



# Sztuczna Inteligencja i Technologie Neurokognitywne

Włodzisław Duch

Laboratorium Neurokognitywne,  
Interdyscyplinarne Centrum Nowoczesnych Technologii,  
Katedra Informatyki Stosowanej, Wydział Fizyki, Astronomii  
i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Mikołaja Kopernika

Google: Wlodzislaw Duch

Komisja Układów Złożonych PAU, 10.05.2019, Kraków

**“TWO THINGS AWE ME MOST, THE STARRY SKY  
ABOVE ME AND THE MORAL LAW WITHIN ME.”**

**IMMANUEL KANT**



**Immanuel Kant (1724 –1804)**

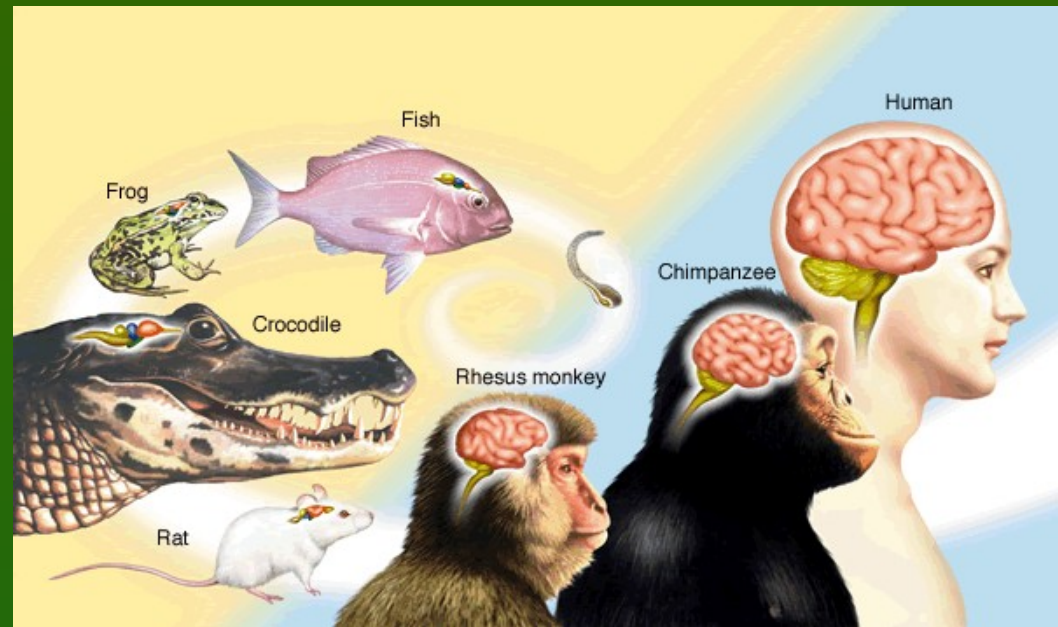
# Jak złożone są mózgi?



## Wszechświat:

2000 miliardów galaktyk ( $2 \times 10^{12}$ ), w każdej  $> 10^{11}$  gwiazd =  $> 10^{23}$  gwiazd, może być nawet  $10^{22}$  planet.

Niewyobrażalnie wiele.



- Mózg człowieka: masa  $\sim 1.4$  kg, 130 g białek, 100 g tłuszczu, reszta to  $H_2O$ .
- 2% masy ciała, zużywa 20% tlenu i 25% glukozy, około 20-25 Watów mocy.
- $86 \pm 8$  mld neuronów ( $69 \pm 7$  mld w mózdzku), ok  $\sim 10^{14}$  (100 T) synaps.
- Naiwne oceny: pamięć  $100 \text{ T} * 10 \text{ bit/synapsę} = 1 \text{ Petabit}$  ( $10^{15}$ ).
- Szybkość:  $< 100 \text{ Hz} * 100 \text{ T} = 10 \text{ Pflops}$ ; zwykle 1%  $\gamma$ -aktywnych neuronów.
- Ok. 20.000 genów kodujących białka,  $50 \times 10^{12}$  komórek ciała, 2m DNA w komórce, całkowita długość ok. 100 mld km = 666 x odległość do Słońca.

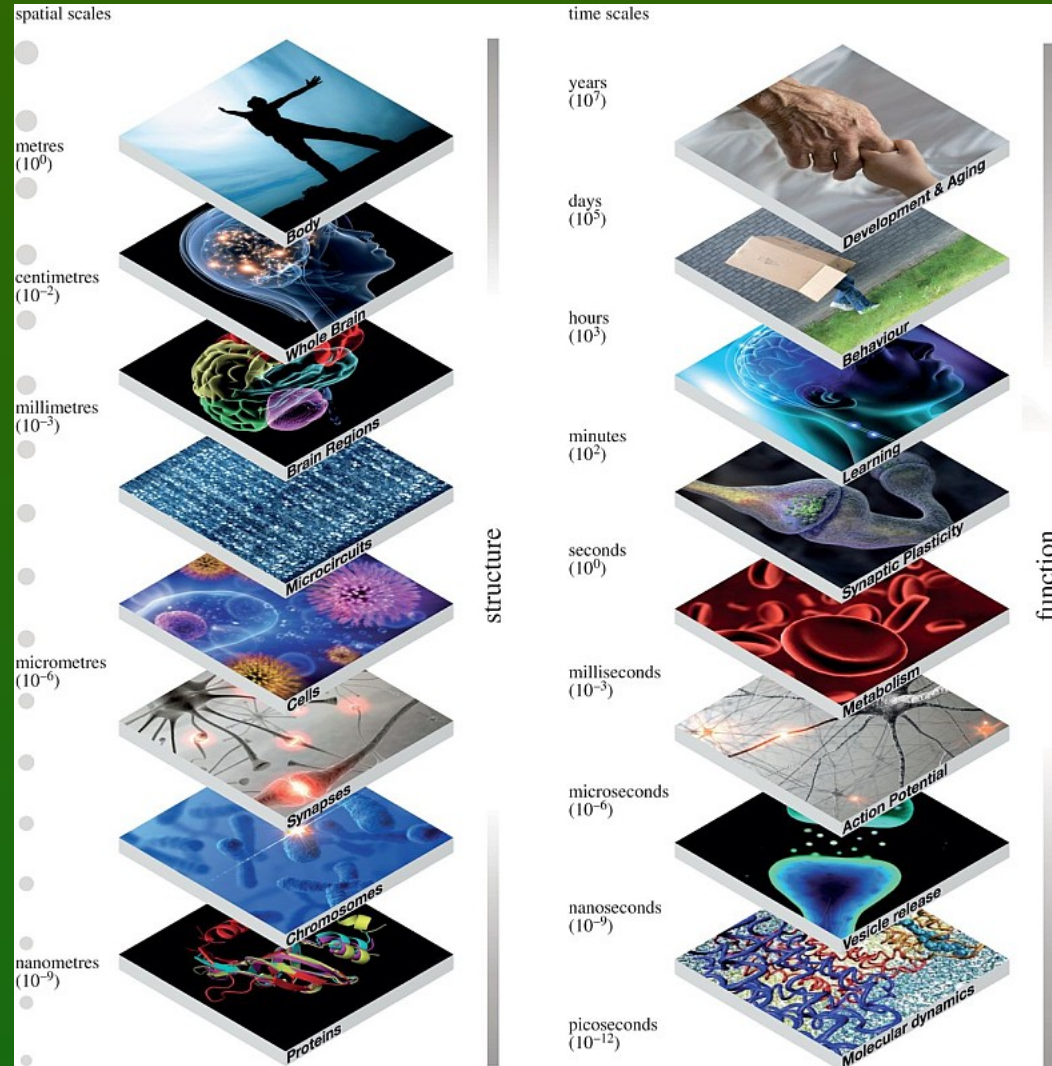
# Fenomika neuropsychiatryczna

Mózg: najbardziej złożony układ w znanym nam Wszechświecie, więc się często psuje!

2008: The Consortium for Neuropsychiatric Phenomics

Od genów do sieci neuronów do mechanizmów poznawczych i do ich zaburzeń, wiele poziomów, skale czasowe od pikosekund do lat, rozmiary od nanometrów do metra – RDOC NIMH.

Neurodynamika jest na poziomie środkowym, neuroobrazowanie i symulacje sieci neuronowych



# Domena kognitywna, macierz RDoC

Construct/Subconstruct		Genes	Molecules	Cells	Circuits	Physiology	Behavior	Self-Report	Paradigms
Attention		Elements	Elements	Elements	Elements	Elements	Elements		Elements
Perception	Visual Perception	Elements	Elements	Elements	Elements	Elements	Elements	Elements	Elements
	Auditory Perception	Elements	Elements	Elements	Elements	Elements	Elements	Elements	Elements
	Olfactory/Somatosensory/Multimodal/Perception								Elements
Declarative Memory		Elements	Elements	Elements	Elements	Elements	Elements	Elements	Elements
Language		Elements			Elements	Elements	Elements	Elements	Elements
Cognitive Control	Goal Selection; Updating, Representation, and Maintenance ⇒ Focus 1 of 2 ⇒ Goal Selection				Elements			Elements	Elements
	Goal Selection; Updating, Representation, and Maintenance ⇒ Focus 2 of 2 ⇒ Updating, Representation, and Maintenance	Elements	Elements	Elements	Elements	Elements	Elements	Elements	Elements
	Response Selection; Inhibition/Suppression ⇒ Focus 1 of 2 ⇒ Response Selection	Elements	Elements	Elements	Elements	Elements	Elements	Elements	Elements
	Response Selection; Inhibition/Suppression ⇒ Focus 2 of 2 ⇒ Inhibition/Suppression	Elements	Elements	Elements	Elements	Elements	Elements	Elements	Elements
	Performance Monitoring	Elements	Elements		Elements	Elements	Elements	Elements	Elements
Working Memory	Active Maintenance	Elements	Elements	Elements	Elements	Elements			Elements
	Flexible Updating	Elements	Elements	Elements	Elements	Elements			Elements
	Limited Capacity	Elements	Elements		Elements	Elements			Elements
	Interference Control	Elements	Elements	Elements	Elements	Elements			Elements

Mózg to nasz najbardziej złożony organ, więc często się psuje.

Prawie nigdy nie osiąga kresu swoich możliwości.

# Więc się często psują ...

## HEAVY BURDEN

Six categories of illness account for more than half of the costs of brain disorders in Europe. Indirect costs — such as working time lost to illness — are responsible for about 40% of the total financial burden.



### ADDICTION



Direct health-care costs ■  
Direct non-medical costs ■  
Indirect costs ■

### ANXIETY DISORDERS



### DEMENTIA



### HEADACHE



### MOOD DISORDERS



### PSYCHOTIC DISORDERS



# Koszty chorób mózgu



Mózg: najważniejszy organ (Woody Allen: mój drugi ulubiony organ).

Raporty European Brain Council (EBC) reports (2010; 2014).

Consensus Statement on European Brain Research (2015) zawiera rozdział na temat neuroinformatyki, banków danych i neuronauk obliczeniowych.

179 mln, ok. 1/3 obywateli EU, miało przynajmniej jedno zaburzenie mózgu.

Odpowiedzialne za **45% całkowitego budżetu zdrowia w Europie!**

Całkowite koszty w krajach EU oceniono w 2010 na **798 mld €/rok**, bezpośrednio medyczne 37%, pozamedyczne 23%, pośrednie 40%.

Chiny: >20% populacji (~250 mln) ma jakieś zaburzenia.

**W Polsce oceny z 2010 roku:**

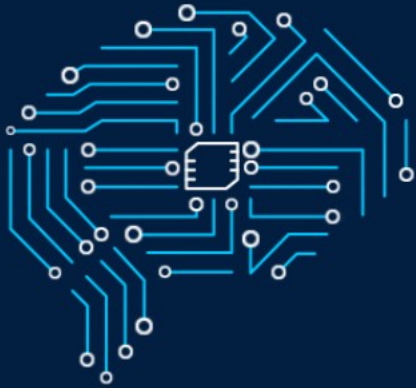
Uzależnienia	Lęki	Demencja	Padaczka	Migreny	Nastrój	Psychozy	Udary	x1000
1 201	5 261	358	298	12 025	2 499	371	503	# ludzi
2 501	2 882	2 480	745	1 559	4 489	3 723	2 187	mln €

Gustavsson et al. (2011). Cost of disorders of the brain in Europe 2010.

*European Neuropsychopharmacology*, 21(10), 718–779.



# Globalne Inicjatywy Mózgi i AI



## Advance Neurotechnologies

Accelerate the development and  
application of new neurotechnologies.

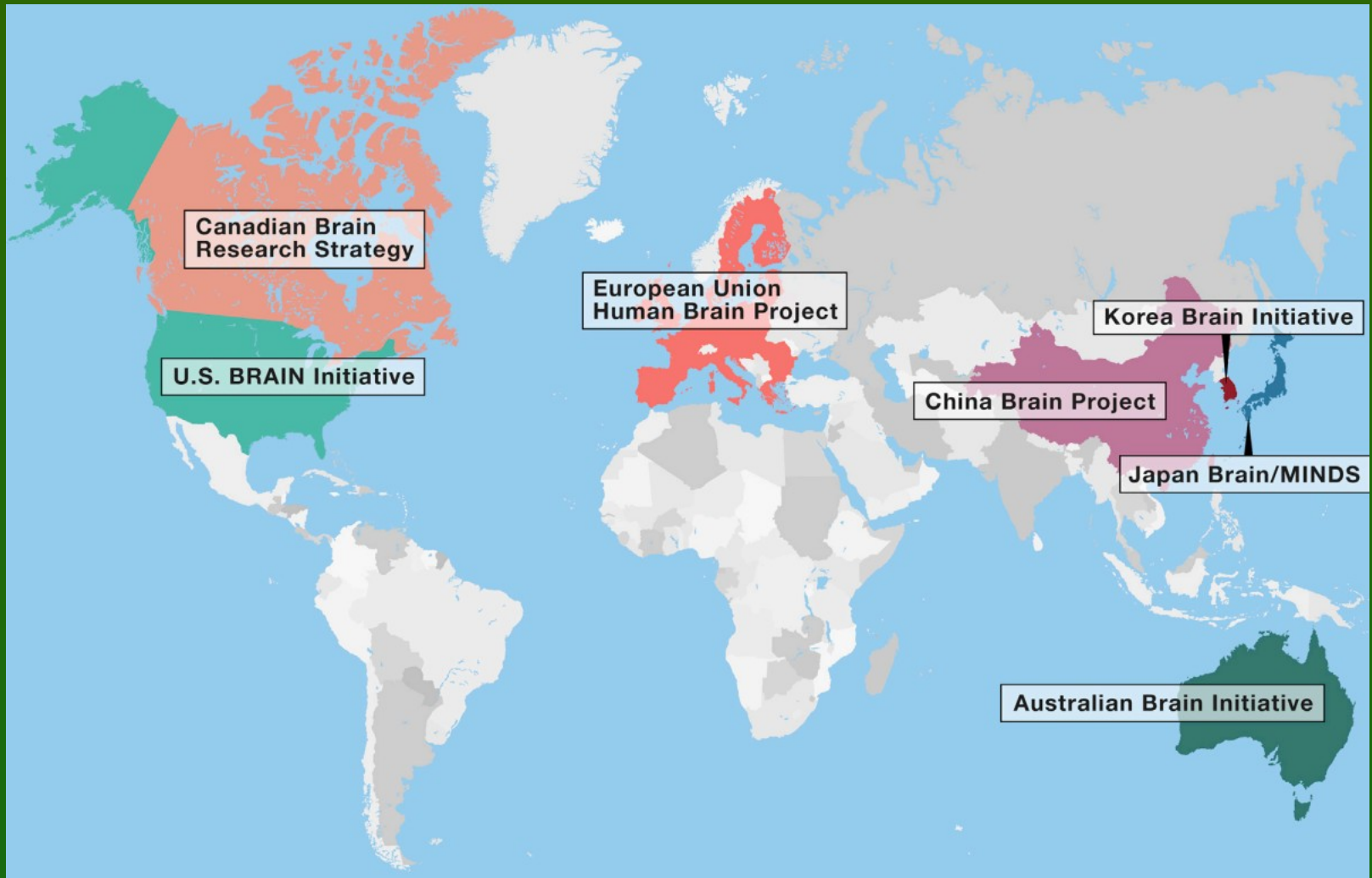
Support multi-disciplinary teams and  
stimulate research to rapidly enhance current  
neuroscience technologies and catalyze  
innovative scientific breakthroughs.

Human Brain Project, EU Flagship i Obama BRAIN Initiative (2013):  
**Brain Research through Advancing Innovative Neurotechnologies.**

“Develop new technologies to explore how the brain’s cells and circuits interact at the speed of thought, ultimately uncovering the complex links between brain function and behavior. Explore how the brain records, processes, uses, stores, and retrieves vast quantities of information. Help bring safe and effective products to patients and consumers.”

Od 2013 roku nastąpił wielki postęp w badaniach nad mózgiem i powstało wiele interesujących neurotechnologii.

# Międzynarodowe Inicjatywy





Misją IEEE Brain jest wspomaganie kros-dyscyplinarnej współpracy i koordynacja zaawansowanych badań, standaryzacja i rozwój technologii neurokognitywnych w celu poprawy dobrostanu ludzkości.

W IEEE Brain zaangażowało się 20 IEEE Towarzystw:

**IEEE Computational Intelligence Society**; Computer Society; Consumer Electronics Society; Digital Senses Initiative; Robotics and Automation Society; Sensors Council; Signal Processing Society; Society on Social Implications of Technology; **Systems, Man, and Cybernetics Society**, International Neuroethics Society, and a few other societies.

