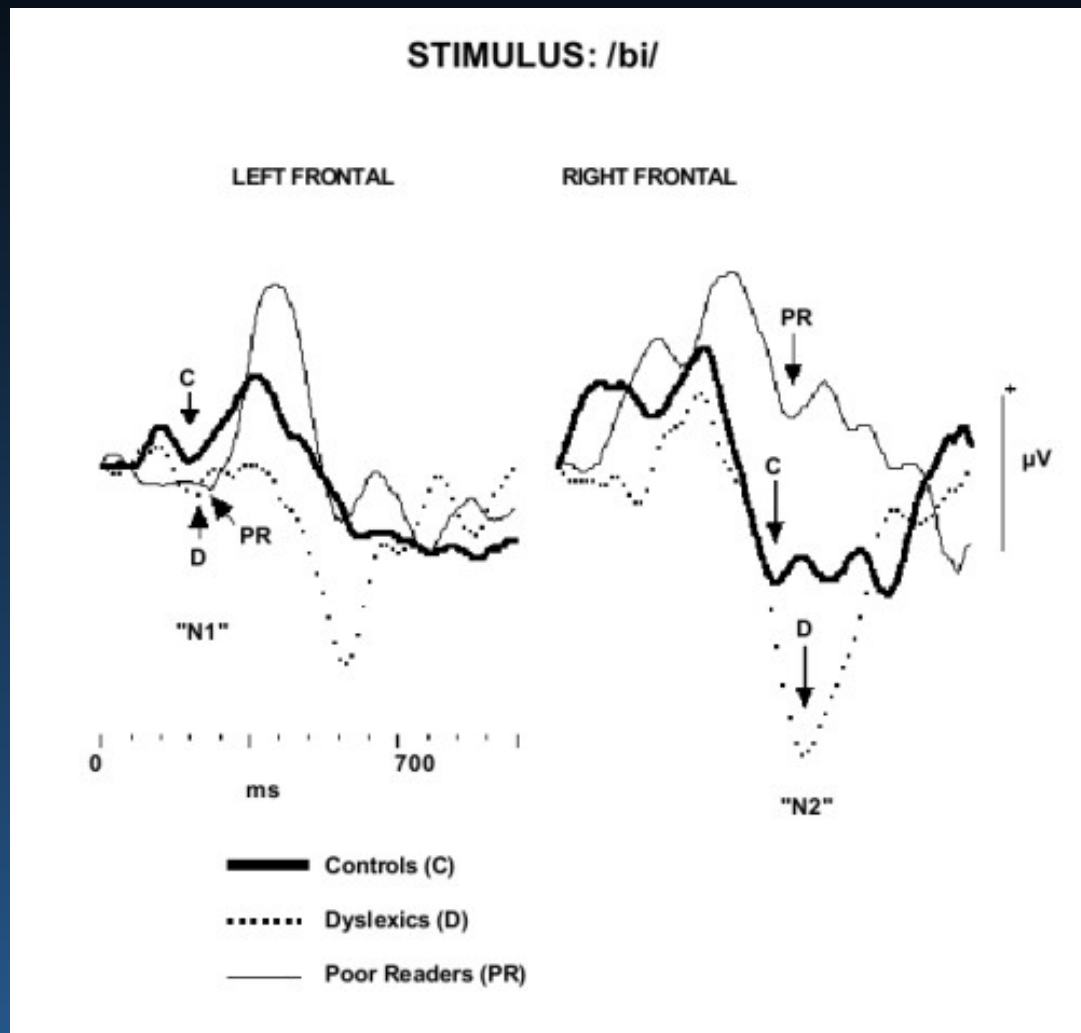
Treningi korzystnie wpływające na sprawność czytania:

- Treningi z wykorzystaniem komputera rozwijające **umiejętności fonologiczne** przynoszą poprawę u osób doświadczających trudności w nauce czytania.
- Wykazano skuteczność kilku **wielokomponentowych interwencji**, co może świadczyć o złożonym charakterze samego procesu czytania i konieczności indywidualizowania takich programów.

# ERP i czytanie

Badanie słuchowych potencjałów wywołanych (ERPs) już w drugim dniu po narodzinach pokazuje odmienne reakcje na sylaby i inne dźwięki. Analiza pozwoliła przewidzieć, czy 8 lat później dziecko będzie czytało normalnie (19/24), słabo (7/7) lub czy będzie dyslektyczne (13/17).

D. L. Molfese (Center for Research in Early Childhood Education, Uni. Louisville).





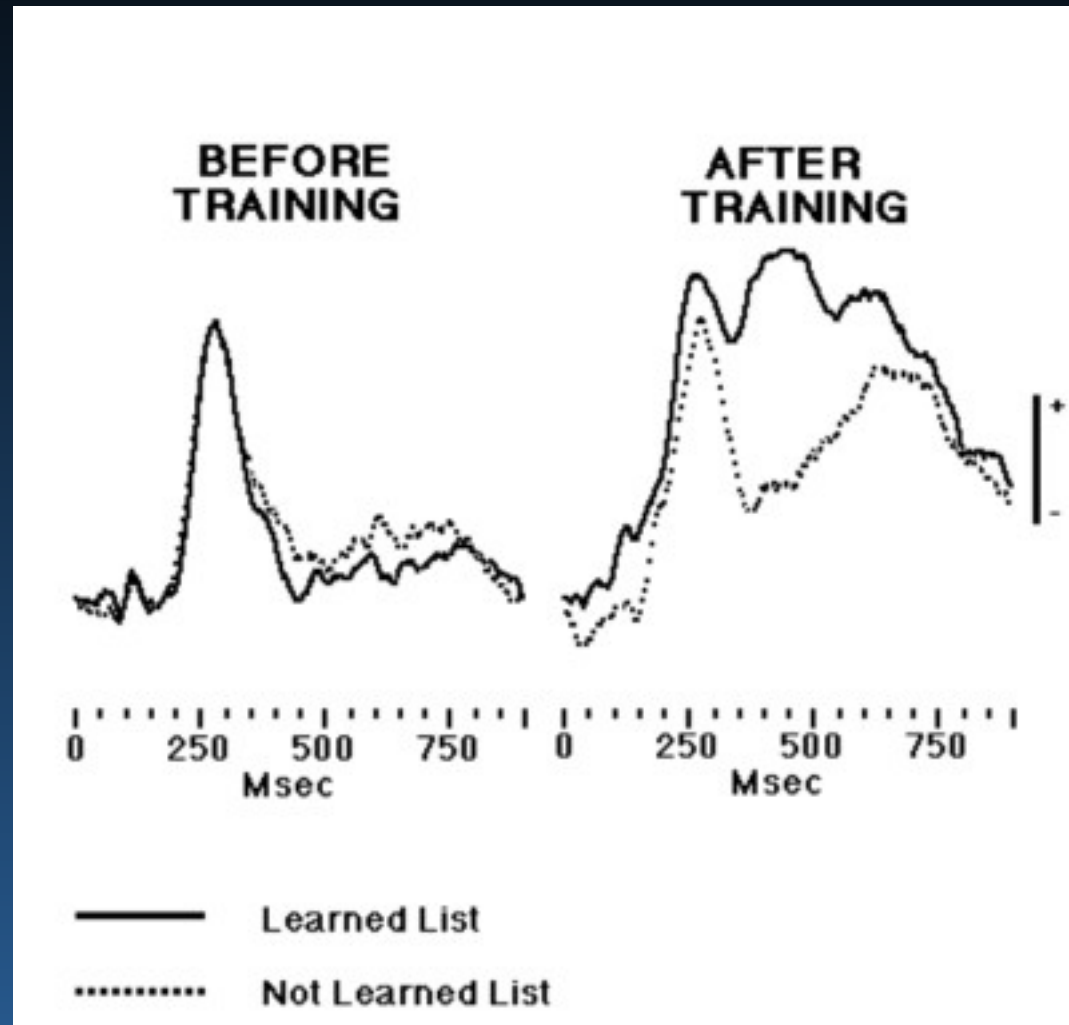
# Wzrokowe ERP i nauka

Uczniowie szkoły średniej uczyli się nazw krajów skojarzonych z konturami na mapie.

Po 15 minutach sprawdzono czy utworzyły się w ich mózгах skojarzenia pomiędzy nazwami a kształtami, wykorzystując wzrokowe potencjały wywołane (ERP), czyli reakcje mózgu na pokazywane kształty/nazwy.

Wyraźnie widać, kto się nauczył a komu się nie udało.

D.L. Molfese (2008)



# Ćwiczenia fizyczne



Przeprowadzono szereg badań nad wpływem ćwiczeń fizycznych na osiągnięcia szkolne. Ich wyniki są jednak zróżnicowane.

Nadal nie zidentyfikowano specyficznych czynników związanych z ćwiczeniami fizycznymi wpływających na poziom osiągnięć akademickich.

- **Ćwiczenia aerobowe** zwiększają **efektywność działania** sieci neuronalnych, czołowych i ciemieniowych obszarów kory istotnych dla procesów uczenia się, sprawności czołowo-ciemieniowych sieci kontrolujących uwagę.
- Ćwiczenia fizyczne zwiększają **przepływ krwi do mózgu** i wzmacniają połączenia neuronalne w hipokampie, kluczowym obszarze odpowiedzialnym za tworzenie śladów pamięciowych i ich konsolidację. **Objętość hipokampa** jest związana ze stopniem **aktywności fizycznej**, poprawą pamięci przestrzennej i zwiększeniem poziomu **BDNF** we krwi.
- U osób dorosłych pokazano, że ćwiczenia fizyczne prowadzą do **wzrostu objętości** różnych obszarów istoty białej i istoty szarej mózgu (mielinizacja, synapto i neurogeneza).

# Biologia => psychologia

## Szkoła w Naperville

Zmiany w jednej ze szkół publicznych w Illinois, USA.

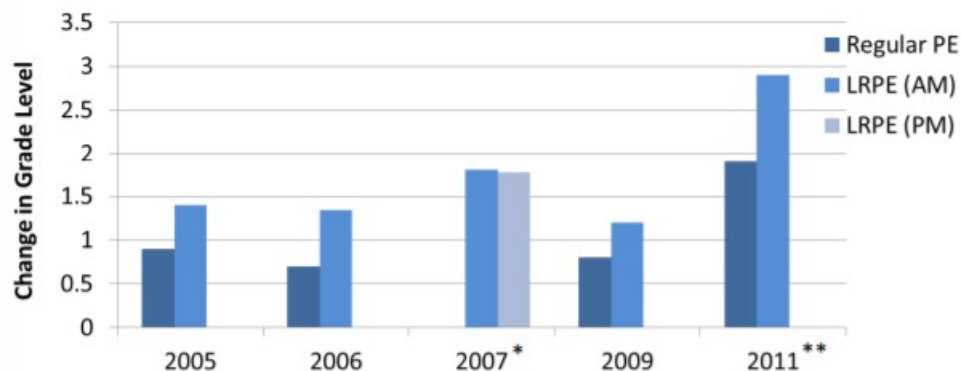
Dodano 45 minut/dziennie ćwiczeń fizycznych, program od 2005 roku realizował Paul Zientarski.

Program PE4LIFE wykorzystał maszyny do ćwiczeń fitness, taniec, rowery do ćwiczeń, zegarki z pomiarem pulsu i zwykłe ćwiczenia gimnastyczne.

Wyniki w matematyce i czytaniu znacznie się poprawiły.

Sprawny mózg = dobre ukrwienie, transport tlenu i glukozy.

Figure 1. P.E. and Literacy Improvement

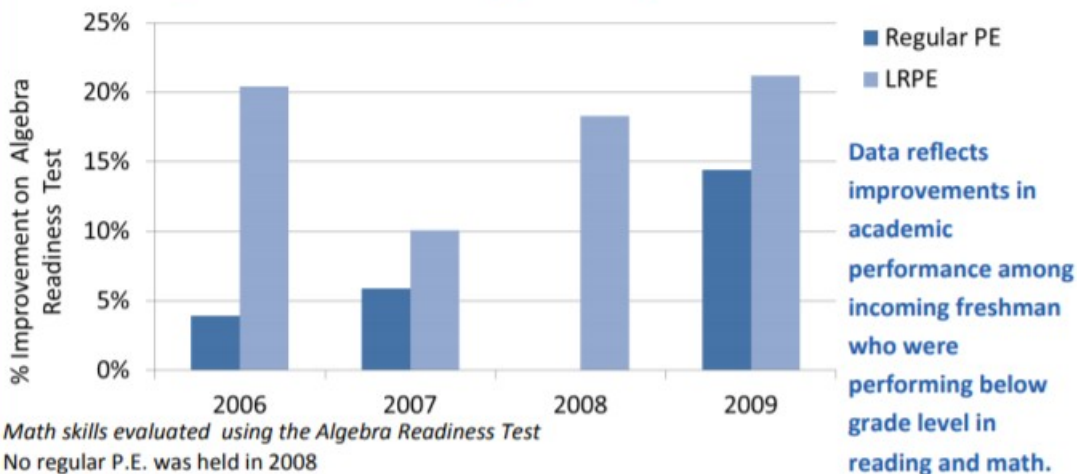


Reading level evaluated using the *Nelson-Denny Reading Test*

\*No students permitted to opt-out of LRPE in 2007

\*\* 2011 data includes students from Naperville North High School

Figure 2. P.E. and Algebra Improvement



Math skills evaluated using the *Algebra Readiness Test*

No regular P.E. was held in 2008

# Uczenie się z przerwami



Wielokrotne przyswajanie wiedzy z przerwami pomiędzy sesjami uczenia się to dobra strategia, zalecana w literaturze psychologicznej od czasu odkrycia przez Ebbinghaus (1885). Mamy jasne wytyczne w kwestii optymalnego zastosowania tej strategii, w tym idealnej długości okresów uczenia się i przerw między nimi.

- **Robienie przerw** między kolejnymi sesjami uczenia pozwala uzyskać **lepsze efekty** niż uczenie się w formie **skumulowanej**.
- Efekt przerwy obserwowano we wszystkich grupach wiekowych, od niemowląt do dorosłych.
- Zastosowanie efektu przerwy w edukacji nie jest niestety powszechne.
- **Efekt przerwy wynika** z lepszego działania powtarzania podtrzymującego, **dodatkowego myślenia** o materiale (widać to w aktywacji mózgu).
- Zdecydowana większość badań dotyczyła pamięci, ale efekt przerwy może mieć wpływ na wiele innych rodzajów uczenia się. Np. studenci uczący się **składni języka obcego** po 14-dniowej przerwie osiągnęli lepsze wyniki testu przeprowadzonego 60 dni później, niż po zastosowaniu 3-dniowej przerwy.

# Sprawdzanie wiedzy

Wiele badań pokazało, że sprawdzenie wiedzy z danego materiału pozytywnie wpływa na pamiętanie jego treści na końcowym teście, lepiej niż kolejne czytanie tego samego materiału.

- Sprawdzanie wiedzy spowalnia stopień zapominania materiału nawet po upływie długiego czasu.
- Efekt jest silny dla szerokiego zakresu materiału i w różnych kontekstach, np.. rozumienia przez dorosłych wyjaśnień naukowych przedstawianych w multimedialnej formie, testów i quizów dla 13-14-latków.
- Sprawdzanie wiedzy może poprawiać pamięć dotyczącą przyswojonego materiału, a także rozwijać inne rodzaje uczenia się.
- Kilka procesów neuronalnych może przyczynić się do efektów wynikających ze sprawdzania wiedzy; nie jest znany główny proces za nie odpowiedzialny.

Korzystanie z “metody przyciskowej” (ang. **clicker technique**) może skrócić czas nauki oraz poprawić wyniki. Pokazano wyraźną zależność pomiędzy korzystaniem z klikera a “efektem sprawdzania wiedzy”.



**Słabiej uzasadnione**

# Geny



Geny mają bardzo duży wpływ na działanie i strukturę mózgu.

Genetyka może odgrywać ważną rolę w wyjaśnianiu różnic indywidualnych.

**Nadzieje:** programy nauczania dostosowane do indywidualnego profilu genetycznego? Niektóre **markery genetyczne** już teraz mają wartość praktyczną, dostarczając wiedzy na temat efektów interwencji edukacyjnych, ale korelacje profili genetycznych i osiągnięć edukacyjnych są bardzo słabe.

**Przykład:** gen receptora dopaminowego typu D4 (DRD4 7-repeat). Dzieci z tym wariantem genu mogą być bardziej podatne na wpływ rodziców oraz oddziaływań edukacyjnych i środowiskowych niż pozostałe dzieci.

Na poziomie grupy nie widać efektów, ale w podgrupie dzieci „podatnych” tak.

Być może u dzieci bardziej podatne efekty kształcenia w znacznym stopniu zależą od jakości i nauczania, oraz dzieci mniej wrażliwe, które łatwiej dostosowują się do środowiska nauczania, a jakość tego środowiska nie ma decydującego wpływu na osiągnięte przez nie wyniki. .

# Ucieleśnione poznanie

METAFORY  
UCIELEŚNIONE  
IV LETNIA SZKOŁA KOGNITYWISTYKI  
KAZIMIERZ ŚWIĄTY 1-12 MARZEC 2018  
LSK.KUL.PL



Neuronauka pomogła w zrozumieniu, że ciało odgrywa kluczową rolę w rozwoju procesów poznawczych.

Teoria ucieleśnionego poznania dostarcza podstaw teoretycznych dla zrozumienia jak działanie wpływa na uczenie się. **Neurony lustrzane** pomagają zrozumieć mechanizmy wpływające na procesy uczenia.

Efekt odtworzenia: łatwiej zapamiętać nazwy czynności obserwowanych, niż tylko opisywanych.