Większość z tych towarzystw jest też związana ze sztuczną inteligencją.

**Satya Nadella (CEO, Microsoft)**: „to celebrate National Disability Employment Awareness Month, I’m sharing examples of how technology can be applied to empower the more than one billion people with disabilities around the world”.

# Workshop on Brain-Machine Interface Systems

## Global Current and Emerging Brain Initiative Meeting

### Brain Hackathon

IEEE  
**SMC**

Systems, Man, and Cybernetics Society



Konferencja SMC2018 i Brain-Machines Interface Workshop, Miyazaki 2018.

„The IEEE SMC Society and the IEEE President, James Jefferies, are proud to invite you on to a special meeting of **Global Current and Emerging Brain Initiative leaders** and representatives from other groups working on large-scale multi-year brain projects from Australia, Canada, China, Europe (HBP), Japan, Korea, New Zealand, **Poland**, Russia, and US (NSF and NIH), with representatives from the **IEEE Brain Initiative**, International Neuroethics Society, industry, and other stakeholders.

IEEE welcomes collaborative discussions with all stakeholders to better align and integrate IEEE with other existing brain efforts”.

# Artificial Intelligence for Europe

Komunikat Komisji Europejskiej (4/2018):

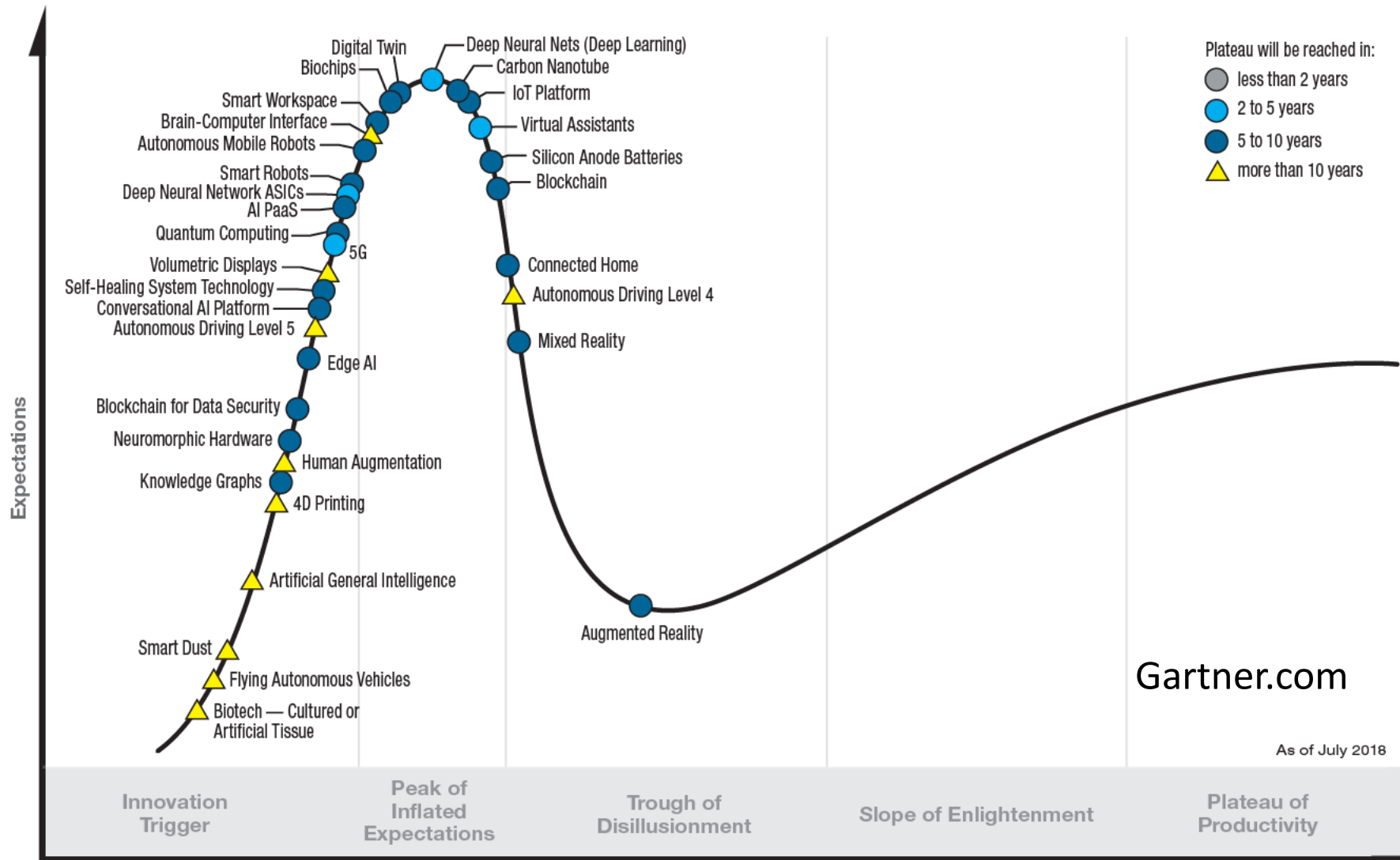
„Jak maszyna parowa i elektryczność w przeszłości, AI zmienia nasz świat, społeczeństwo i przemysł. Jest to jedna z najbardziej strategicznie ważnych technologii 21 wieku. Chodzi o najwyższą stawkę. Sposób w jaki podejmiemy do sztucznej inteligencji zdefiniuje rzeczywistość, w jakiej będziemy żyć.”

Do końca 2020 roku nakłady krajów UE powinny wzrosnąć z 4-5 mld euro do 20 mld rocznie! **Coordinated Plan on Artificial Intelligence** 12/2018.

- Wspieranie i wzmocnianie centrów doskonałości AI w Europie (28.05.2019).
- Utworzenie sieci centrów innowacji cyfrowych AI, infrastruktur badawczych.
- uruchomienie „platformy AI na żądanie”.
- utworzenie przemysłowych platform danych, wsparcia wymiany danych.
- powiększenie europejskiej przestrzeni danych.
- programy szkolenia dla zawodów, którym grozi automatyzacja
- wspieranie partnerstw między przedsiębiorstwami a ośrodkami naukowymi
- wspieranie krajowych i unijnych organów nadzorujących ochronę danych.

Polska – Ministerstwo Cyfryzacji „wdraża sztuczną inteligencję”.

# Hype Cycle for Emerging Technologies, 2018



# AI/DNN wszystko zmienia

1997 – szachy, Deep Blue wygrywa z Kasparowem.

2011 – IBM Watson wygrywa z dwoma mistrzami teleturnieju Jeopardy (Va Banque)

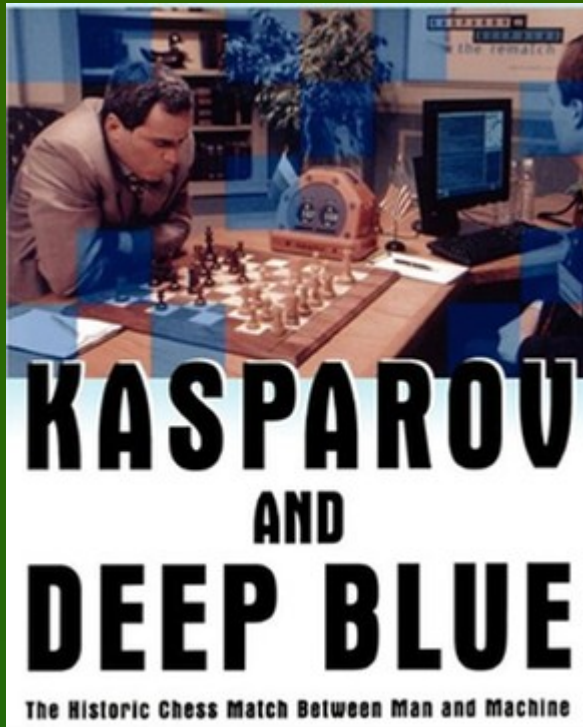
2015 – zrobotyzowane laboratorium + AI odkrywa ścieżki genetyczne/sygnałowe regeneracji płazińców

2016 – Google AlphaGo wygrywa z Lee Sedolem

2017 – Libratus (CM) wygrywa z ludźmi w pokera  
OpenAI wygrywa w Dota 2 z profesjonalistą.

2018 – Watson Debater wygrywa z filozofami.

2019 – Dota2 drużynowa, Starcraft II ... co zostało?







# Neuro Informatics 2019



September 1-2, 2019



University of Warsaw,  
Poland  
Department of Physics

Deadline: May 31

**ABSTRACT  
SUBMISSION**

International Neuroinformatics Coordination Facility (INCF), w krajach OECD: integracja i analiza danych z różnych metod, w skali micro i makro, dla mózgów różnych gatunków, pogłębienie zrozumienia pracy mózgu i wynikający z tego wpływ na zdrowie i dobrostan społeczeństw.

Polski węzeł INCF Node powstał w Instytucie Nenckiego PAN, od 2017 koordynowany przez nasze laboratorium na UMK w Toruniu.

12th INCF Congress on Neuroinformatics and INCF Assembly, Warszawa 9/2019.  
Neuroobrazowanie, obliczeniowe neuronauki, sztuczna inteligencja.

Polska Rada Mózgu założona w 2013, ma stworzyć “Plan Mózgu dla Polski – Strategia dla Ludzi z Chorobami Mózgu”.

# Neuronauki => AI

Hassabis, D., Kumaran, D., Summerfield, C., Botvinick, M. (2017). Neuroscience-Inspired Artificial Intelligence. *Neuron*, 95(2), 245–258.

Afiliacje: DeepMind, Gatsby Computational Neuroscience, Institute of Cognitive Neuroscience, University College London, University of Oxford.

**Sztuczne sieci neuronowe** – proste inspiracje, wiele aplikacji.

**Systemy AI wzorowane na procesach w mózgu:**

(A) **Uwaga wzrokowa**, sakady, ostre i peryferyjne reprezentacje obrazu, przewidywanie gdzie jest istotna informacja.

(B) **Komplementarne systemy uczenia**: szybkie tymczasowe uczenie oparte o formację hipokampa i powolne parametryczne kodowanie korowe.

(C) Modele **pamięci roboczej** i Neuronalne Maszyny Turinga.

(D) Neurologiczne modele konsolidacji synaptycznej i algorytmy uczenia sekwencyjnych zadań (elastic weight consolidation, EWC).

(E) Bengio, Y. (2017). The **Consciousness Prior**. *ArXiv:1709.08568*.

(F) Amos et al. (2018). **Learning Awareness Models**. *ArXiv:1804.06318 [Cs]*.

# AI=>Neuronauki

Uczenie maszynowe jest dobrym narzędziem analizy danych z neuroobrazowania.

Algorytmy uczenia ze wzmocnieniem (reinforcement learning) są kluczowym modelem dla zrozumienia podejmowania decyzji w neuronaukach.

Aktywność dopaminergicznych neuronów śródmózgowia w eksperymentach z warunkowaniem zachowań daje się wyjaśnić za pomocą algorytmu temporal difference (TD) przewidującego błędy – **mózg wykorzystuje go do uczenia się!**

Sieci konwolucyjne CNN pozwalają na interpretację aktywności neuronów w wyższych obszarach wzrokowych u ludzi i małp.

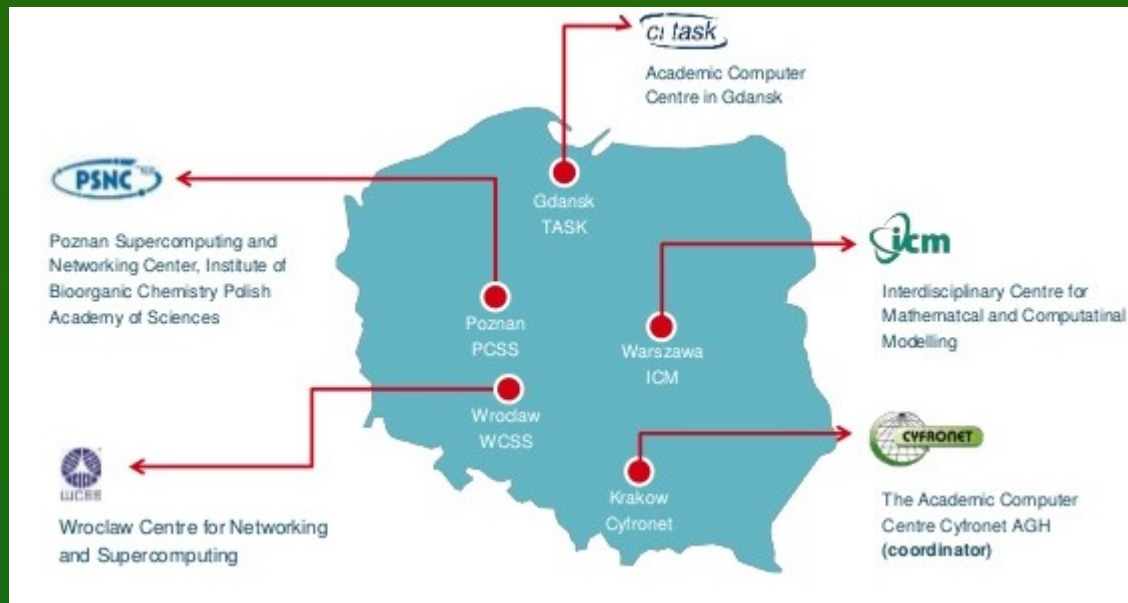
**Architektura LSTM** pomaga zrozumieć działanie pamięci roboczej, zapisywanie, utrzymanie i ochronę istotnej informacji w korze przedczołowej.

**Wsteczna propagacja błędów** nie ma uzasadnienia w neurobiologii ale są modyfikacje z przypadkowymi projekcjami wstecznymi w których przekazywane są użyteczne sygnały pozwalające się uczyć. Również prosty algorytm *Almost Random Projection Machine* (Duch, Maszczyk, 2010) jest biologicznie poprawny.

# PL-Grid HPC

- AI oraz neuroinformatyka ma wielkie wymagania obliczeniowe.
- Polska Infrastruktura Gridowa (NGI) łączy 5 centrów superkomputerowych.
- Wspiera badania, oferuje usługi domenowe w 24 obszarach.
- Będzie częścią pan-Europejskiej infrastruktury exaflopowej w ramach EGI (European Grid Initiative).
- Planujemy w ramach INCF-PL stworzenie dedykowanej infrastruktury dedykowanej badaniom nad mózgiem i repozytoriów danych.

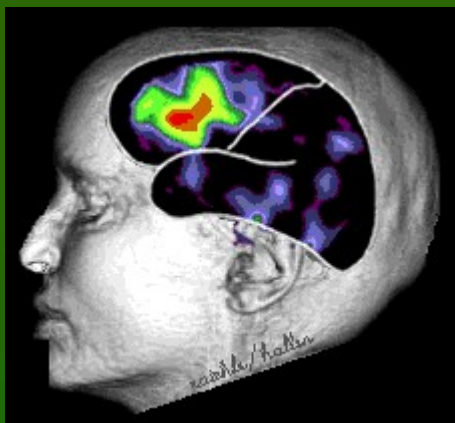
Współpraca z platformą medyczną Human Brain Project: prof. R. Frackowiak, prof. P. Bogorodzki.  
Nie udało się nam dostać wsparcia na tworzenie repozytoriów medycznych danych.



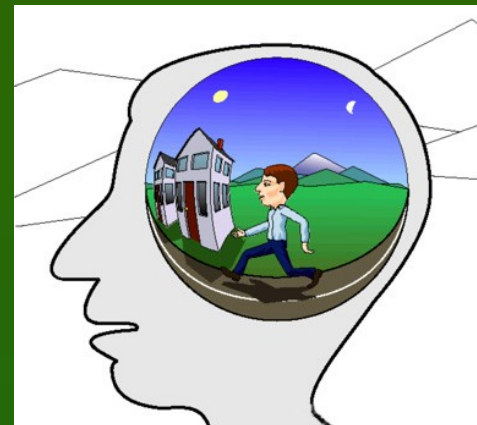
# Symulacje funkcji mózgu

# Stany mózgu ↔ zdarzenia mentalne

Neurodynamika: aktywność mózgu mierzona za pomocą EEG, MEG, NIRS-OT, PET, fMRI lub innych technik.



Stan(Mózg) ↔ Stan(Umysł)  
Neurodynamika ↔ Psychodynamika  
Sterowanie i komunikacja mózgów.



1. Od symulacji komputerowych do stanów mentalnych.
2. Od neuroobrazowania do stanów mentalnych.

Metafora: **umysł to cień neurodynamiki.**

Aktywność neuronalna ↔ trajektorie w przestrzeniach psychologicznych.

Problem: **nie mamy dobrej fenomenologii stanów umysłu.**

R.T. Hurlburt & E. Schwitzgabel, Describing Inner Experience? MIT Press 2007.

E. Schwitzgabel, Perplexities of consciousness MIT Press 2011.

# BICA

Laird JE, Lebiere C, & Rosenbloom, PS (2017). A Standard Model of the Mind: Toward a Common Computational Framework across Artificial Intelligence, Cognitive Science, Neuroscience, and Robotics. *AI Magazine*, 38, 13–26.

Laird: umysł to funkcjonalny system, który myśli.

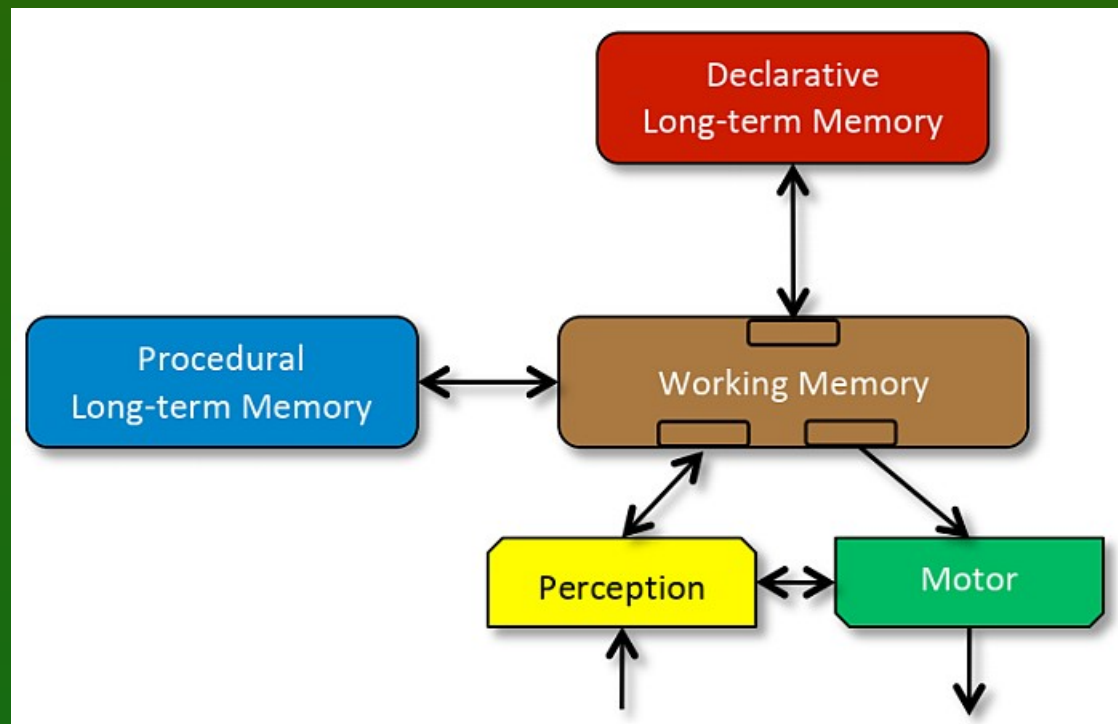
Newell: umysł to system kontrolny określający zachowanie organizmu w interakcji ze złożonym środowiskiem.

BICA = Brain Inspired  
Cognitive Architecture.

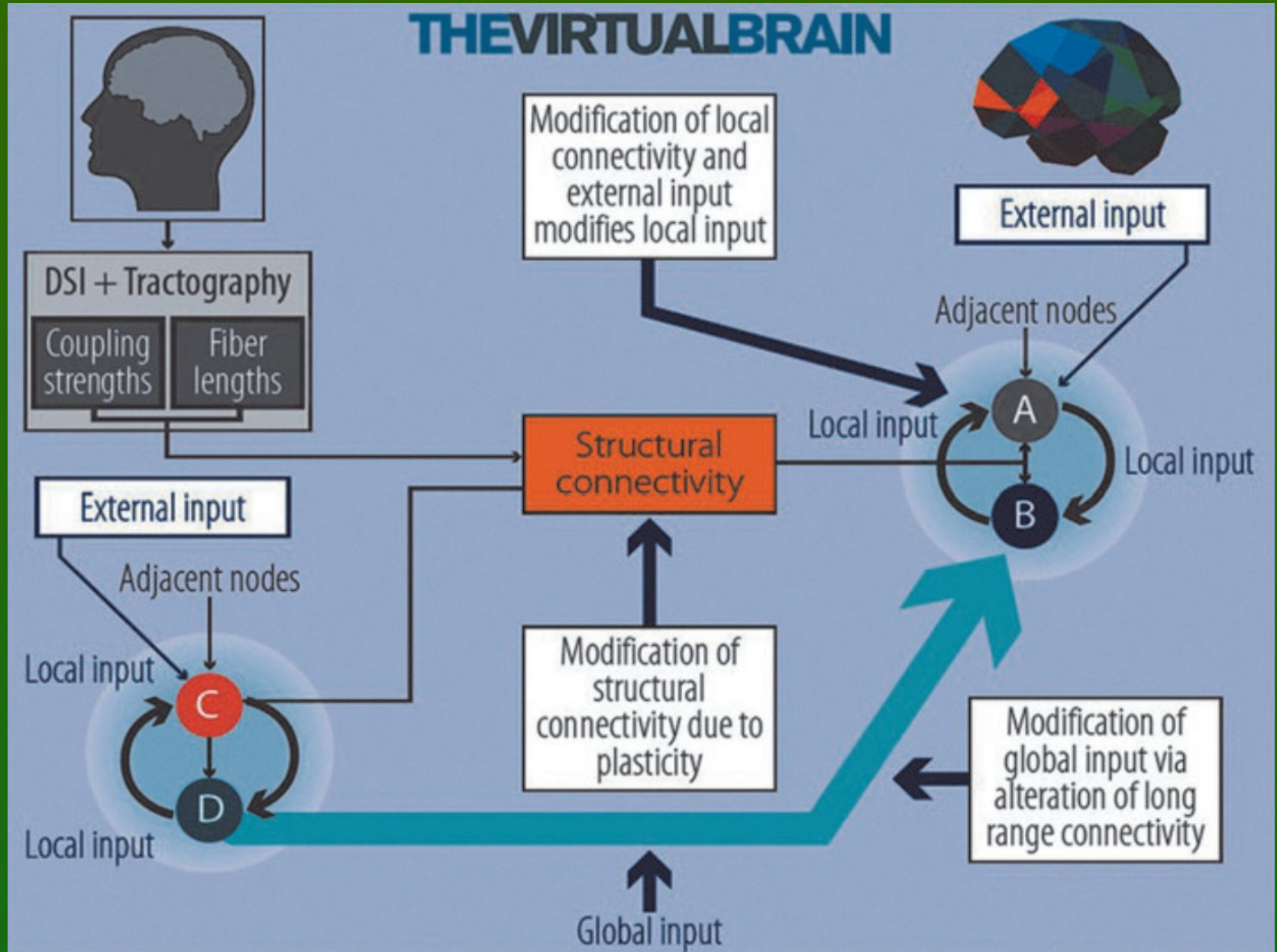
Review: Duch, Oentaryo,  
Pasquier,

[Cognitive architectures: where  
do we  
go from here?](#) 2008

Informatyka Kognitywna  
i Neurokognitywna.



# TVB – dynamika populacyjna





# Modele komputerowe

Modele proste i bardziej złożone.

- Minimalny model wymaga 3 typów kanałów jonowych.

Model przenoszenia uwagi:

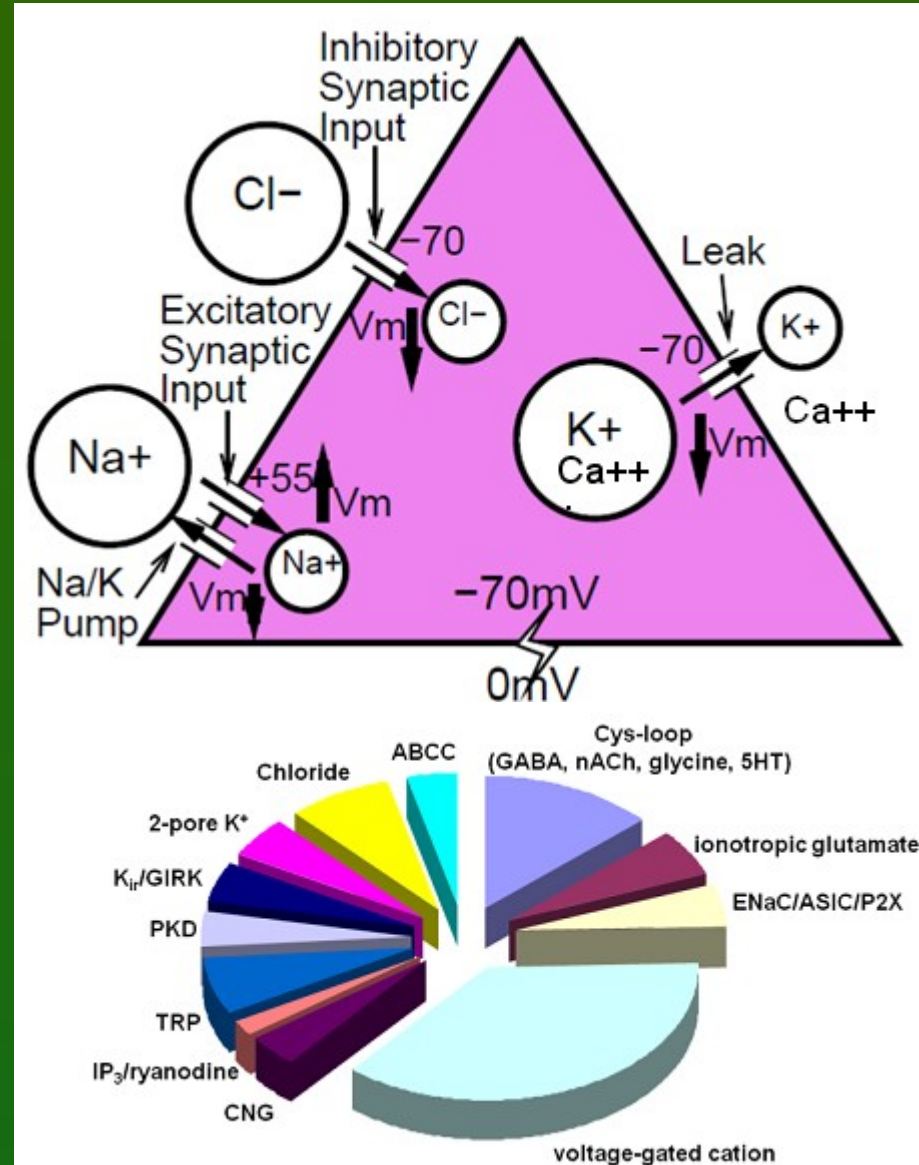
- Model Posner uwagi przestrzennej.
- Model przenoszenia uwagi wzrokowej pomiędzy dwoma obiektami.

Model skojarzeń pojęciowych:

- Sekwencje spontanicznych myśli.

Kontrola przepływu jonów wapnia w komórkach, gromadzącego się powoli w czasie ich aktywacji.

Rola kanałów upływu, np. 2-pore  $K^+$ , relacje z białkami/genami.



# Model czytania i dysleksji



Aisa, B., Mingus, B., and O'Reilly, R.  
The emergent neural modeling  
system. Neural Networks 2008.

Model uwzględnia warstwy:  
ortograficzną, fonologiczną i  
semantyczną, w której jest 140  
neuronów reprezentujących  
mikrocechy zapamiętanych pojęć.

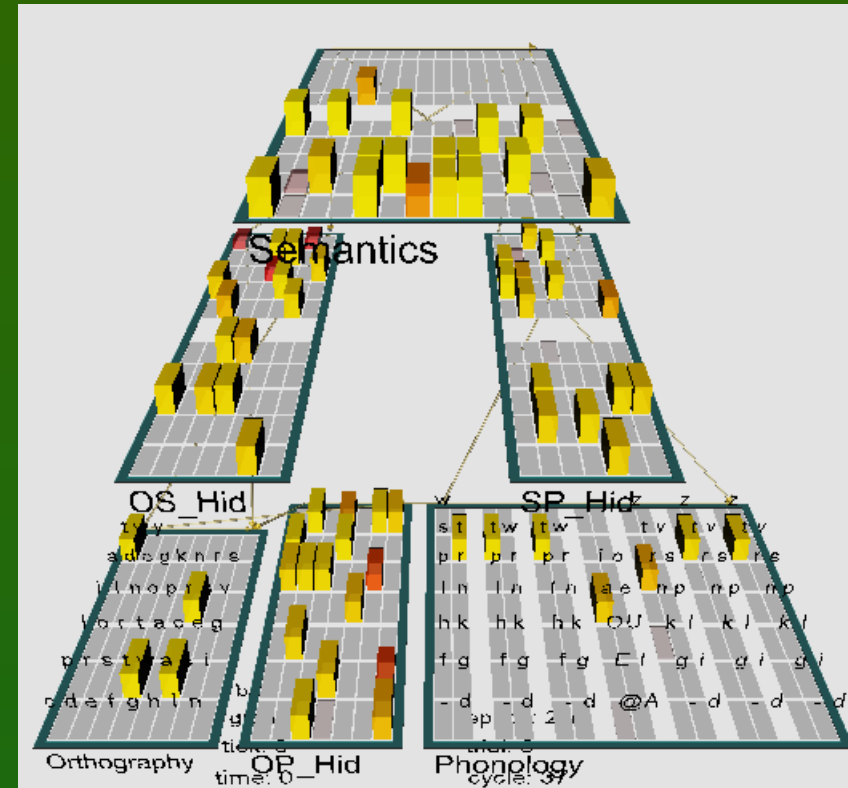
Mikrocecha = podsieć, ale tu element.

Pomiędzy tymi trzema warstwami są  
dodatkowe warstwy przetwarzające.

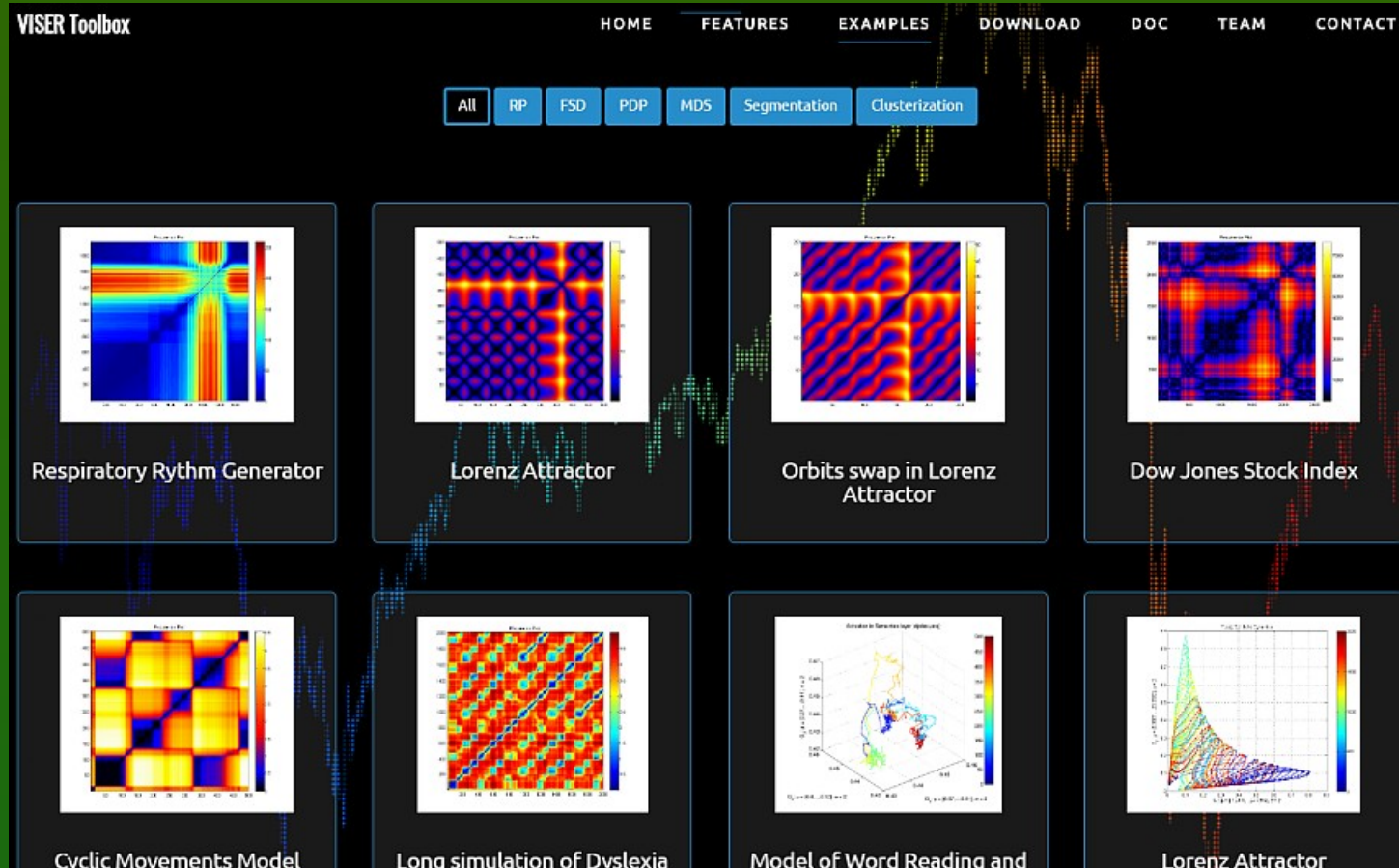
Wiele parametrów neuronów/sieci.

Uczenie: mapowanie aktywności jednej warstwy na pozostałe dwie.

Konfiguracja końcowa fluktuuje wokół rozkładu (atraktora) reprezentującego  
nazwę (ortografia, fonologia) lub sens słowa.