Lepiej pamiętamy słowa nabywane wraz z gestami, częściej stosowane były w zadaniach wymagających transferu wiedzy do innego kontekstu, co sugeruje lepszą dostępność tych słów w zasobach pamięciowych.



# Trening funkcji wykonawczych



**Funkcje wykonawcze** - umiejętności poznawcze pozwalające na kontrolowanie i samoregulację zachowania, kontrola uwagi - można trenować zarówno u osób dorosłych jak i u dzieci.

Słabe funkcje wykonawcze utrudniają uczenie się.

Tego typu interwencje mają bardzo duży potencjał pod względem praktycznych zastosowań w edukacji, ale nie wszystkie badania udało się zreplicować.

Efekty treningu pod względem poprawy sprawności funkcji wykonawczych są obiecujące. Jednak nadal brakuje solidnych dowodów, pokazujących transfer efektów treningu na osiągnięcia szkolne / akademickie.

Ostatnie badania nie pozwalają na wyciągnięcie jednoznacznych wniosków.

Dowody na skuteczność w edukacji – średnie; zastosowania – raczej odległe.

# Grywalizacja

Inicjatywy mające na celu rozwój i praktyczne zastosowanie gier edukacyjnych mają naukowe uzasadnienie.

**Grywalizacja** (gamifikacja) wykorzystuje granie by motywować i angażować ludzi do podejmowania wspólnych działań, pobudzać do nauki.

Gry dostarczają nieprzewidywalnych wzmocnień według szybko zmieniających się rozkładów, co stymuluje mózgowy układ nagrody.

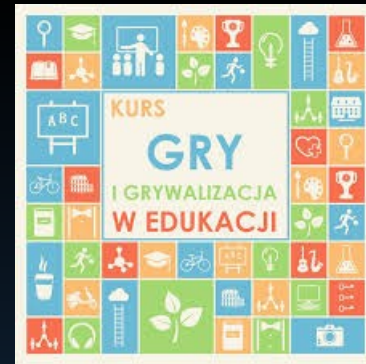
Reakcja mózgowego układu nagrody może pozytywnie wpływać na tempo uczenia się, stąd rozwój gier, które mają wspomagać uczenie się.

Na aktywność układu nagrody wpływa wielkość i rodzaj nagrody oraz szereg czynników związanych z kontekstem.

Wiele gier terapeutycznych przeznaczonych jest dla osób cierpiących na specyficzne zaburzenia rozwojowe.

Brakuje kontrolowanych porównań gier z innymi technikami nauczania.

Dowody na skuteczność w edukacji – średnie; zastosowania – średnie.



# Kreatywność

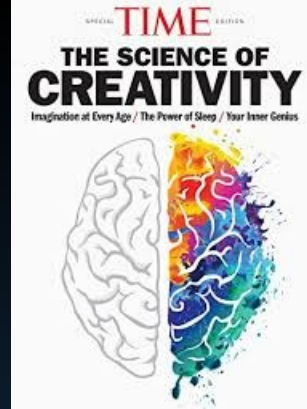
Złożone procesy leżące u podłoża kreatywności są intensywnie badane. Są dwa etapy: proces generacji nowych pomysłów i proces ewaluacji, umożliwiający ich ocenę/rozpoznanie.

Generowanie pomysłów wymaga szerszego zakresu uwagi, większość idei jest odrzucana. Ewaluacja wymaga skoncentrowanej uwagi. Różnice indywidualne w tym zakresie można wyjaśnić poprzez spoczynkowy stan uwagi.

Wpływ dodatkowych bodźców (szum, dźwięki) sugeruje, że mogą zwiększyć kreatywność poprzez zwiększanie aktywności neuronalnej w obszarach związanych z twórczym wysiłkiem. Są tu jednak różne kontrowersje.

Dzięki neuronauce możemy zrozumieć strategie, które mogą sprzyjać kreatywności, w szczególności wspomaganie za pomocą technologii. Nie podjęto jednak jeszcze prób stworzenia nowych, możliwych do zastosowania w szkole strategii opartych na wynikach badań kreatywności.

Dowody na skuteczność w edukacji – średnie; zastosowania – odległe.



# Neurofeedback i neuromodulacja

**Neurofeedback** pozwala wpływać na stan własnego mózgu dzięki postrzeganiu jego aktywności. Początkowo stosowany był głównie jako technika relaksacyjna, ale obecnie ma bardzo wiele zastosowań.

Udowodniono korzystny wpływ tej metody na kreatywność, chociaż nadal nie do końca poznane są mechanizmy tego wpływu.

Technologia staje się coraz tańsza i bardziej mobilna. Jej użyteczność sprawdzono w nauczaniu muzyki.

Dowody na skuteczność w edukacji – średnie; zastosowania – odległe.

**Neuromodulacja**, czyli bezpośrednia stymulacja neuronów zwiększająca neuroplastyczność, możliwa jest za pomocą prądu o niskim napięciu (przezczaszkowa stymulacja elektryczna, TES) lub impulsów magnetycznych (TMS). Pozytywny wpływ stymulacji na procesy uczenia się może być interesujące z perspektywy edukacji, ale nie potrafimy ocenić ryzyka związanego z tego rodzaju interwencją.

Wykorzystanie TES w szkole jest na razie mało prawdopodobne.

# Neurofeedback i kreatywność

Złożone zadania wymagają współpracy wszystkich obszarów mózgu, jak można wzmocnić ich synchronizację?

John H. Gruzelier (Imperial College), SAN President



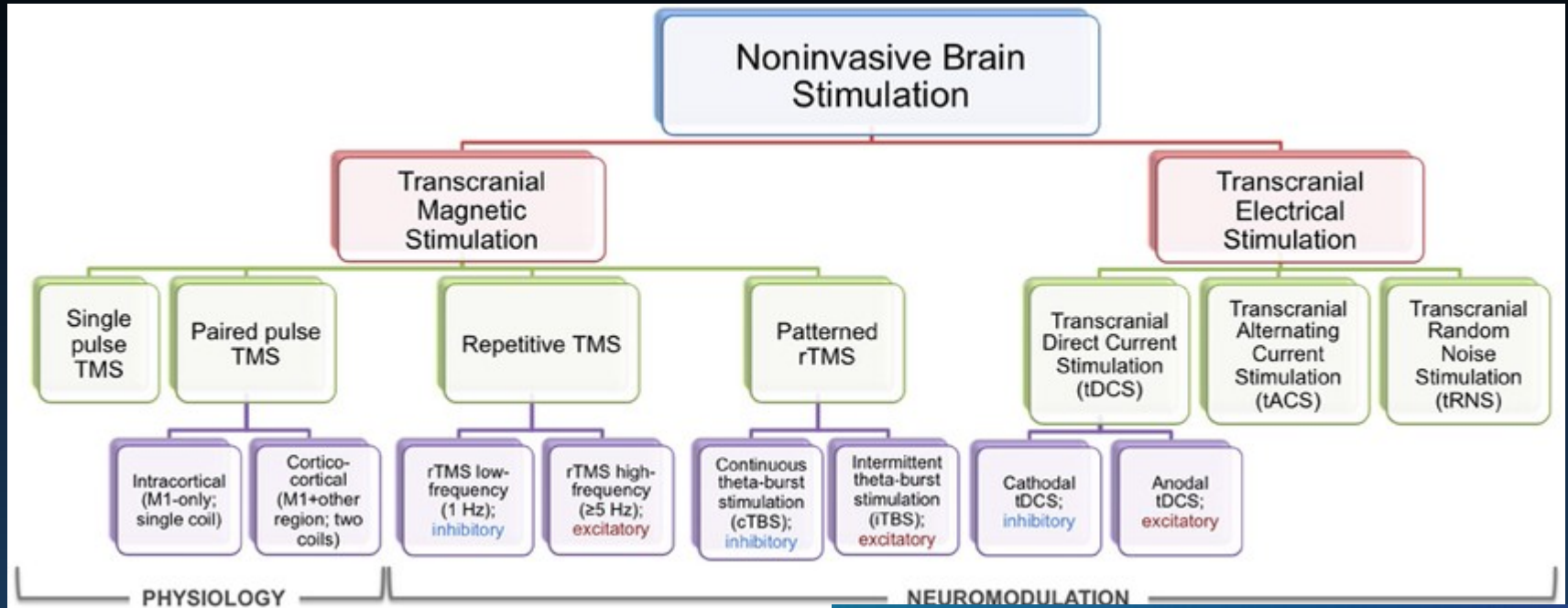
$\alpha$ – $\theta$  neurofeedback dało „znaczącą poprawę poziomu wykonania” przez studentów akademii muzycznej i akademii tańca w Londynie.

Neurofeedback i biofeedback oparty na zmienności rytmu serca wpływa na poprawę wyników na różne sposoby. Neurofeedback pomaga synchronizować rytmy i ruchy, HRV ma wpływ na ogólny poziom techniczny wykonania.

Zwiększyła się muzykalność śpiewaków i instrumentalistów już po 10 sesjach treningu  $\theta/\alpha$  w ciągu dwóch miesięcy.

Oceniano kreatywność improwizacji – muzyka i taniec wymagają precyzyjnej synchronizacji wszystkich obszarów mózgu.

# Stymulacja mózgu



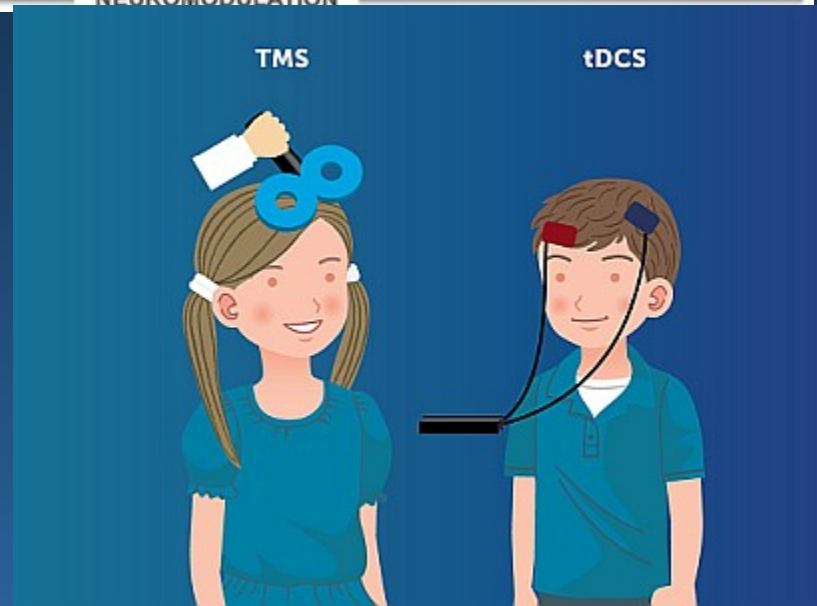
ECT – Electroconvulsive Therapy

VNS – Stymulacja nerwu błędnego

Stymulacja ultradźwiękami i laserem.

Stymulacja impulsami mikrofal.

Pobudzanie kory pomaga utrzymać uwagę bez wysiłku.



# rTMS i zespół savanta

TMS jako stymulacja kreatywności?

Allan W. Snyder et al. (Centre for the Mind, The University of Sydney), Savant-like skills exposed in normal people by suppressing the left fronto-temporal lobe. *Journal of Integrative Neuroscience*, 2003

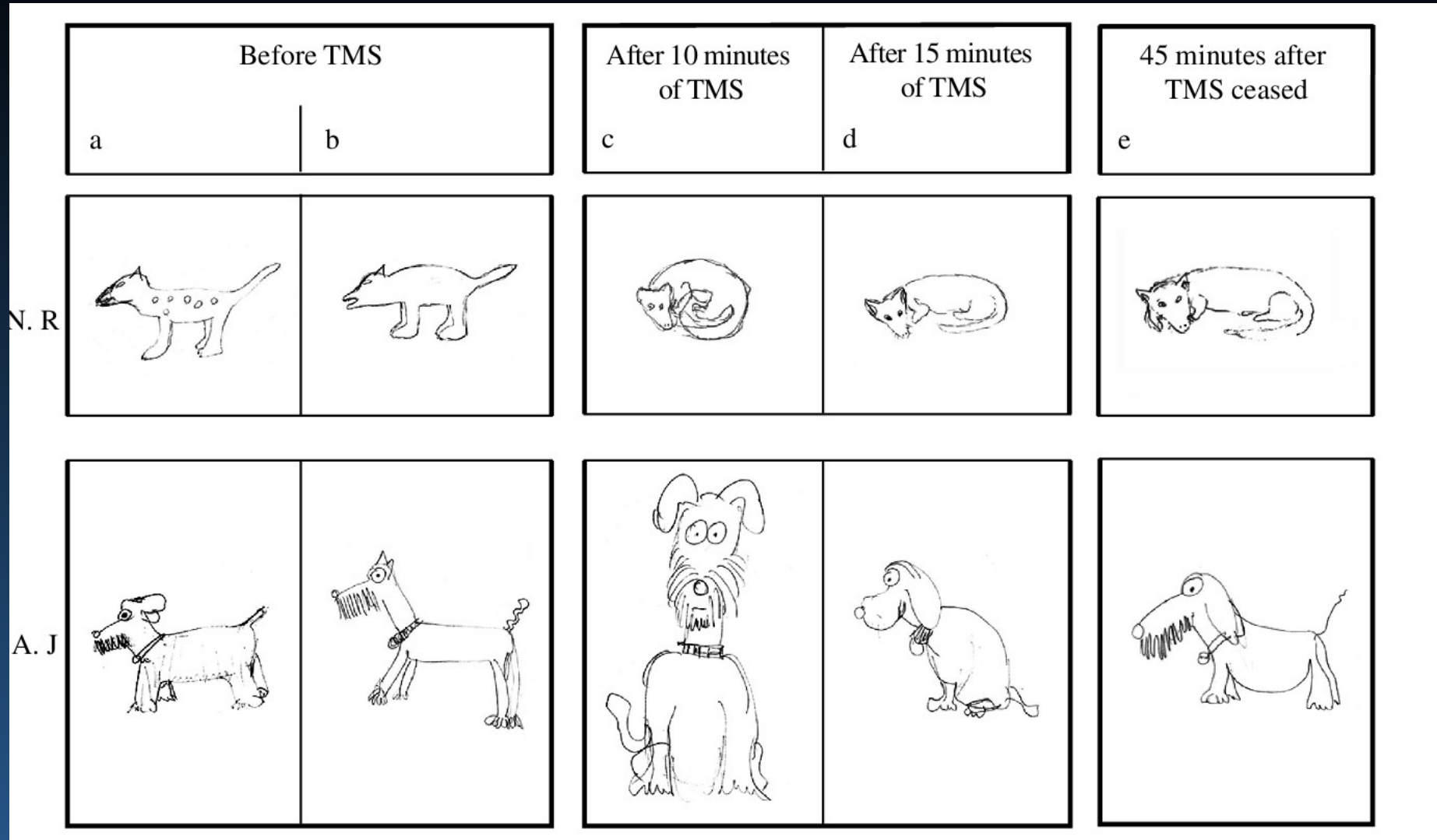
R.P. Chi, A.W. Snyder, Facilitate Insight by Non-Invasive Brain Stimulation, *PLoS One* 2011

Niektóre upośledzone umysłowo osoby wykazują nadzwyczajne zdolności do zapamiętywania, liczenia, rysowania, czy muzyki – zespół savanta.

Czy można zamienić zdrowego człowieka w takiego Savanta? Silne pole magnetyczne (3 T) o niskiej częstotliwości przyłożone do lewego płata skroniowo-czołowego Pomogło lepiej rysować 4 z 11 uczestników eksperymentów. Efekt utrzymuje się przez pewien czas po stymulacji. Zauważono też wpływ na uwagę wzrokową i inne funkcje.



# rTMS i zespół savanta



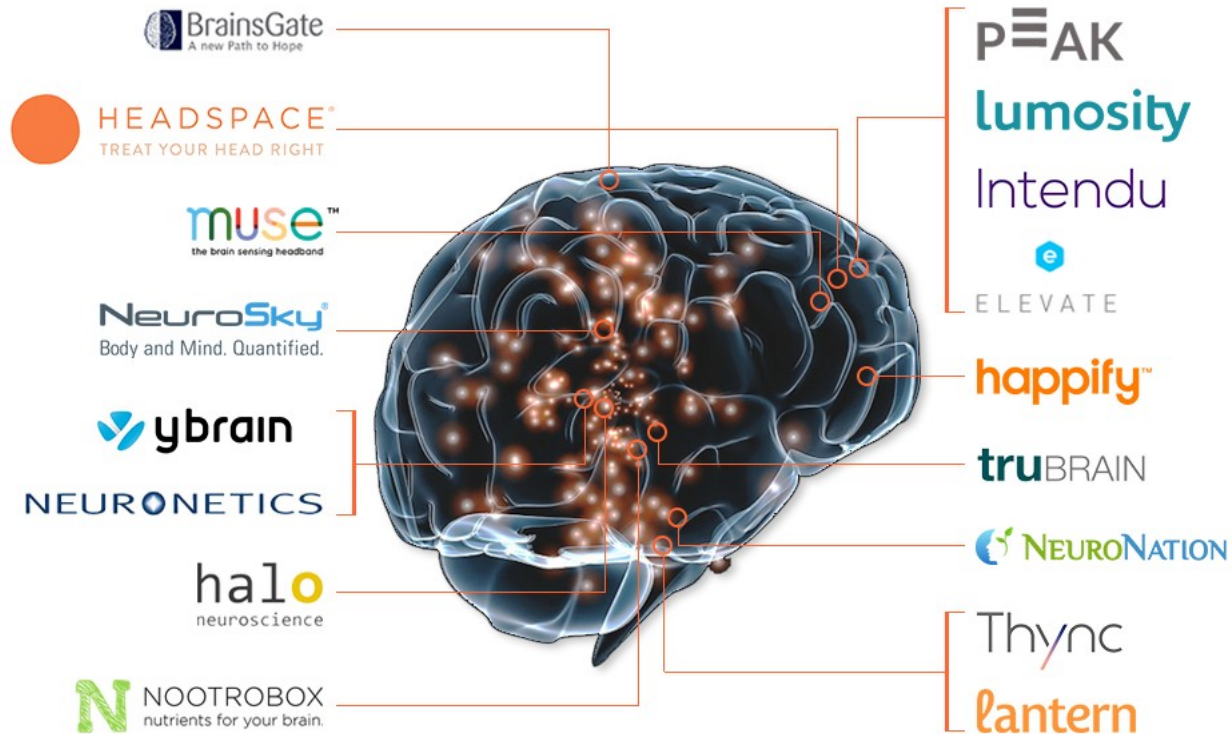
Rysunki po sesji TMS są nieco bardziej interesujące, pobudzenie obszarów zmysłowych lub wyhamowanie aktywacji językowych?