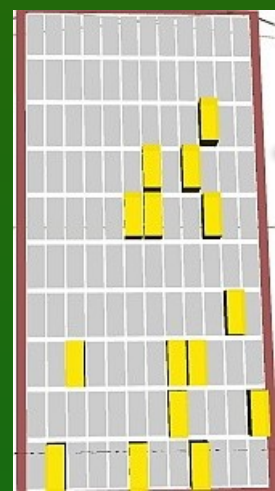
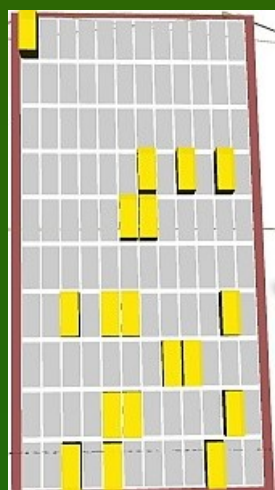


# Viser toolbox



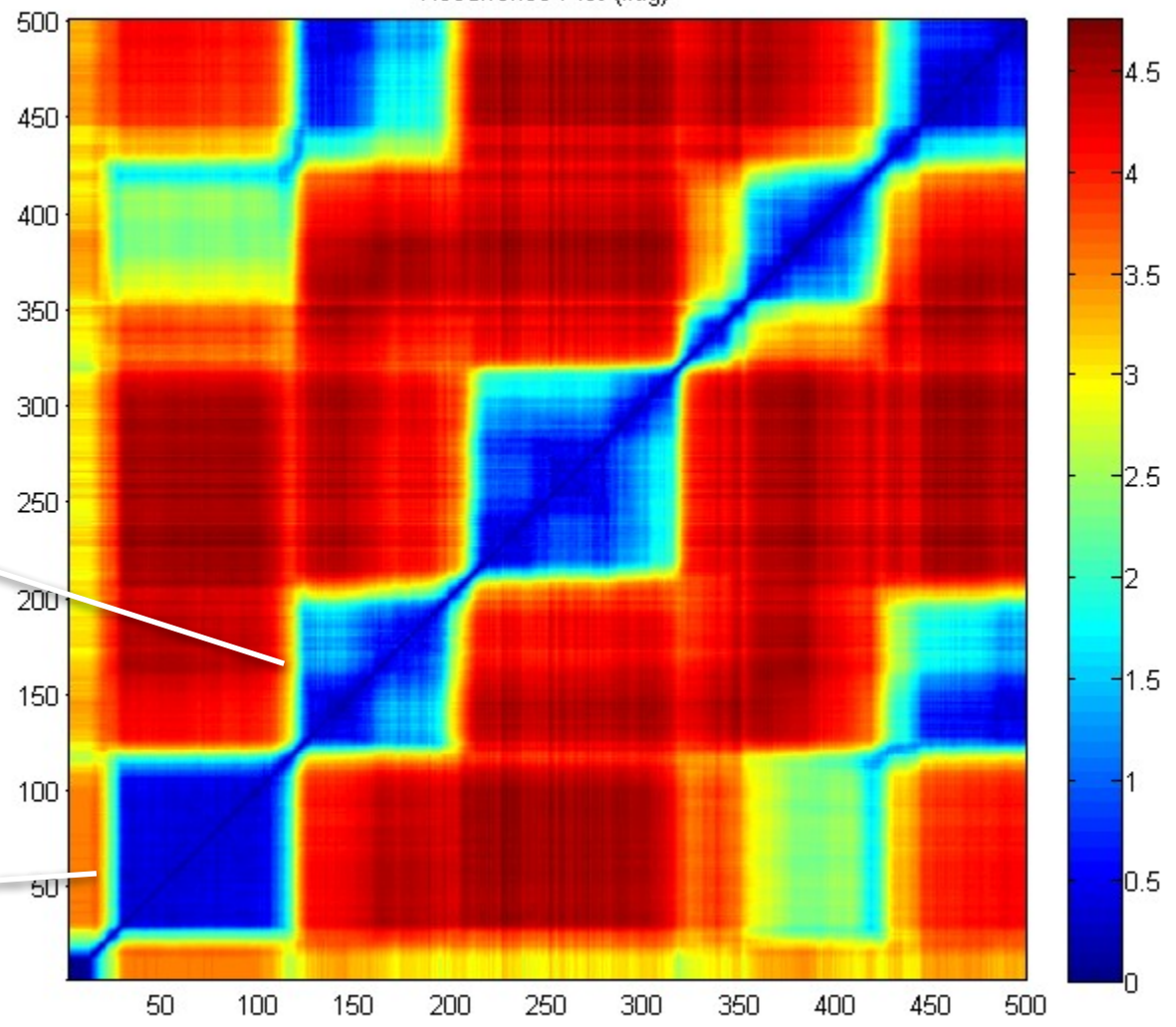
Nasz Viser toolbox (Dobosz, Duch) do wizualizacji szeregów czasowych w wielu wymiarach różnymi technikami.

rope



flag

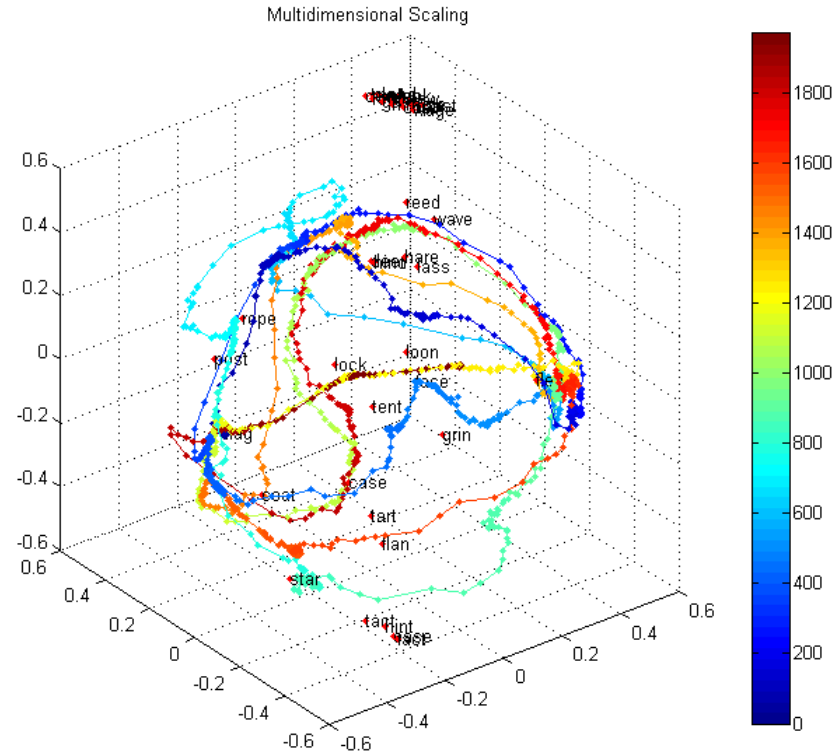
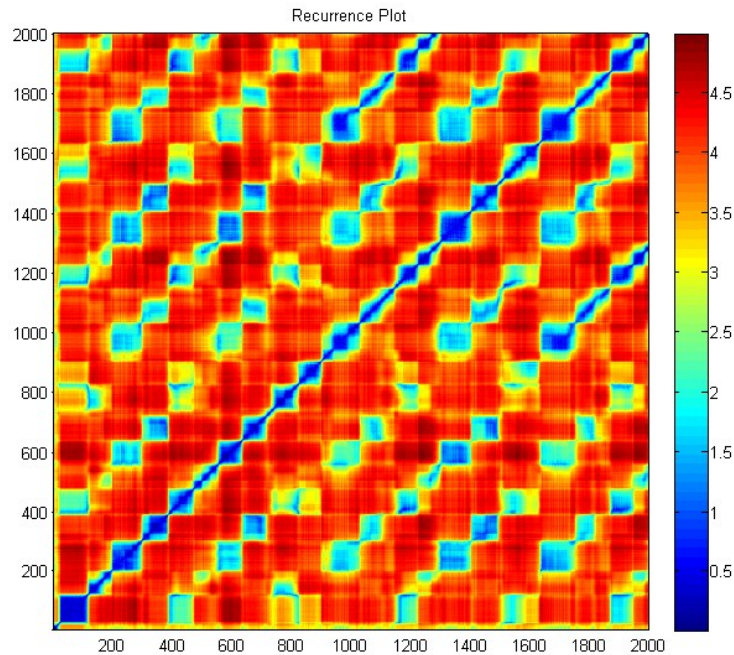
Recurrence Plot (flag)



Mikrostanany = wzorce podobnych aktywacji, przejścia do innych mikrostanów, dzielących wybrane elementy.

Od iteracji 450-500 podobny rozkład jak od 120-200.

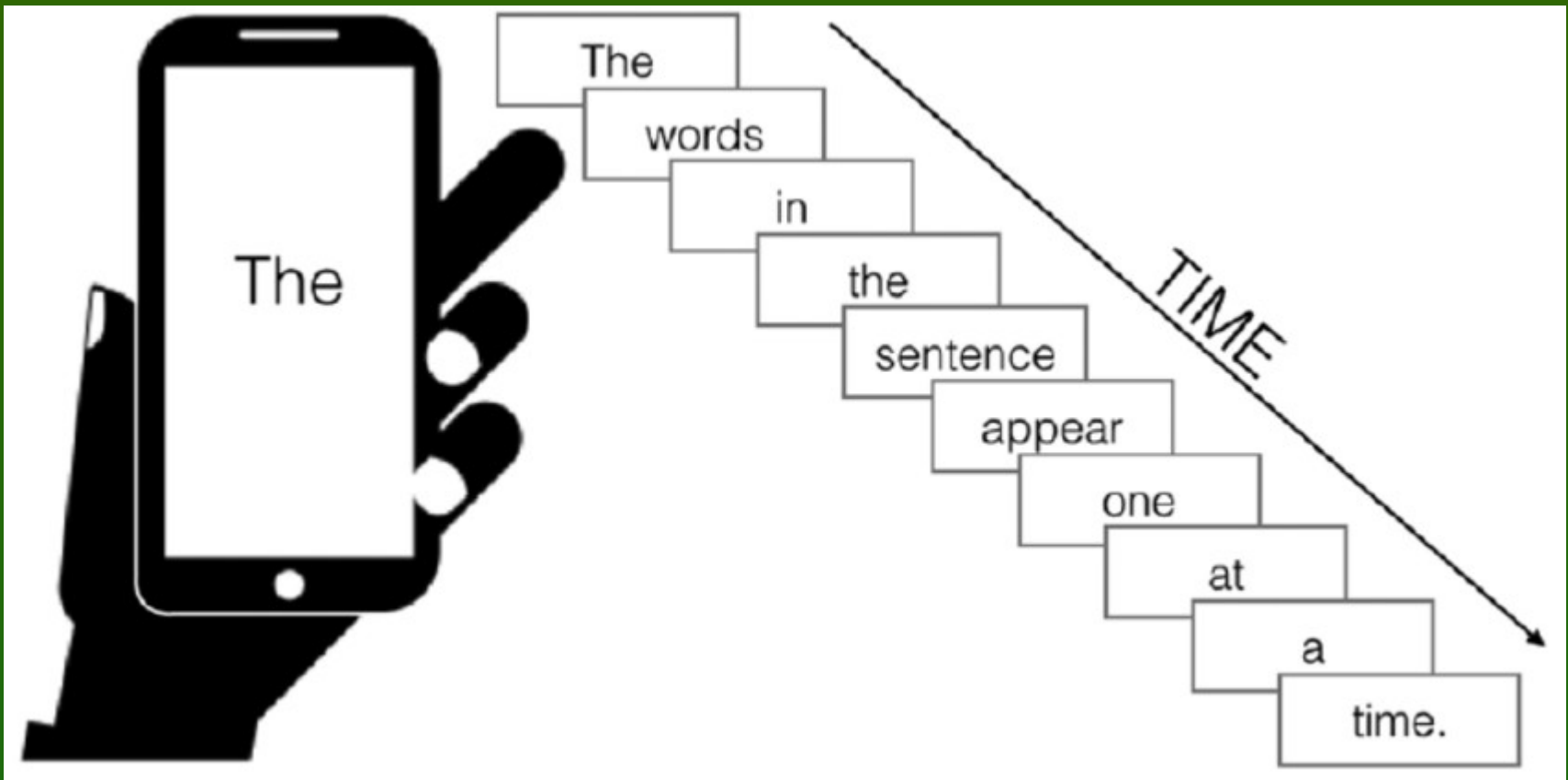
# Trajectory visualization



Wykresy rekurencji i różne formy wizualizacji trajektorii (MDS/FSD/SNE) obrazują przejścia pomiędzy stanami reprezentującymi kolejne stany w sieci nauczonej reprezentacji 40 słów, startując od “flag” widać sekwencję skojarzeń.

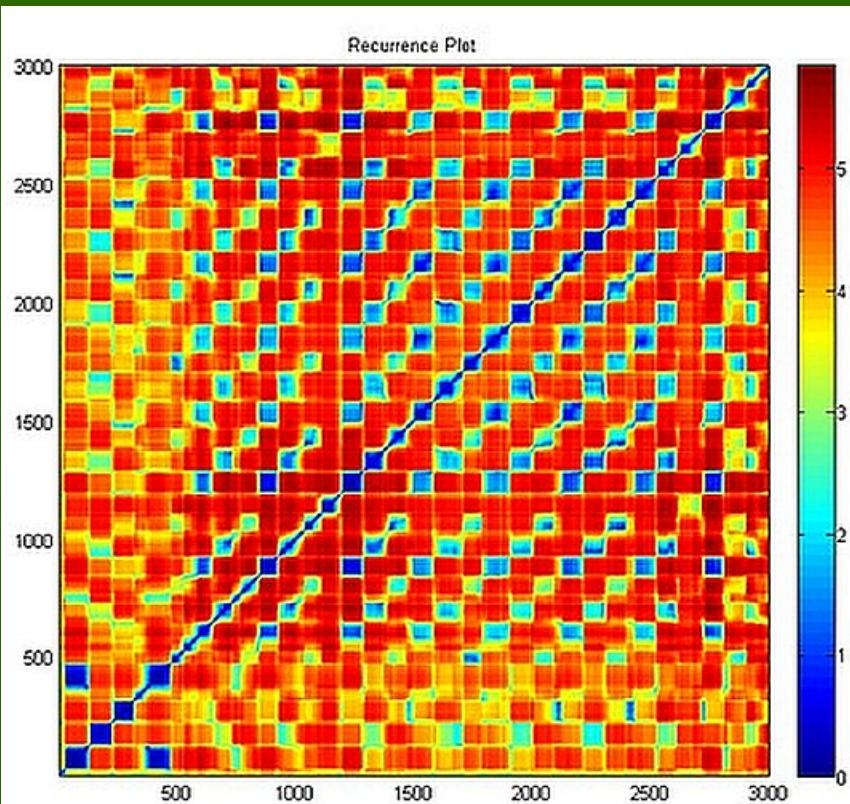
Rozumienie pojęć wymaga skojarzeń, kontekstu (pozadiagonalne aktywacje).

# Rapid Serial Visual Presentation

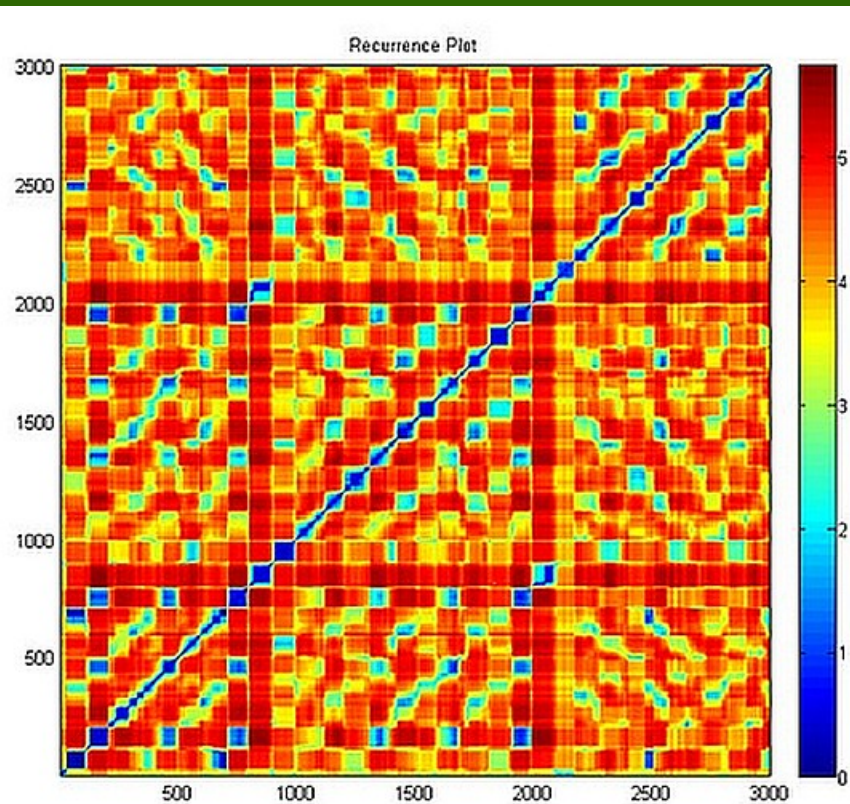


RSVP – wiele aplikacji do szybkiego czytania. Jak szybko mogą się synchronizować Wasze neurony? Kiedy przestajecie rozumieć? Symulacje: pokazujemy coraz szybciej serię słów. Czy pojawi się mikrostan w warstwie semantycznej ( $\Leftrightarrow$  zrozumienie słowa)?

# RSVP: normalny mózg



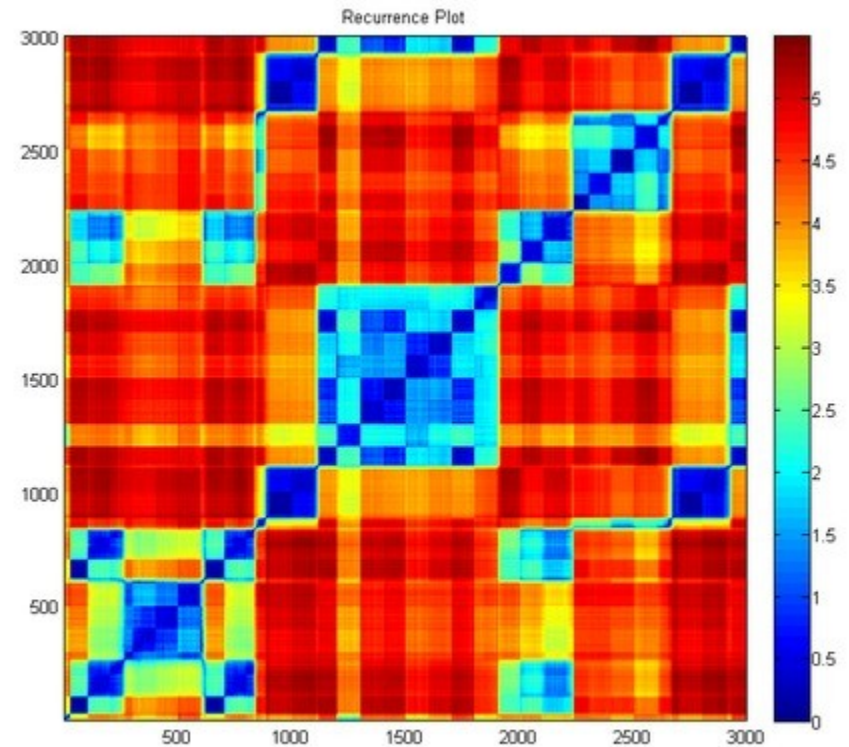
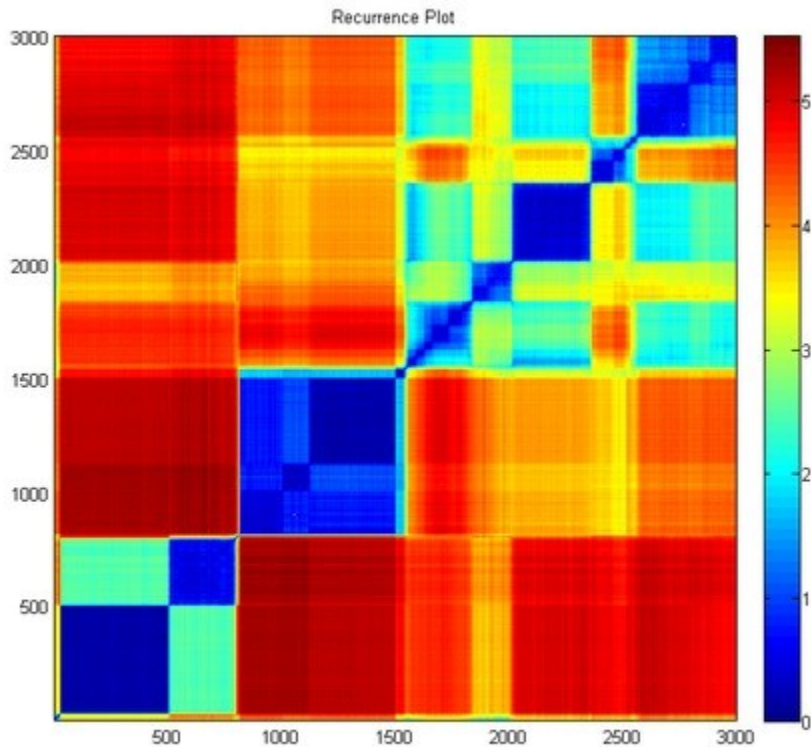
normala szybkość  
mikrostany formują się=zrozumienie



Norma

5x szybciej  
mikrostany się rozmywają

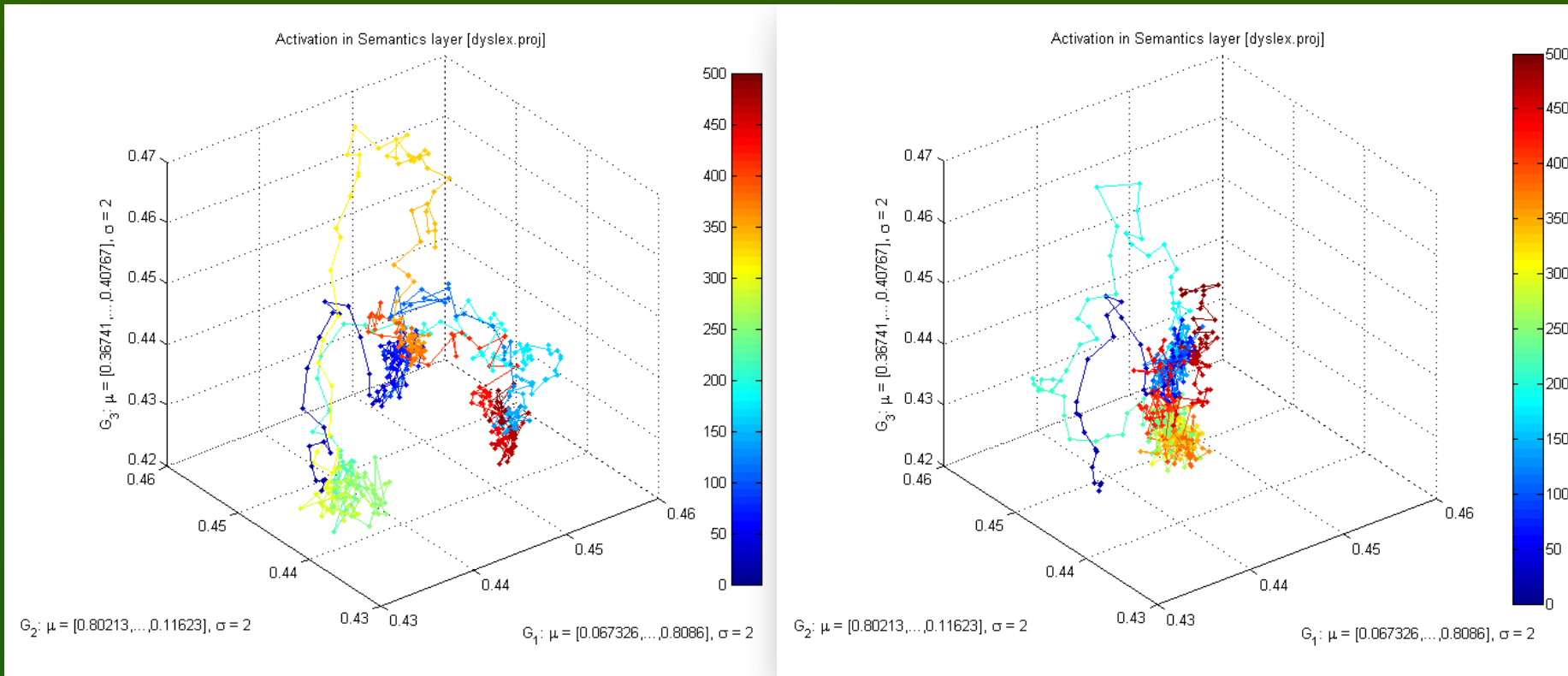
# Symulacje RSVP w ASD



Nie działają kanały jonowe upływu => trudności w przenoszeniu uwagi, autyzm.  
normalna szybkość                      zwiększona szybkość prezentacji  
wiele pominiętych słów                większa różnorodność wewnętrznych skojarzeń



# Norma-Autyzm



Trajektoria warstwy semantycznej (140 wym) dla słowa „flag”, różne wartości parametru kontrolującego kanały upływu (zmęczenie neuronów).

Tu neurony wolno się męczą i pozostają na długo zsynchronizowane: rezultat to ubóstwo myśli, problemy z przenoszeniem uwagi, koncentracja na prostych bodźcach, nawrót tej samej myśli, echolalia (powtarzanie bez zrozumienia).

# EEG wykrywa ASD



Bosl, W. J., Tager-Flusberg, H., & Nelson, C. A. EEG Analytics for Early Detection of Autism Spectrum Disorder: A data-driven approach. Scientific Reports (2018).

EEG dzieci 3-36 miesięcy, 19 elektrod wybranych z 64 lub 128.

Transformacja wavelet Daubechies (DB4) sygnału EEG do 6 pasm.

7 cech z analizy **Recurrence Quantitative Analysis** (RQA): RP entropy, recurrence rate, laminarity, repetition, max/mean line length, trapping time, plus sample entropy i Detrended Fluctuation Analysis.

9 nieliniowych cech sygnału EEG użyto do nauczania klasyfikatora SVM by przewidywać tendencje do zaburzeń ASD.

Klasyfikacja SVM dała wysoką czułość i wrażliwość, nawet na poziomie **95%**. Nawet w wieku 3 miesięcy widać silne korelacje z wynikami ocen psychiatrów za pomocą metod psychometrycznych.

Dotychczas poniżej 18 miesiąca życia nie udawało się postawić diagnozy.

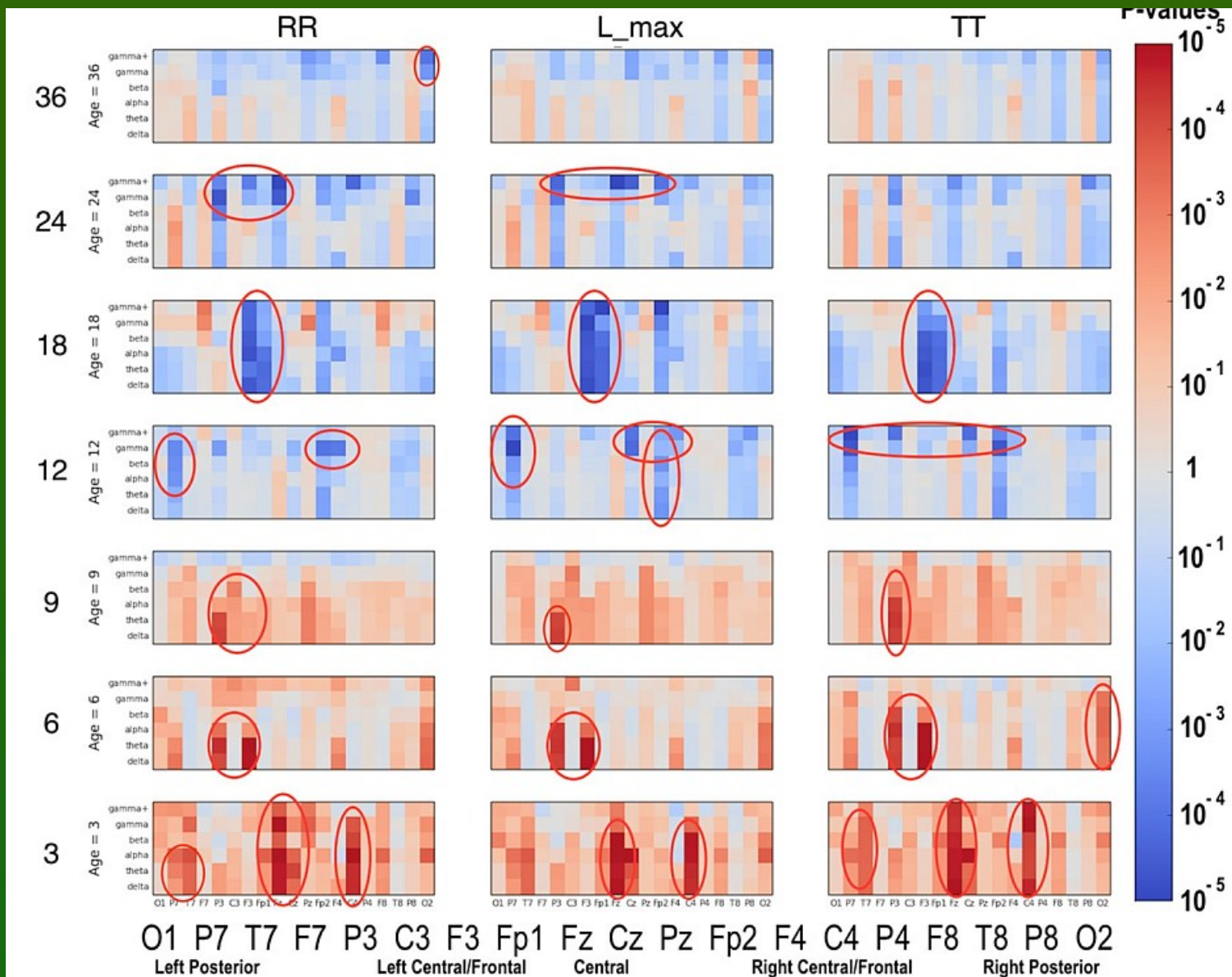
# Ryzyko ASD

RR =  
recurrence  
rate

L\_max = max  
długość linii,  
związana z  
wykładnikami  
Lyapunova.

TT = trapping  
time, trwanie  
mikrostanów.

Korelacje  
zmieniają się z  
wiekiem!

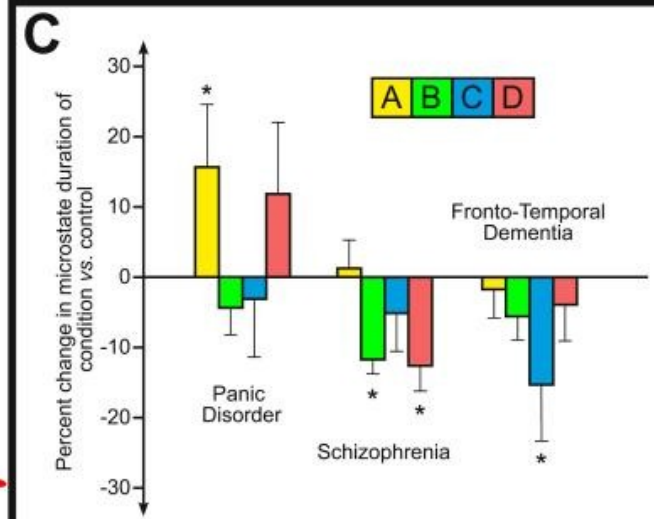
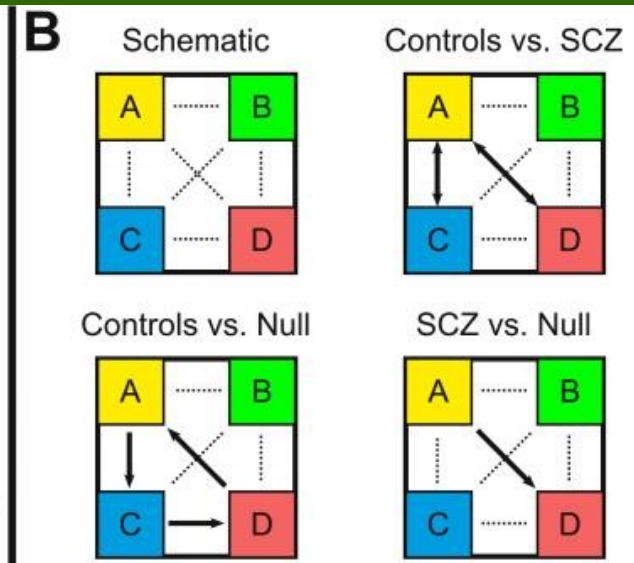
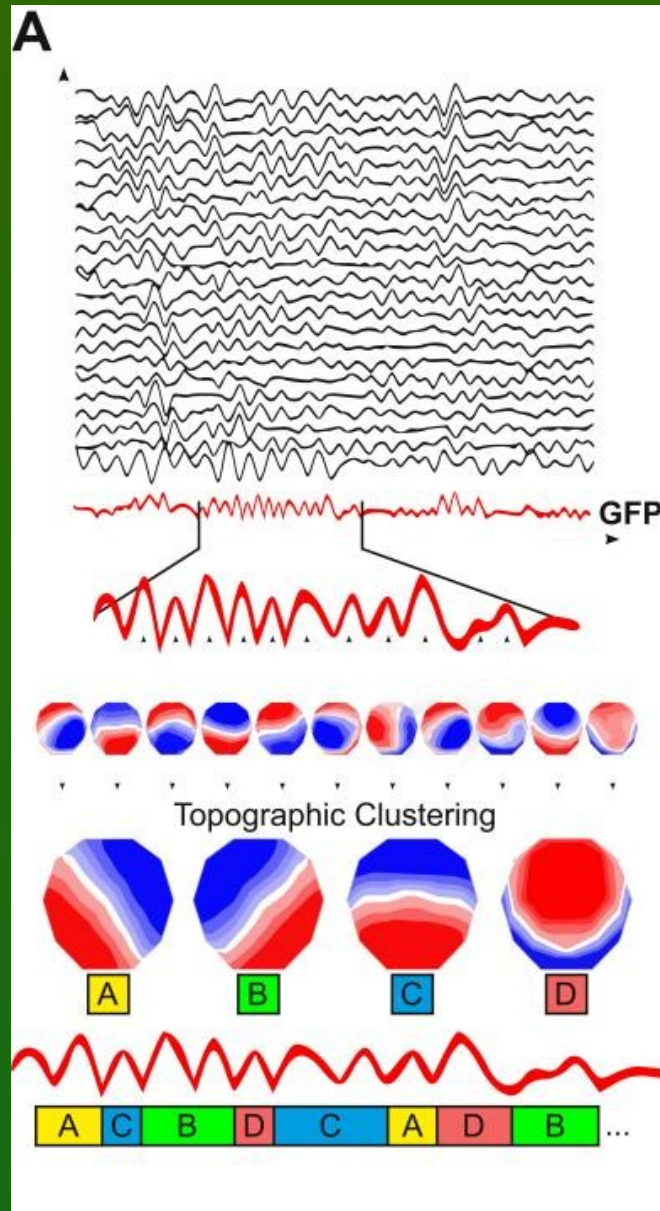


# Mikrostany

Lehmann et al.  
 EEG microstate  
 duration and syntax  
 in acute, medication-  
 naïve, first-episode  
 schizophrenia: a  
 multi-center study.  
 Psychiatry Research  
 Neuroimaging, 2005

Khanna et al.  
 Microstates in  
 Resting-State EEG:  
 Current Status and  
 Future Directions.  
*Neuroscience and  
 Biobehavioral  
 Reviews*, 2015

Dynamika  
 symboliczna



# Sieci w mózgu: przestrzeń dla neurodynamiki

# On the threshold of a dream ...

Cel: optymalizacja procesów mózgu!