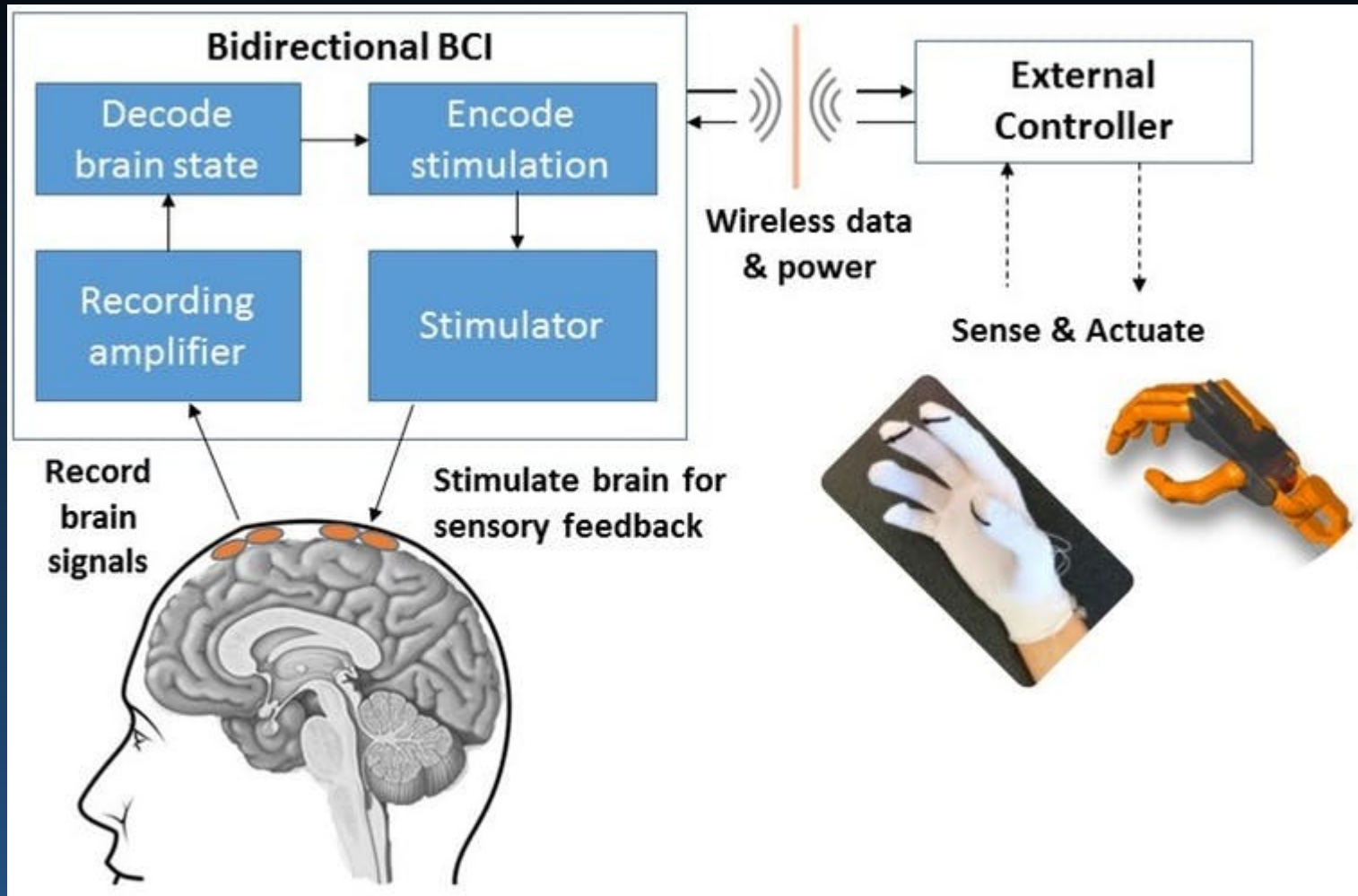
Inżynieria mózgu?

# Poprawianie mózgów

## BOOSTING THE BRAIN: 17 Startups to Watch

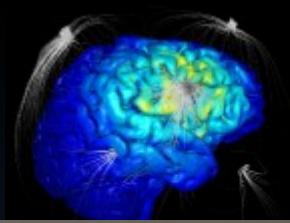


# BCBI: Mózg-Komputer-Mózg



BCI + stymulacja mózgu = BCBI – zamknięta pętla, dzięki której mózg zaczyna się przebudowywać. Ciało można zastąpić sygnałami w Wirtualnej Rzeczywistości.

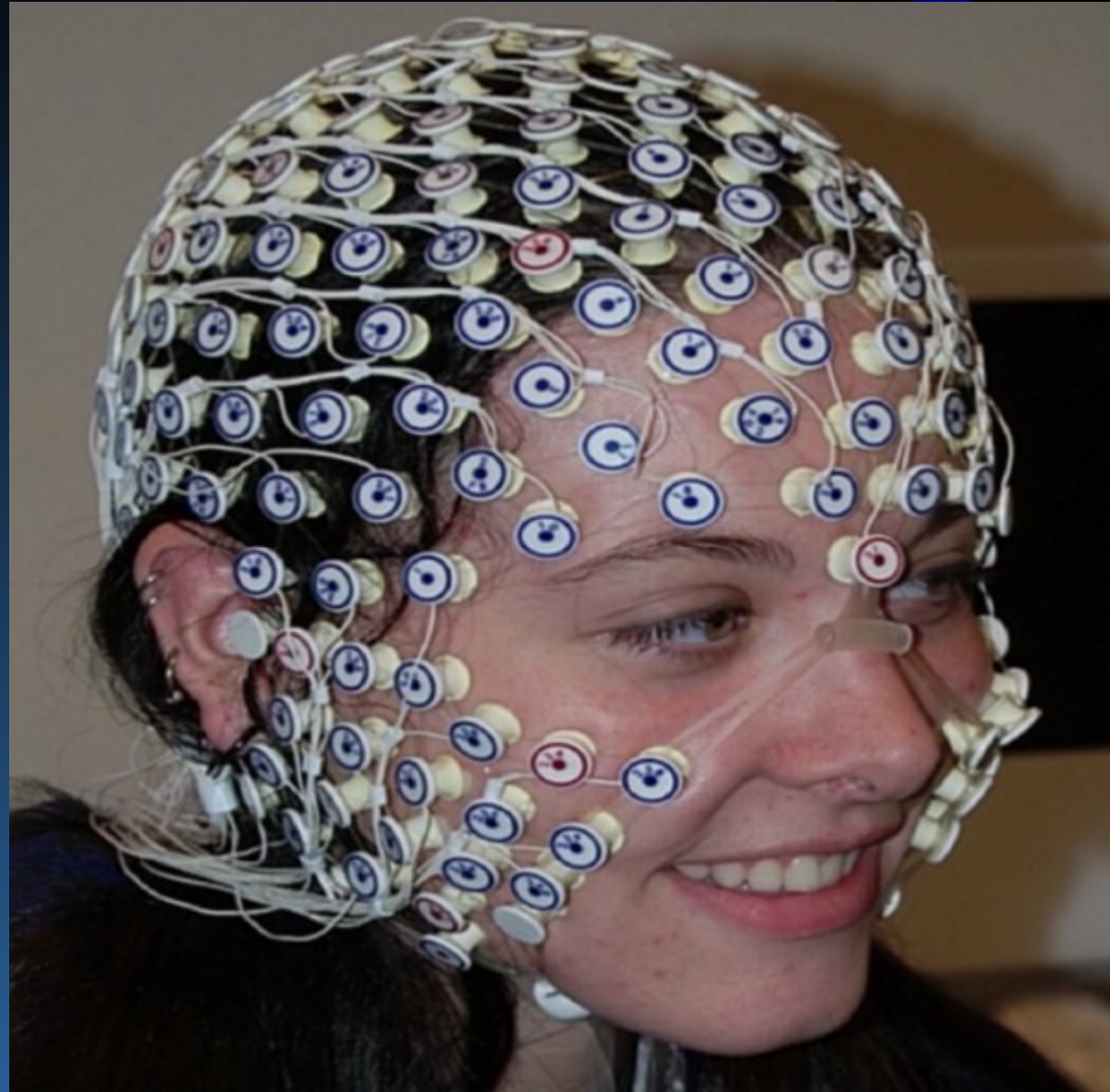
# HD EEG/DCS?



EEG + DCS  
wielokanałowe.

Dzięki temu można  
będzie analizować  
aktywność mózgu i go  
stymulować indukując  
zmiany neuroplastyczne.

Możliwa będzie terapia  
chronicznego bólu,  
psychosomatycznych  
zaburzeń, pamięci,  
poprawa sprawności  
działania mózgu.



# Implanty pamięci !

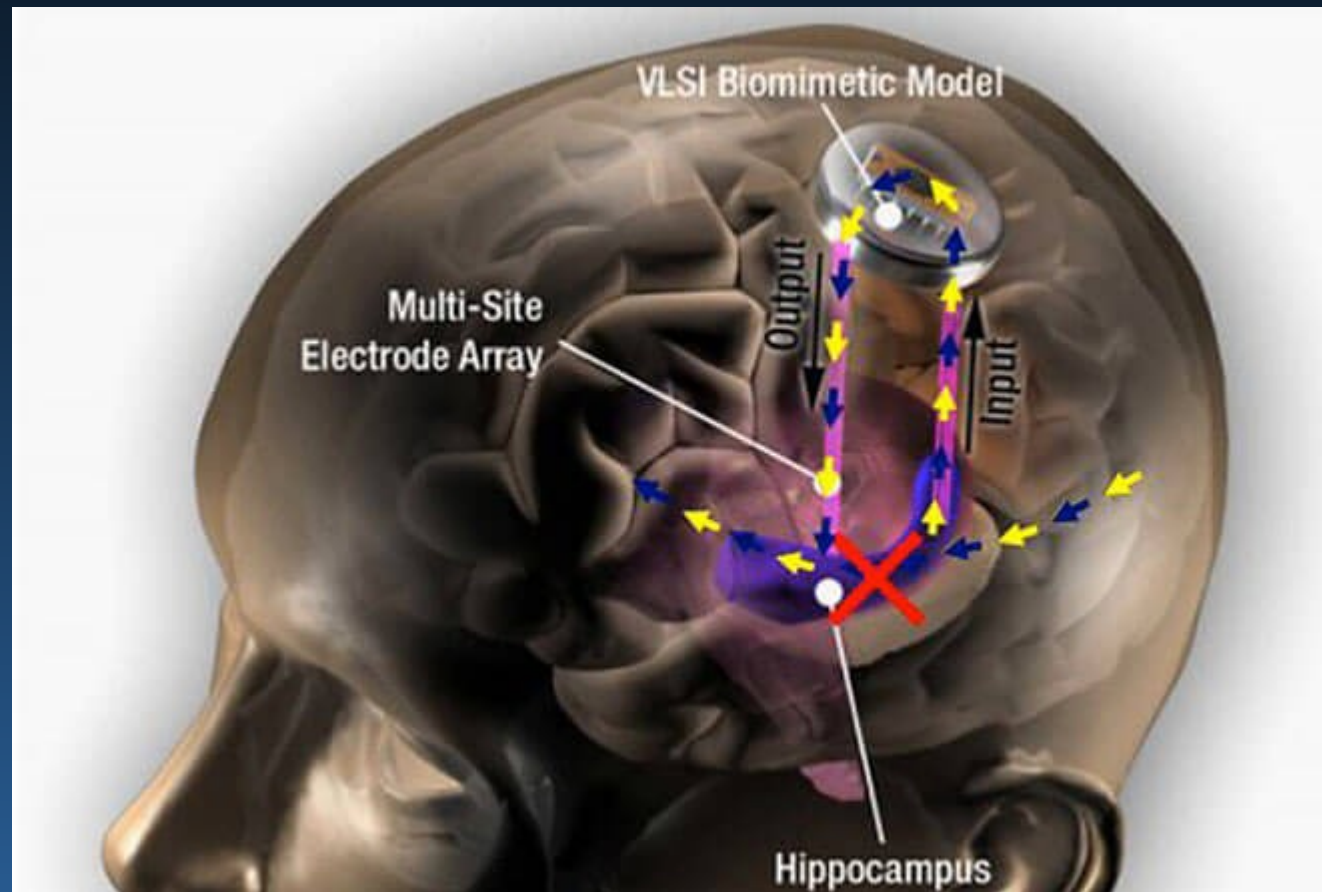
Obszary mózgu odpowiedzialne za pamięć mogą zostać zastąpione przez elektronikę. Ted Berger, Center for Neural Engineering, University of Southern California, założył firmę **Kernel**, która się tym zajmuje, patent złożony w 2020 r.



# Implanty pamięci

Testy na szczurach, małpach, a w 2017 roku na 20 ludziach dały poprawę pamięci o 30%. T. Berger: Są dobre przesłanki by wierzyć, że integracja pamięci z elektroniką jest możliwa.

DARPA: program Restoring Active Memory (RAM), dla osób z uszkodzonym mózgiem (TBI), ma być nieinwazyjny. Neurofeedback + neurostimulacja w zamkniętej pętli.



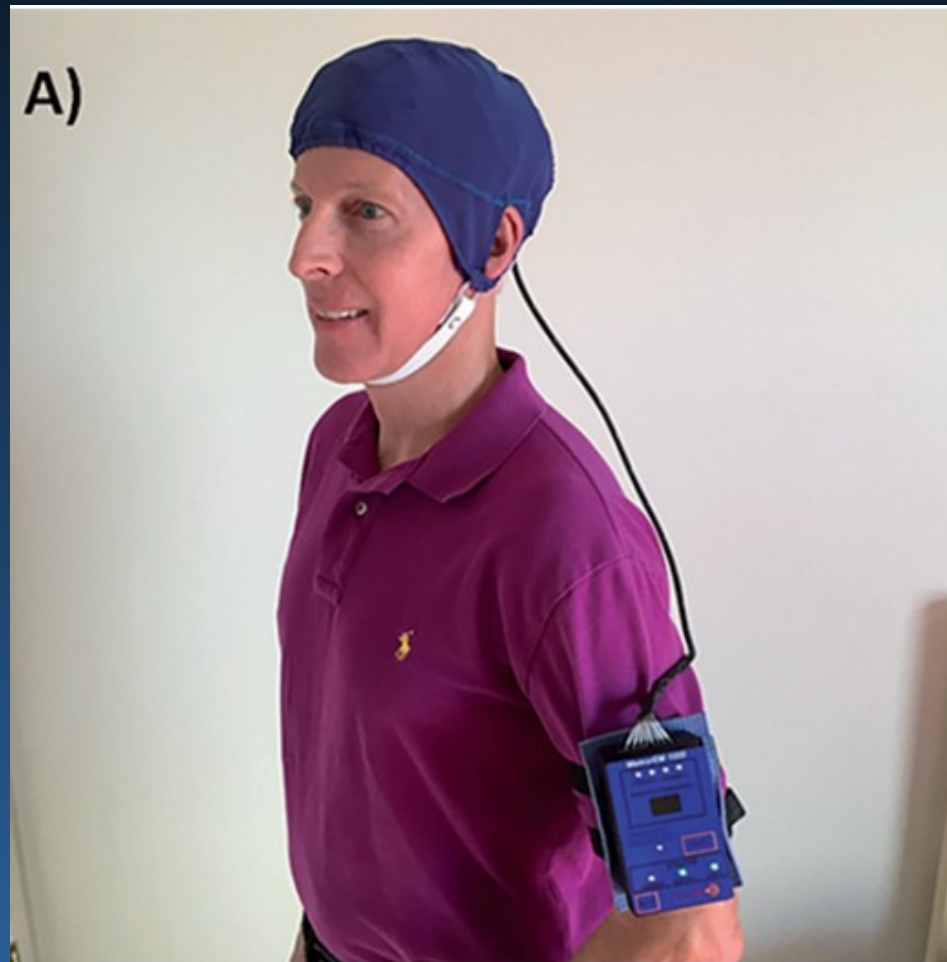
# MemorEM

Transcranial Electromagnetic Treatment (TEMT) składa się z 8 emiterów wysyłających impulsy elektromagnetyczne rozbijające agregaty amyloidu- $\beta$  ( $A\beta$ ) i p-tau. To zapobiega i niweluje zaburzenia pamięci.

8 emiterów, 915 MHz, impulsy co 4.6 ms, każdy emiter dostarcza ok. 1.6 W/kg, wpływając na korę i głębsze struktury mózgu.

Badania prowadzono początkowo na myszach, teraz pilotażowo na 8 osobach we wczesnych lub średnio zaawansowanej fazie choroby Alzheimera. Po dwóch miesiącach 2x dziennie po godzinie stan ich pamięci powrócił do poziomu o rok wcześniejszego.