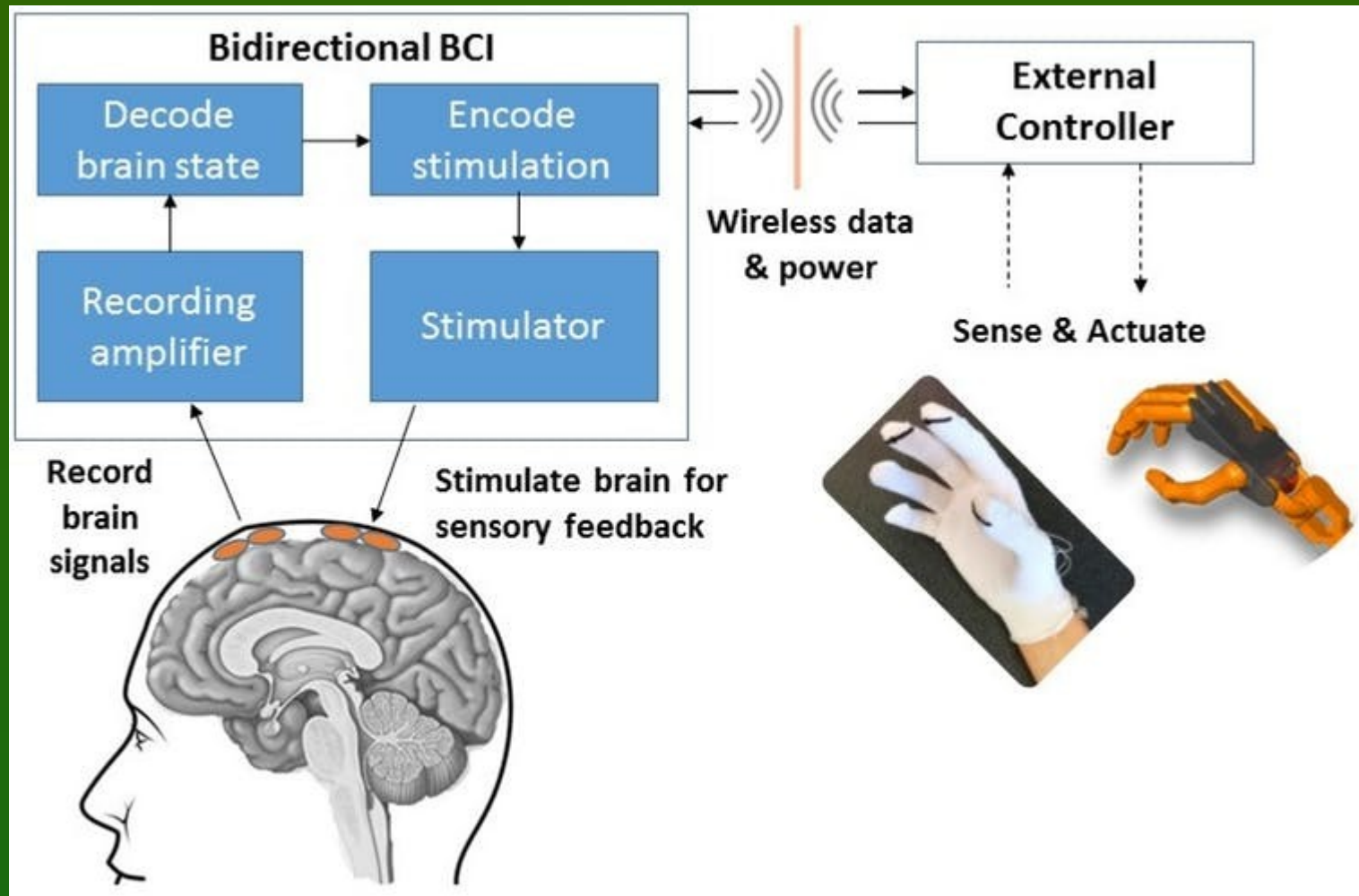
Mało kto zbliża się do wykorzystania pełnego potencjału mózgu, który można rozwinąć dzięki neuroplastyczności. Naprawa mózgów chorych i optymalizacja zdrowych wymaga zrozumienia procesów przetwarzania informacji

1. Szukamy źródeł (fingerprintów) specyficznej aktywności regionów i podsięci mózgu analizując dane z neuroobrazowania.
  2. Budowę architektury systemów kognitywnych, które pomagają zrozumieć jak pracuje mózg.
  3. Opracowanie nowych diagnostycznych i terapeutycznych procedur.
  4. Wykorzystanie procedur neurofeedback opartych o dekodowanie i zmiany siły połączeń w systemach stymulacji mózgu.
- G-tec wireless NIRS/EEG on my head.



Duch W, *Neurocognitive Informatics Manifesto*. 2009.

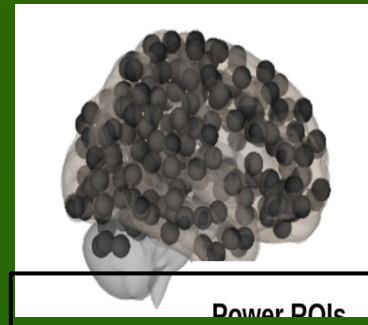
# BCBI: Mózg-Komputer-Mózg



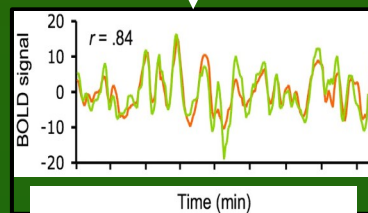
BCI + stymulacja mózgu = BCBI – zamknięta pętla, dzięki której mózg zaczyna się przebudowywać. Ciało można zastąpić sygnałami w Wirtualnej Rzeczywistości.

# Konektom z MRI/fMRI

Node definition (parcellation)

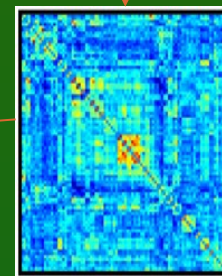


Signal extraction

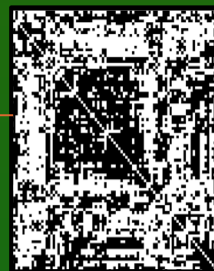


Correlation calculation

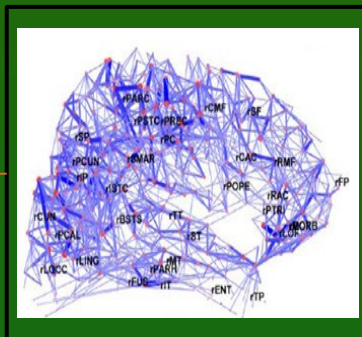
Correlation matrix



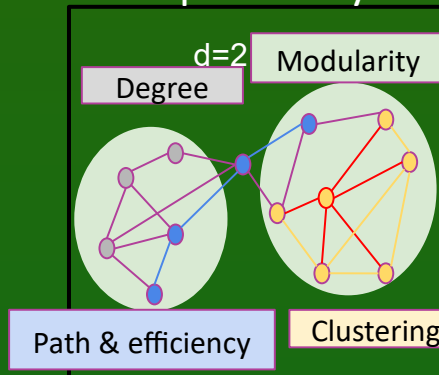
Binary matrix



Whole-brain graph



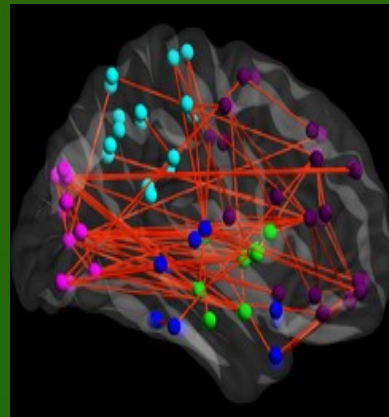
Graph theory



Structural connectivity



Functional connectivity



Many toolboxes available for such analysis.

Bullmore & Sporns (2009)

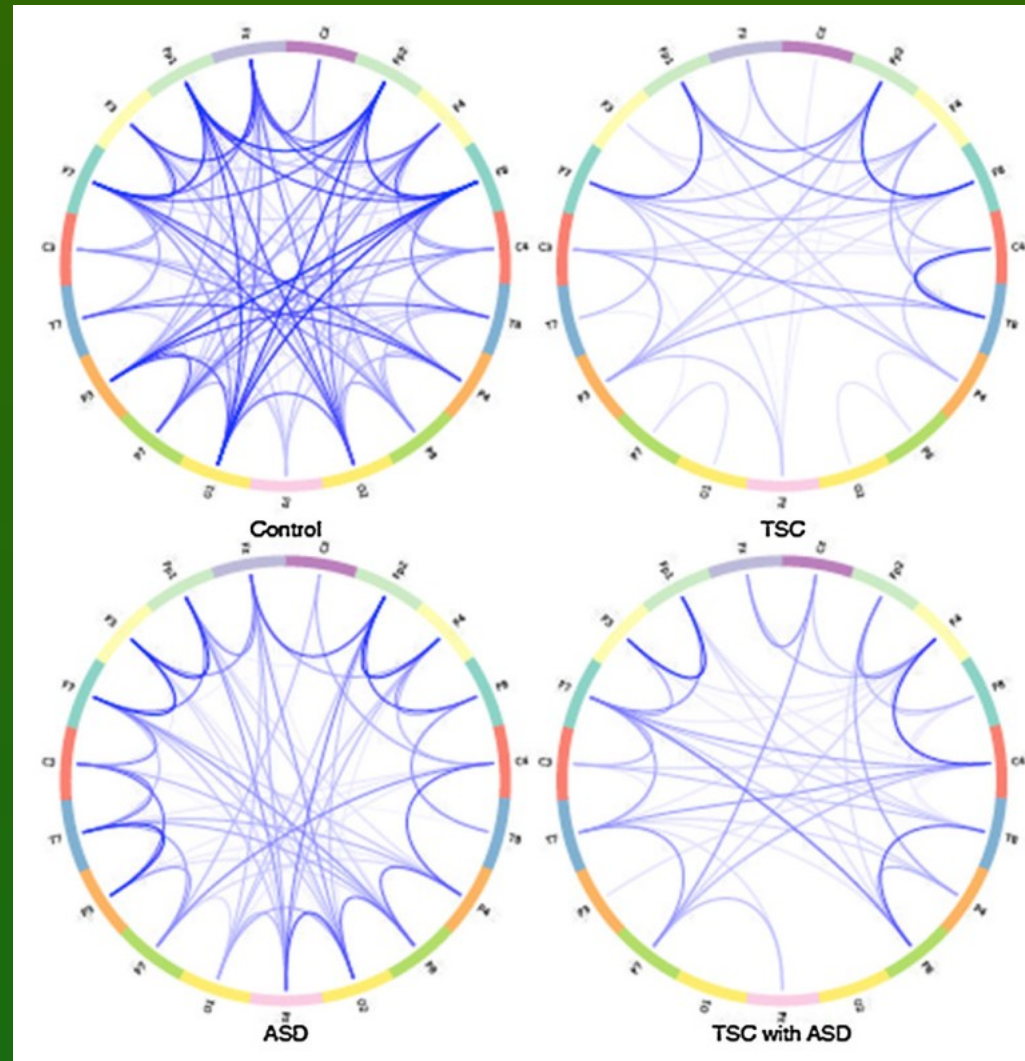


# ASD: patologie połączeń

Porównanie połączeń wybranych obszarów mózgu u pacjenta z ASD, TSC (stwardnienie guzowate, rzadka choroba genetyczna), i ASD+TSC.

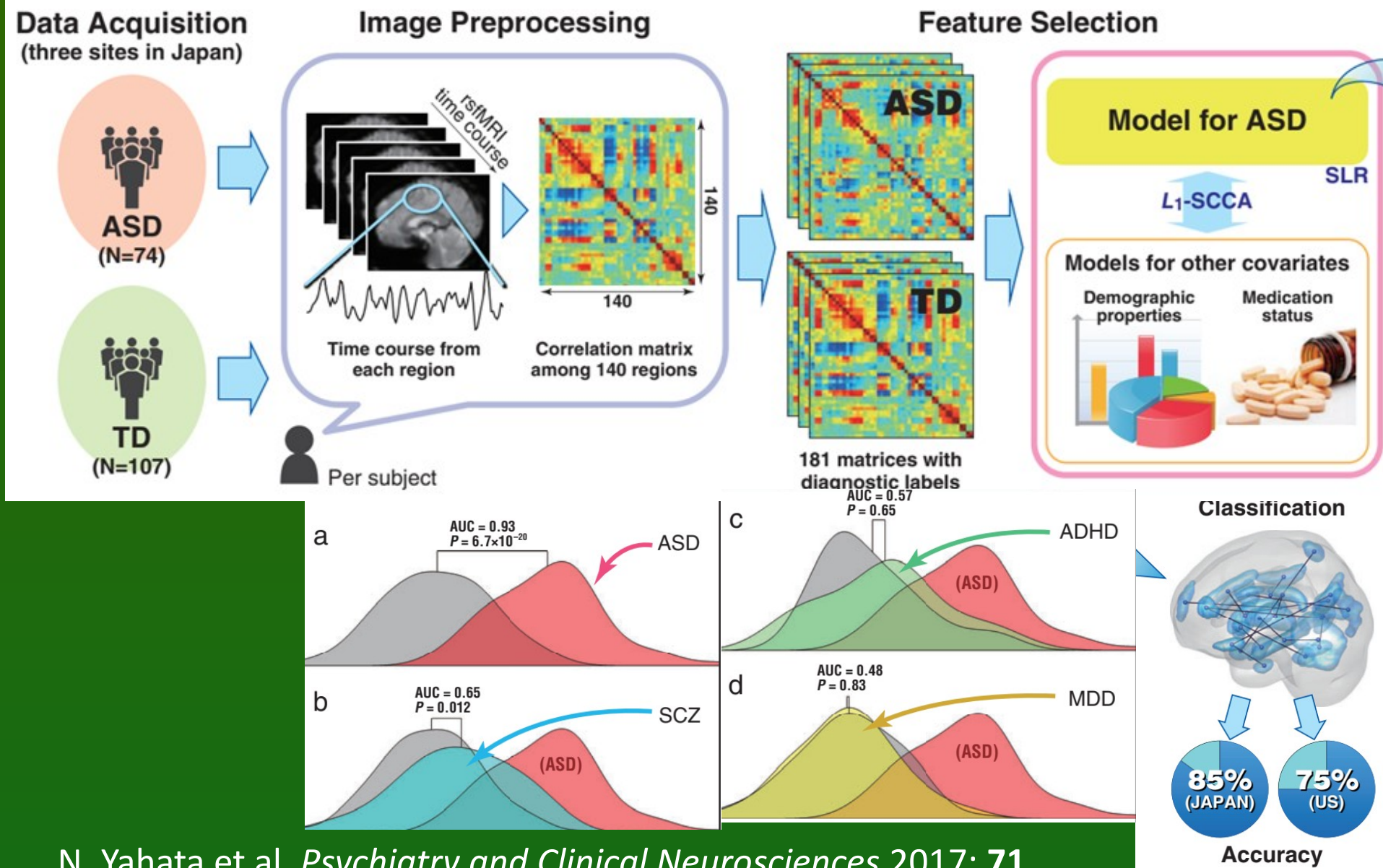
Widać słabe lub całkiem brakujące połączenia pomiędzy odległymi od siebie obszarami.

Takie połączenia konieczne są do realizacji złożonych funkcji.

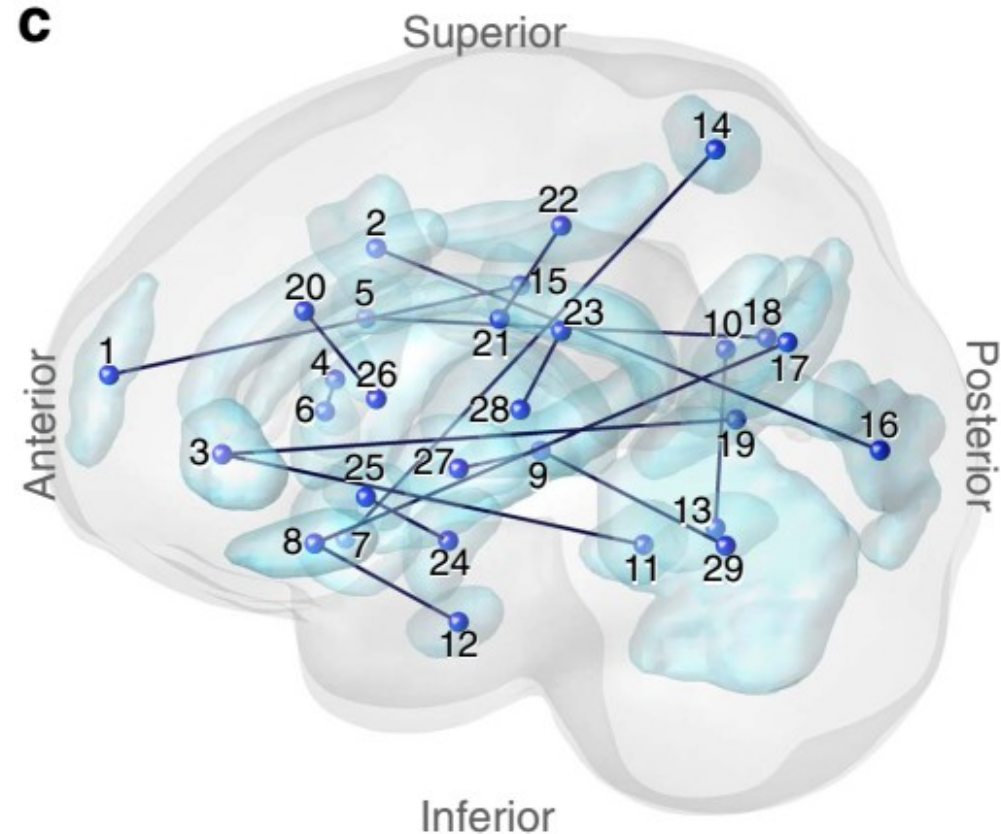
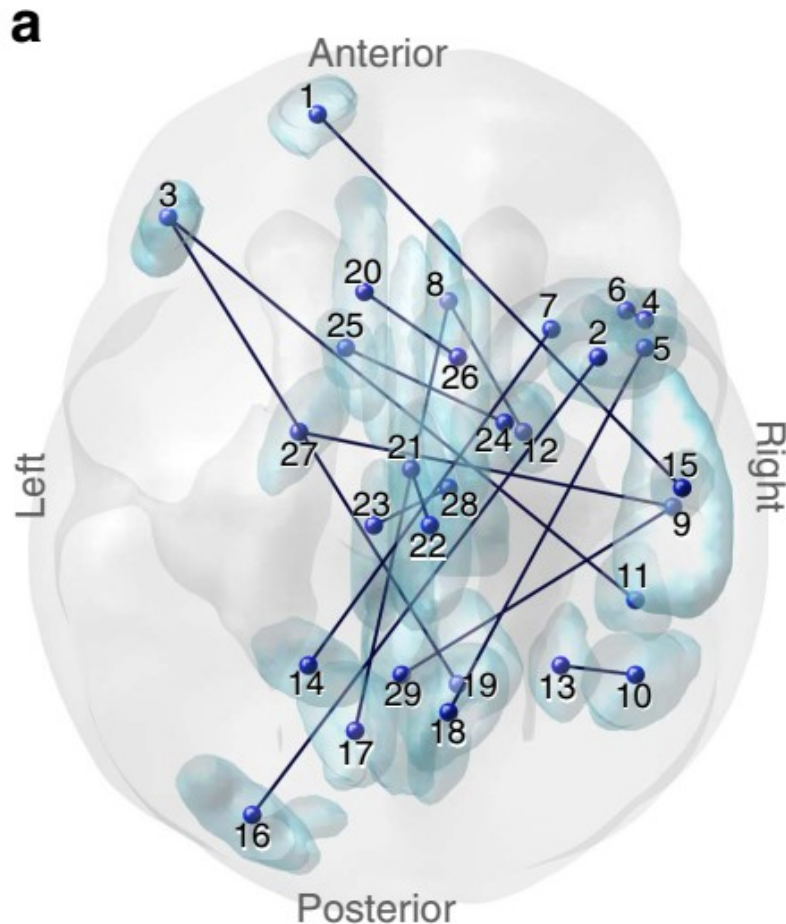


J.F. Glazebrook, R. Wallace, Pathologies in functional connectivity, feedback control and robustness. Cogn Process (2015) 16:1–16

# Diagnoza oparta na fMRI



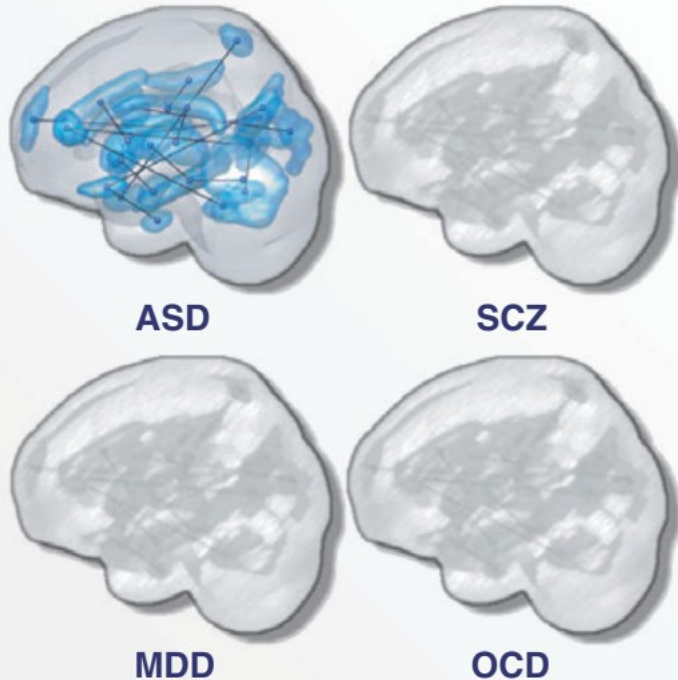
# Wybieramy najsilniejsze połączenia



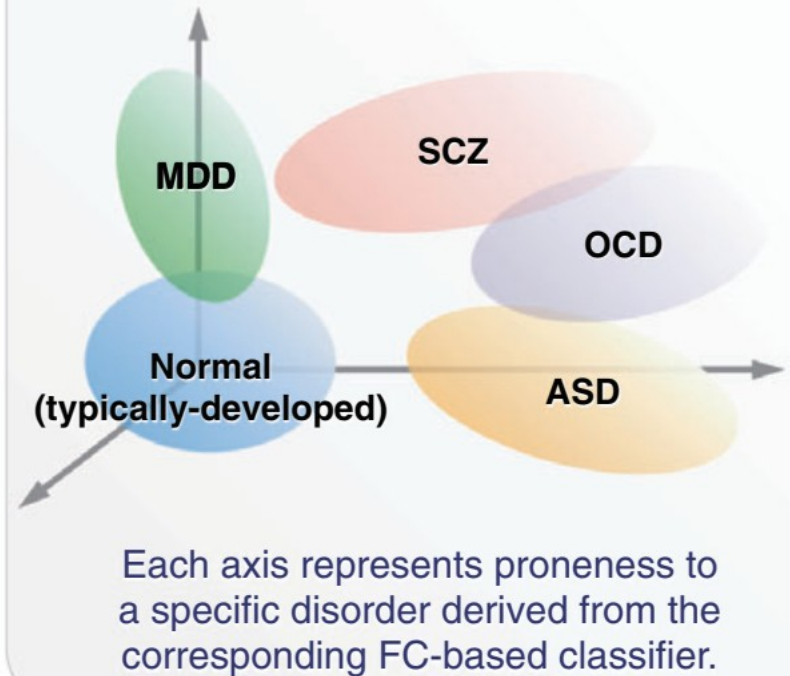
N. Yahata et al (2016): 29 wybranych regionów (ROI) i 16 połączeń wystarczy by rozpoznać ASD z dokładnością 85% dla 74 japońskich dorosłych pacjentów i 107 ludzi z grupy kontrolnej; ten sam model bez douczania ma dokładność 75% w USA.

# Obiektywne biomarkery zaburzeń

## Functional connectivity-based classifiers for mental disorders



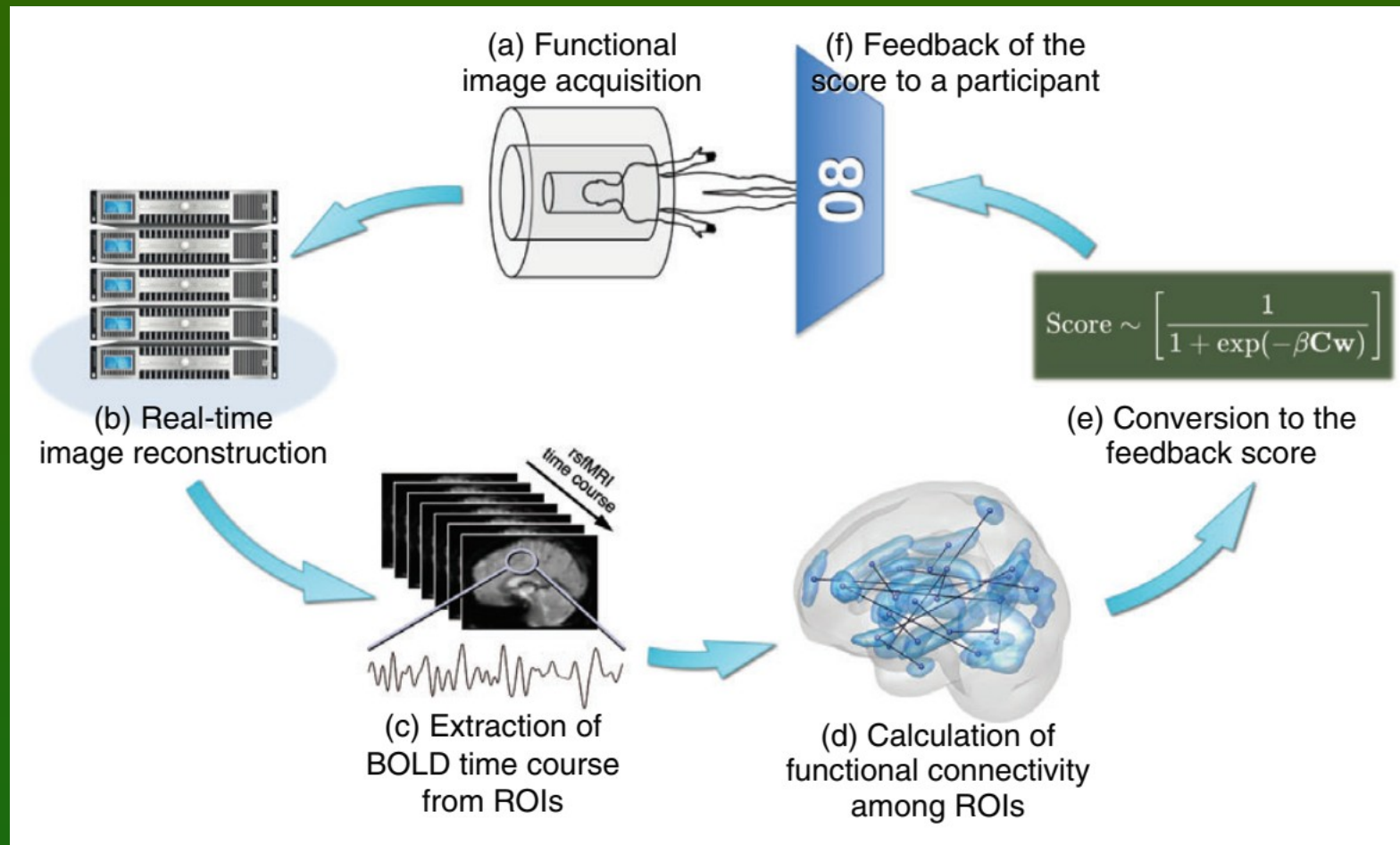
## Recasting current nosology in more biologically meaningful dimensions



MDD, major depressive disorder, SCZ, schizophrenia, OCD, obsessive compulsive disorder, na osiach ASD i SCZ.

N. Yahata et al, *Psychiatry and Clinical Neurosciences* 2017; **71**: 215–237

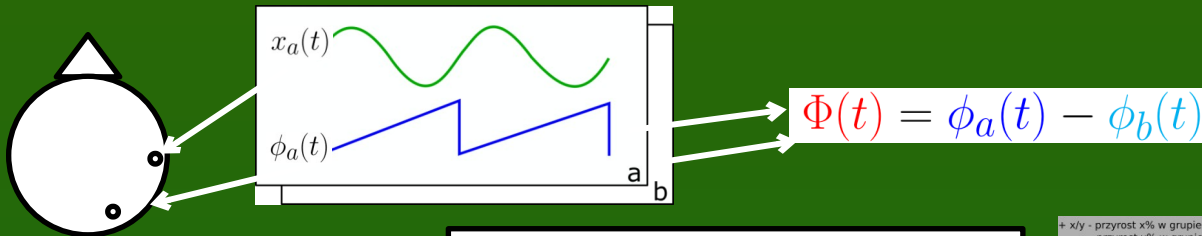
# Neurofeedback naprawi?



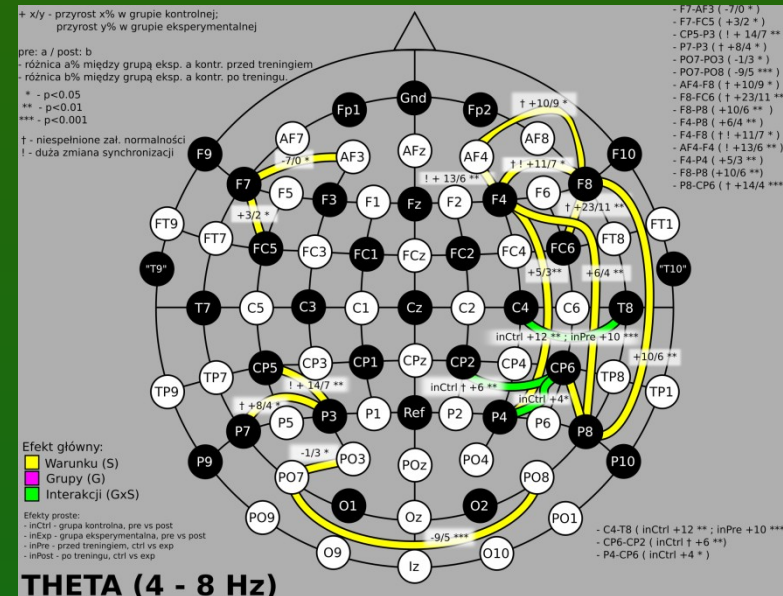
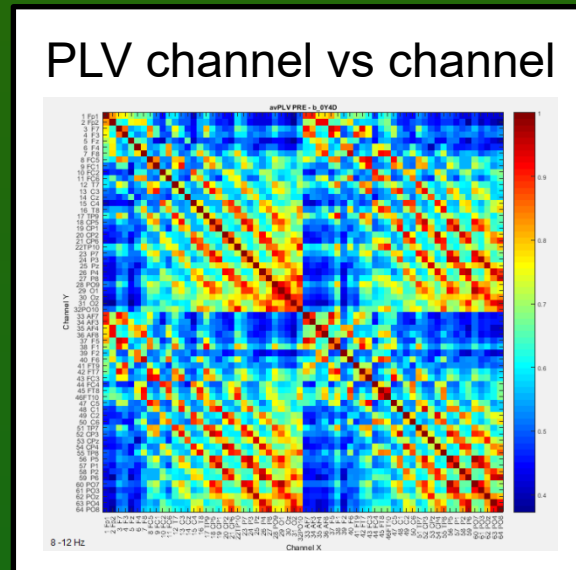
Megumi F, Yamashita A, Kawato M, Imamizu H. Functional MRI neurofeedback training on connectivity between two regions induces long-lasting changes in intrinsic functional network. *Front. Hum. Neurosci.* 2015; 9: 160.