Trwają badania na większej grupie.



# Trenowanie mózgu

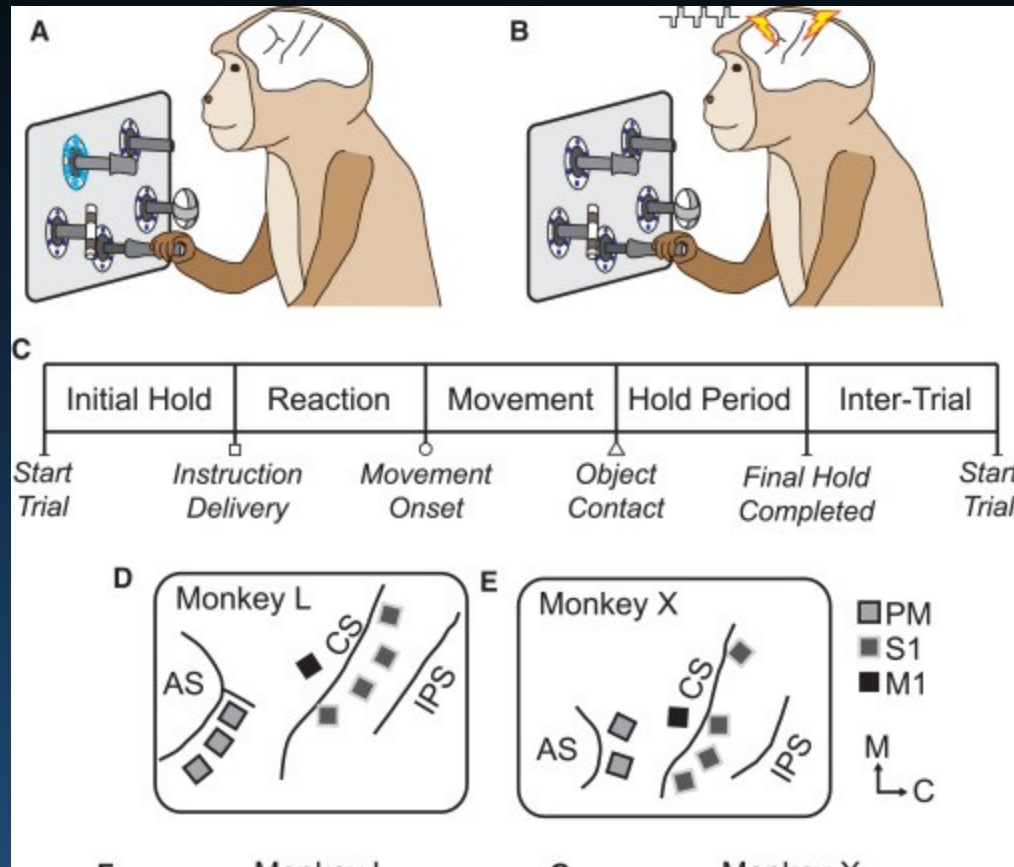
Engagement Skills Trainer (EST) to procedury treningu amerykańskich żołnierzy.

Intific Neuro-EST to technologia wykorzystująca analizę EEG i wielokanałowy stymulator przeczaszkowy (MtCS) do transferu umiejętności pomiędzy mistrzem i uczniem.





# Mikrostymulacje



Instrukcje działania można też „wstrzykiwać” za pomocą impulsów elektrycznych prosto do kory przedruchowej, tak słabych, że nie są odczuwane. Skojarzenia różnych ruchów i miejsca stymulacji w korze PM można się nauczyć.

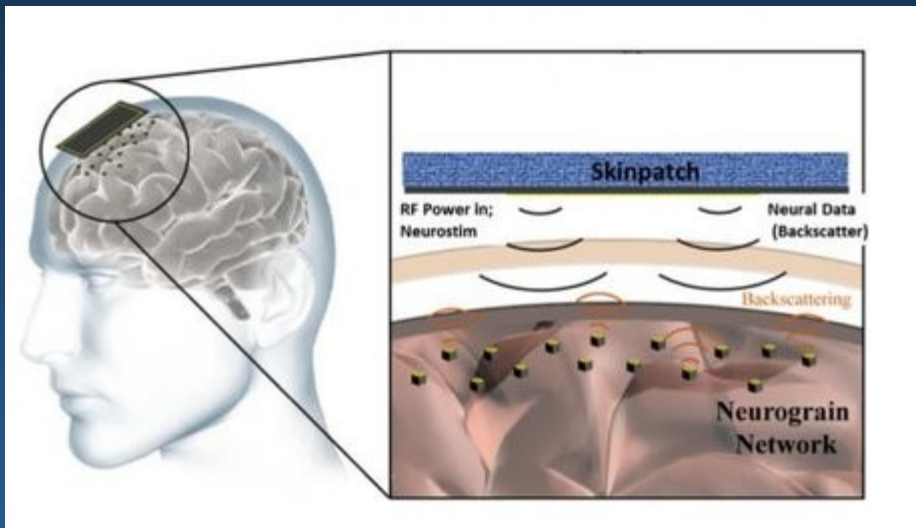
# Milion elektrod w mózgu?

Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA:  
**Neural Engineering System Design (NESD)**, 2016.

Interfejs odczytujący impulsy  $10^6$  neuronów, pobudzający  $10^5$  neuronów,  
jednocześnie czytający i pobudzający  $10^3$  neuronów.

DARPA przyznała granty 7 grupom badawczym na projekty w ramach programu  
*Electrical Prescriptions (ElectRx)*, którego celem jest rozwój systemów BCBI  
modulujących aktywność nerwów peryferyjnych w celach terapeutycznych.

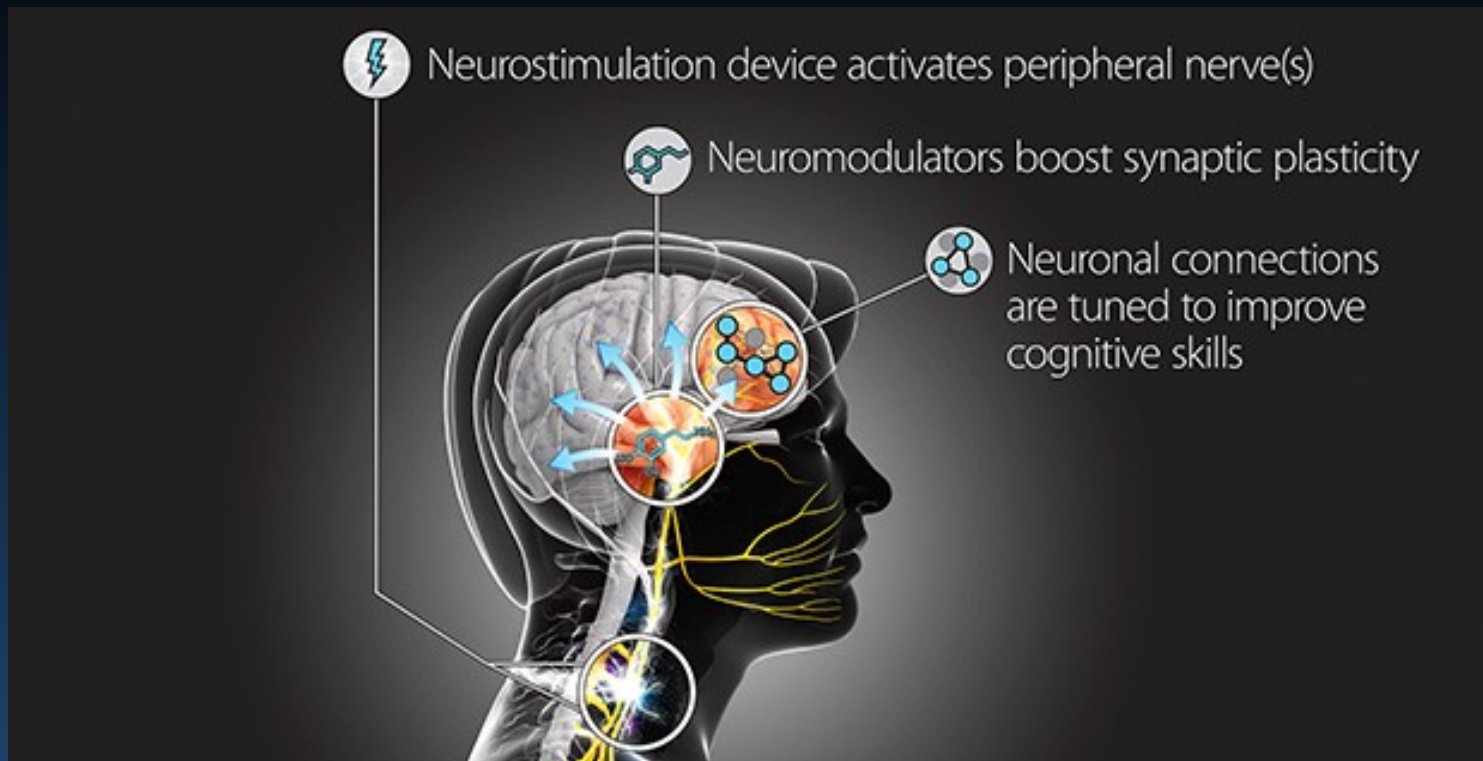
*Neural lace* i *neural dust* Elona Muska, na razie stosowany na zwierzętach.



neural  
lace  
**ultra-thin  
mesh**



# Targeted Neuroplasticity Training



[DARPA \(2017\)](#): Projekt TNT powinien umożliwić naukę wielu kognitywnych umiejętności, zmniejszając koszty i czas trwania treningów prowadzonych przez Ministerstwo Obrony. Oprócz zachowań na polu walki projekt TNT powinien skrócić czas uczenia się obcych języków, przygotowania analityków wywiadu, kryptografów i innych specjalistów.

# Co jest najważniejsze?



- Energia: glukoza, dotlenienie mózgu, nawodnienie.
- Sen, relaks i nauka oczyszczania umysłu, trening uwagi.
- Większe zaangażowanie to większa aktywacja obszarów mózgu i lepiej zapamiętana informacja: liczy się forma przekazu, ciekawość, skupienie.
- Motywacja, rola wyzwań, emocji, grywalizacji i mechanizmów uwagi w neuroplastyczności: prezentacje przed grupą wzmagają motywację.
- Wzrok angażuje prawie połowę mózgu: kolor, ruch, tekst, infografiki.
- Język, ruch angażuje drugą połowę mózgu. Pomaga muzyka i taniec!
- Konsolidacja pamięci: przerwy, ćwiczenia fizyczne połączone z mentalnymi.
- Zmęczenie neuronów: potrzebna jest zmiana aktywnych obszarów mózgu, więc warto przeplatać różne typy aktywności, mieszać znane z nowym.
- Głębokie kodowanie pogłębia zrozumienie, tworzenie różnorodnych skojarzeń.
- Hierarchiczna struktura informacji, od ogólnego szkicu do szczegółów.

# Podsumowanie



- Uczenie się i formowanie długotrwałej pamięci wymaga dobrego zakodowania informacji tak, by była łatwo dostępna dzięki licznym skojarzeniom, schematom poznawczym i szczegółom epizodycznym. Trzeba umieścić materiał w jak najszerszym i już znanym kontekście, pobudzać zmysły i wyobraźnię, zarówno na etapie zapamiętywania jak i przypominania. Pałac pamięci – wykorzystanie pamięci przestrzennej aktywizuje hipokamp.
- W procesie konsolidacji pamięci semantycznej w mózgu tworzą się (zwykle nieświadomie) rozbudowane schematy poznawcze, siatka skojarzonych pojęć bez zbytecznych szczegółów. Przerwy i powracanie w kolejne dni do danego materiału pomaga w konsolidacji pamięci i budowaniu schematów.
- Nawiązywanie do już zapamiętanej wiedzy wzmacnia schematy poznawcze. Jednakże w procesie konsolidacji mogą się zgubić ważne szczegóły, więc warto je wypisać i zwracać na nie uwagę.
- Należy uważać na fałszywe wnioski i nieporozumienia, które mogą wyniknąć z integracji z wcześniej zapamiętaną, błędną wiedzą, utratą istotnych informacji, co ujawnia się przy regularnym sprawdzaniu wniosków.

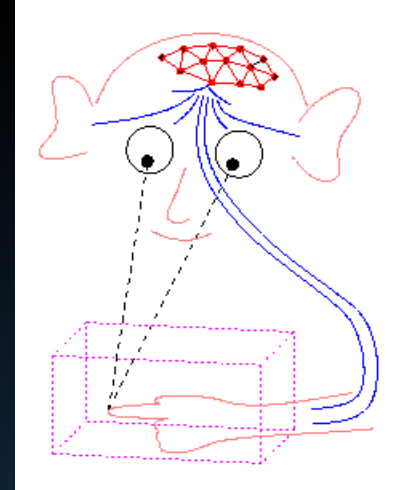
# Perspektywy

Neuronauki dają na razie edukacja ogólne wskazówki, ale proces uczenia się jest bardzo skomplikowany.

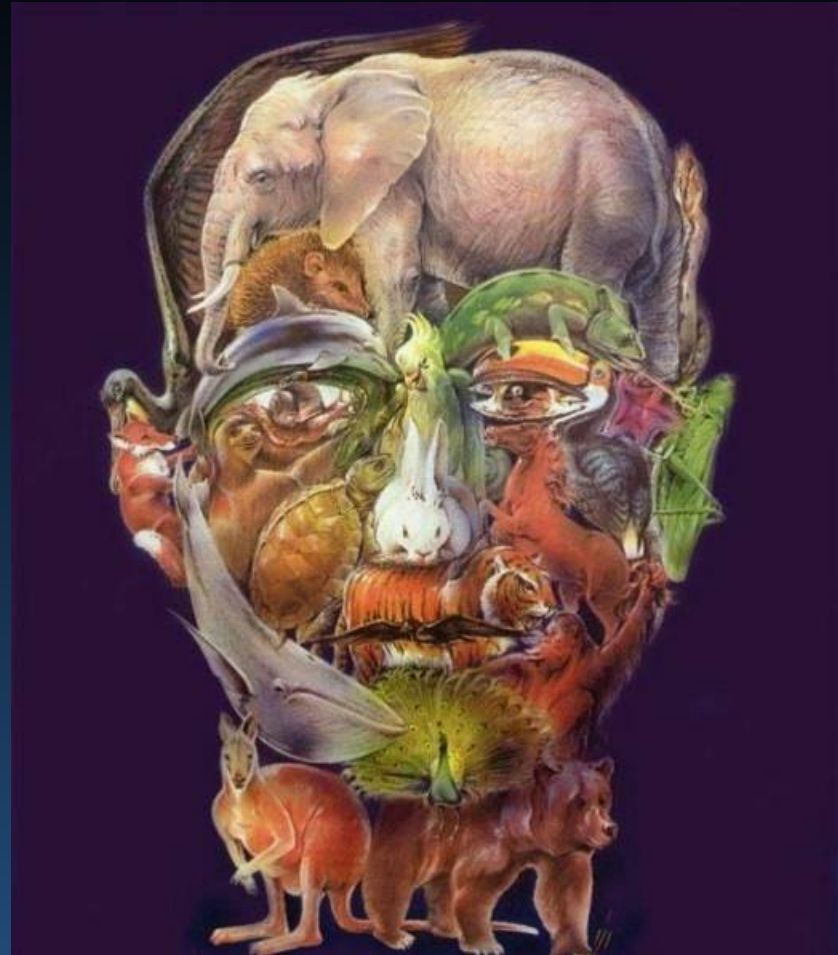
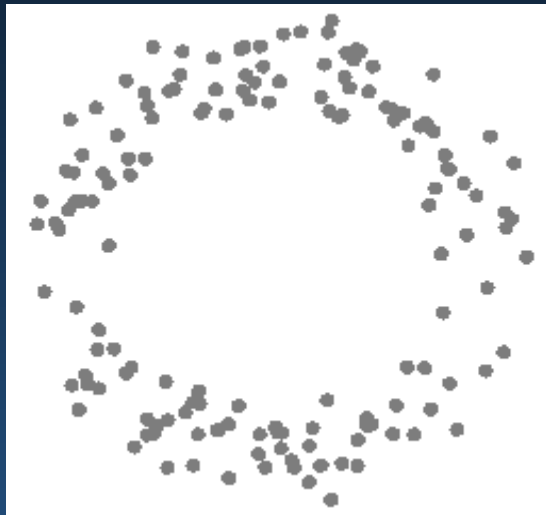
Neuroplastyczność można regulować, przygotowując mózgi do uczenia się i kreatywnego myślenia.

- Okienka plastyczności: stymulacja mózgu DCS, TMS, ale jeszcze nie w edukacji. Farmakologia niezbyt precyzyjna, tylko w zaburzeniach.
- Zaczynać jak najwcześniej: ciekawość, eksploracja, pamięć robocza ...
- Kreatywność i inteligencja mają różne formy, trzeba szukać właściwej.
- Indywidualne różnice konektomów prowadzą do odmiennej neurodynamiki odpowiedzialnej za wyobrażnię, specyficzne uzdolnienia.
- Eksperymentalnie: markery oparte na EEG/ERP i neuroobrazowaniu do wczesnej diagnostyki problemów (dysleksja, dyskalkulia, pamięć).
- Neurofeedback, medytacja, relaksacja przygotowują mózgi do uczenia.

Pedagogika i socjotechnika będą coraz bardziej związane z neurobiologią i sztuczną inteligencją, monitorującą postępy i zmiany w mózgu.



Dziękuję za  
synchronizację  
neuronów.



Google: Wlodek Duch => wykłady, referaty ++