# Zmiany połączeń funkcjonalnych

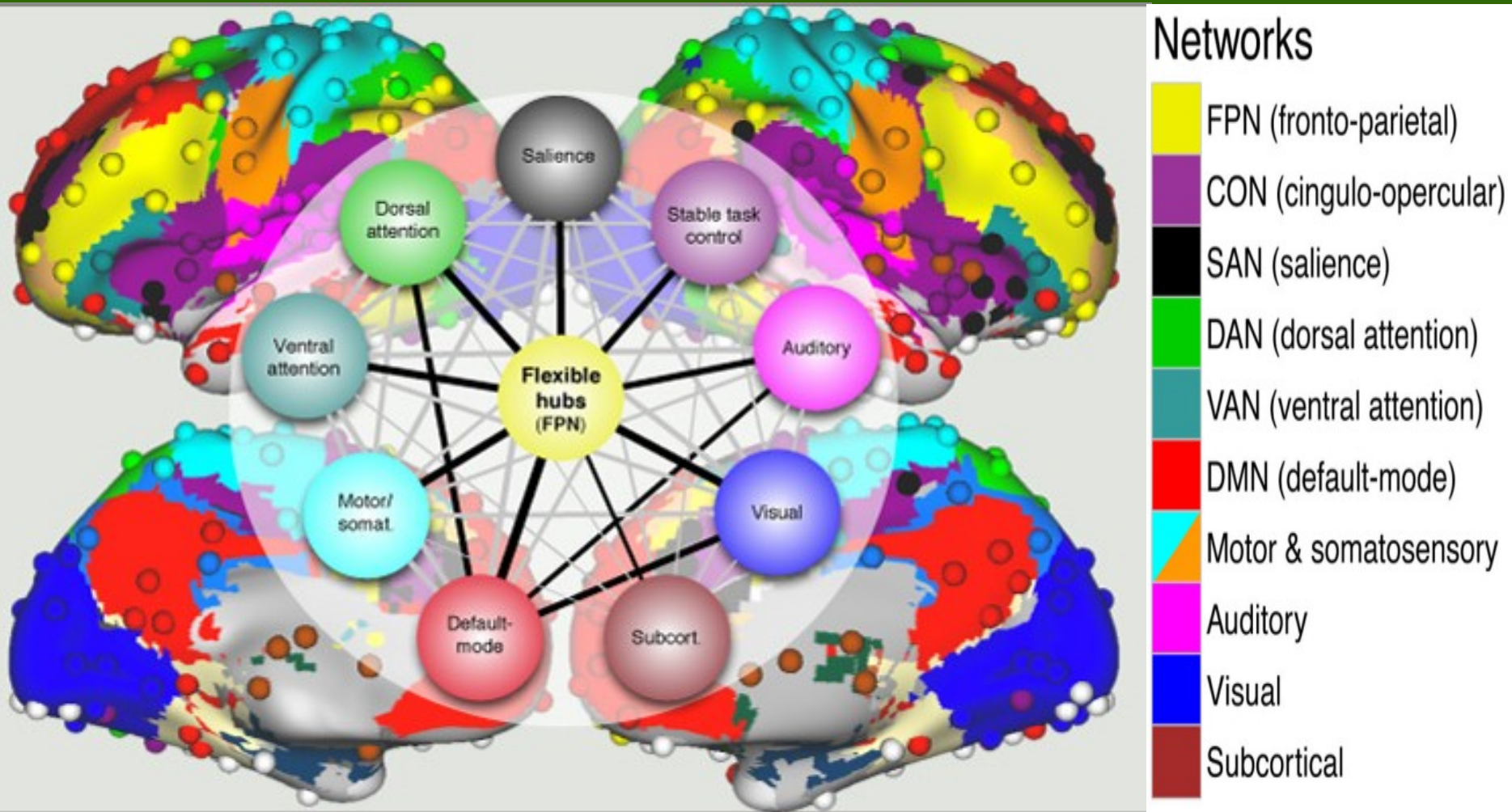
Wpływ gier komputerowych na pracę mózgu: badaliśmy indeksy blokowania fazowego (Phase Locking Value, PLV), uśrednione różnice faz pomiędzy elektrodami. PLV pokazuje przepływ informacji.



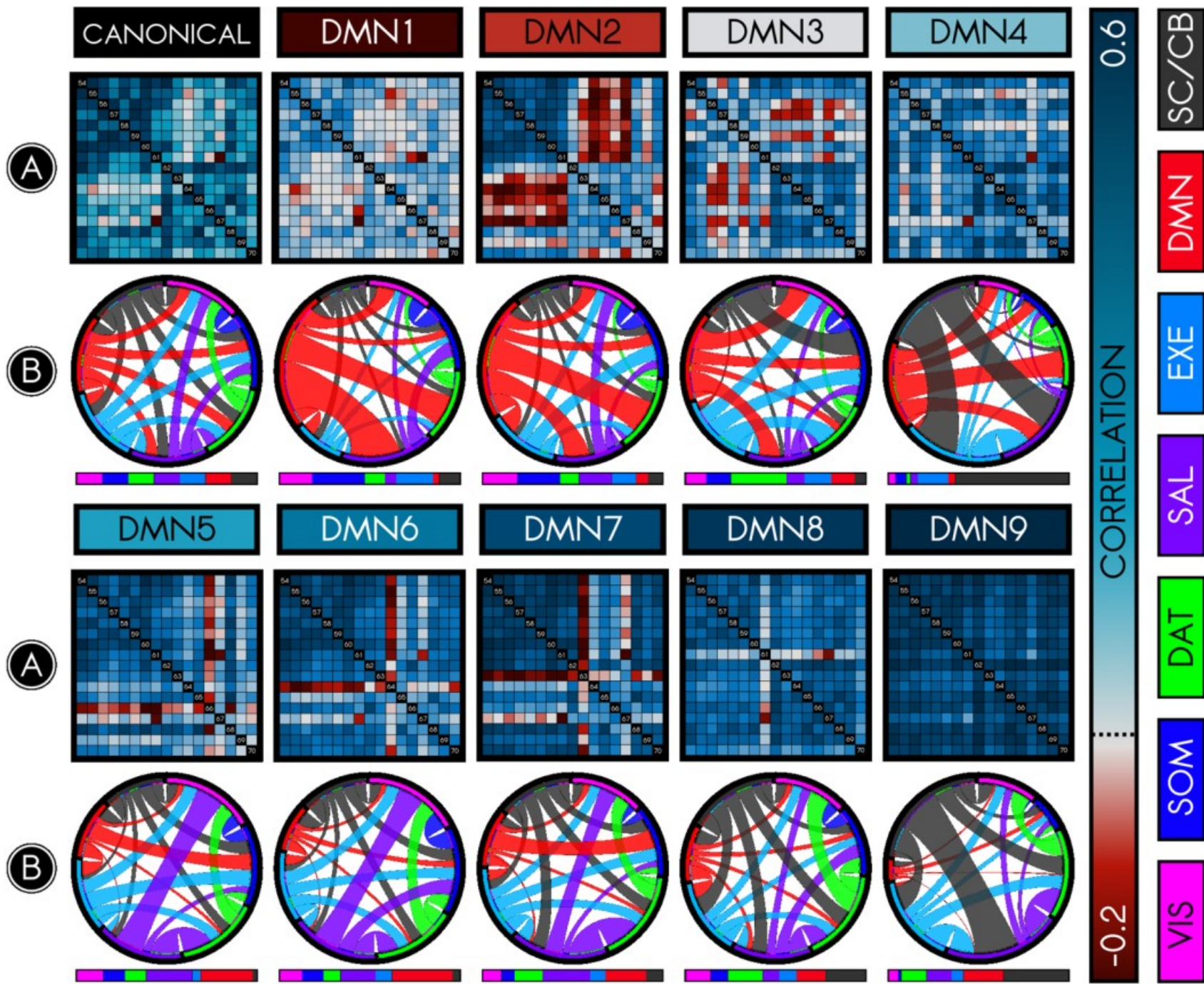
$$PLV(a, b) = \frac{1}{T} \left| \sum_t e^{i\Phi(t)} \right|$$



# Neurocognitive Basis of Cognitive Control



Central role of fronto-parietal (FPN) flexible hubs in cognitive control and adaptive implementation of task demands (black lines=correlations significantly above network average). Cole et al. (2013).





# EEG –symulacja wprost

Problem wprost:  
źródła => obserwacje.

Symulacja propagacji  
sygnału od źródeł przez  
różne tkanki.

Zwykle uwzględnia się od  
3-12 typów tkanek,  
dokładną geometrię głowy.

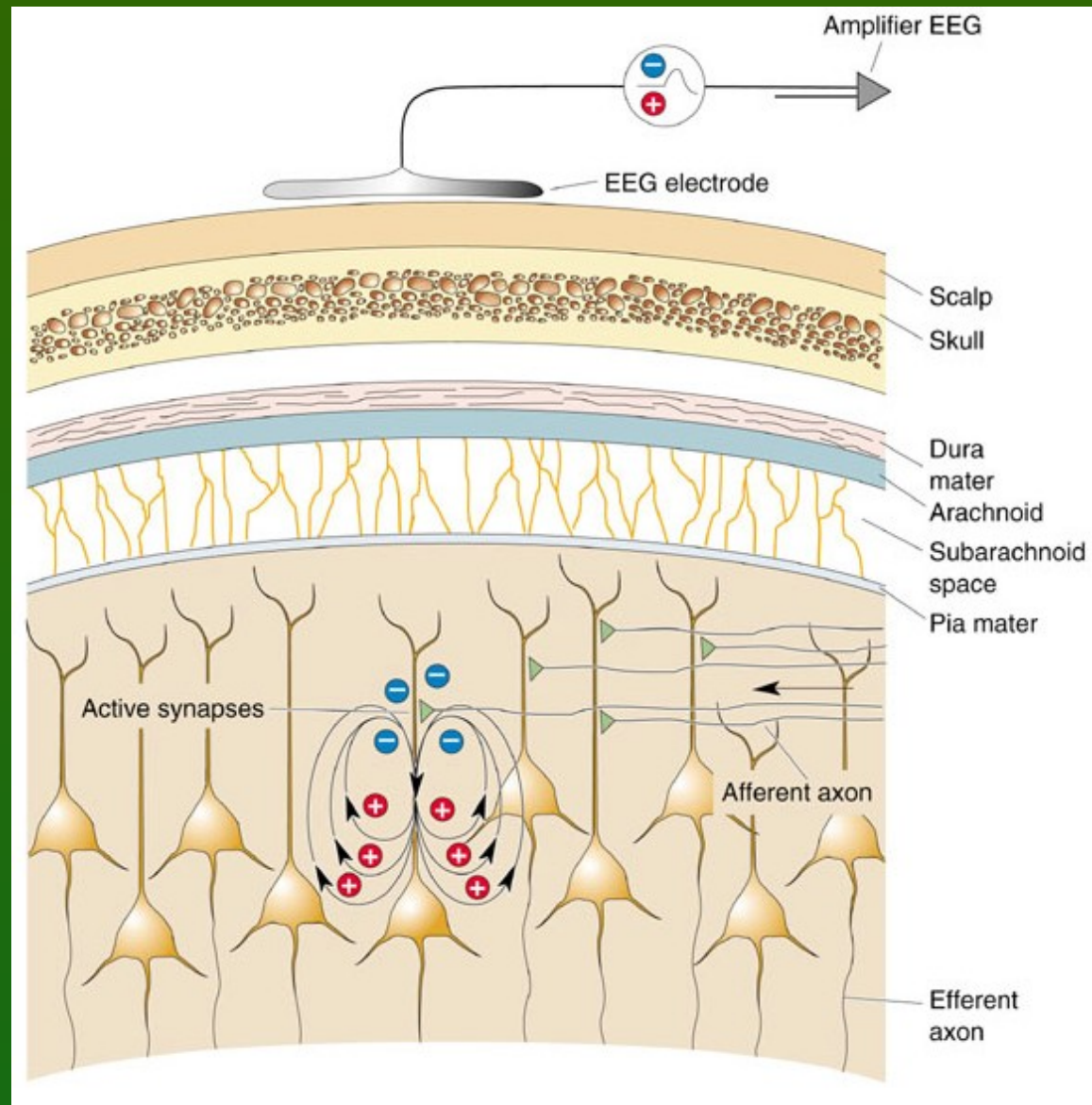
Obserwowany sygnał:

$$\Phi = K(\theta) j + \varepsilon$$

K = leadfield matrix

Rozwiązanie: Finite  
Element Method (FEM),  
Boundary Element Method  
(BEM).

Segmentacja +  
rekonstrukcja to parę dni



# EEG lokalizacja i rekonstrukcja

ECD



$$\hat{d}_j = \operatorname{argmin} \left\| \phi - \sum_j \mathcal{K}_j d_j \right\|_F^2$$

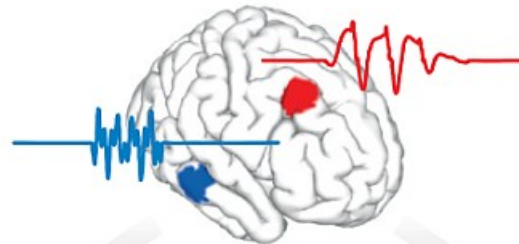
Rotating dipole

- Moving
- Rotating
- Fixed

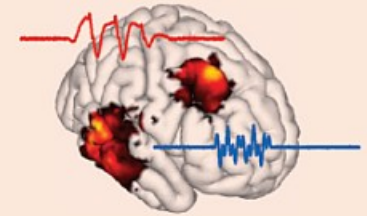
Dipole model



Distributed model



MN ( $\ell_2$ ) family



$$\hat{j} = \operatorname{argmin}_j \left\| \phi - \mathcal{K}j \right\|_2^2 + \lambda \left\| j \right\|_2^2$$

$$\hat{j} = \mathcal{T}\phi = \mathcal{K}^\top (\mathcal{K}\mathcal{K}^\top + \lambda I)^\dagger \phi$$

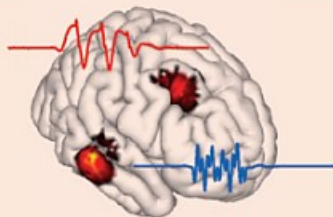
MN

- MN
- WMN
- LORETA

He et al. Rev. Biomed Eng  
(2018) Sparse and Bayesian framework

Beamforming and scanning algorithms

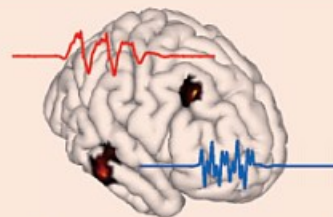
Nonlinear post hoc normalization



$$\hat{j} = \operatorname{argmin}_j \left\| \mathcal{V}j \right\|_1 + \alpha \left\| j \right\|_1$$

$$\text{S.T. } \left\| \phi - \mathcal{K}j \right\|_{\Sigma^{-1}}^2 \leq \epsilon^2$$

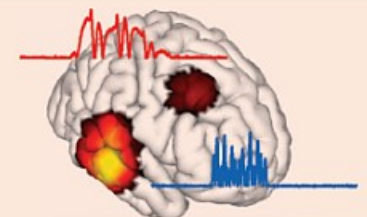
IRES



$$\hat{w}_r = \operatorname{argmin}_{w_r} w_r^\top \mathcal{R}_\phi w_r$$

$$\text{S.T. } \begin{cases} \mathcal{K}_r^\top w_r = \xi_1; \hat{j} = w^\top \phi \\ w_r^\top w_r = 1 \end{cases}$$

Beamformer (VBB)



$$\hat{j}_{mn} = \mathcal{T}_{mn}\phi$$

$$S_j = \mathcal{K}^\top (\mathcal{K}\mathcal{K}^\top + \alpha I)^\dagger \mathcal{K}$$

$$\hat{j}_{sl} = \hat{j}_{mn}(\ell)^\top \left( [S\hat{j}]_{\ell\ell} \right)^{-1} \hat{j}_{mn}(\ell)$$

sLORETA

# SupFunSim

SupFunSim: nasza biblioteka/tollbox Matlab, modele wprost dla EEG/MEG

Liczne filtry przestrzenne do rekonstrukcji źródeł EEG: linearly constrained minimum-variance (LCMV), eigenspace LCMV, nulling (NL), minimum-variance pseudo-unbiased reduced-rank (MV-PURE) ...

Source-level directed connectivity analysis: partial directed coherence (PDC), directed transfer function (DTF) measures.

Oparta na pakiecie FieldTrip EEG/ MEG, modularność, obiektowo-

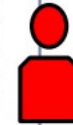
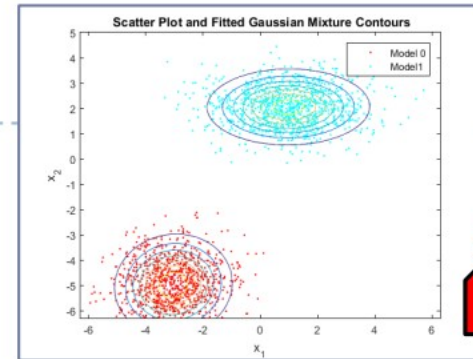
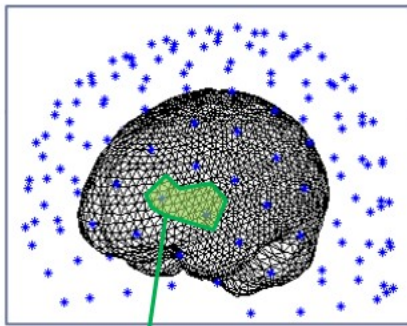
$$A := H_{Src,R} := R^{-1/2} H \quad (34)$$

$$B := H_{Src,N} := N^{-1/2} H \quad (35)$$

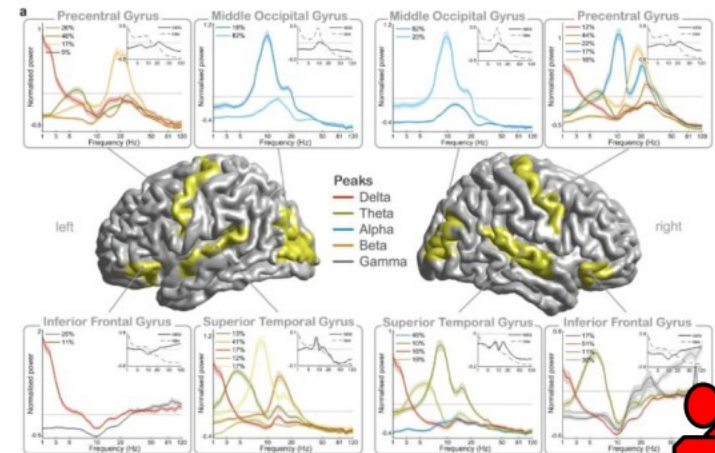
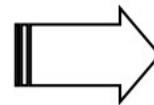
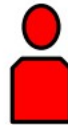
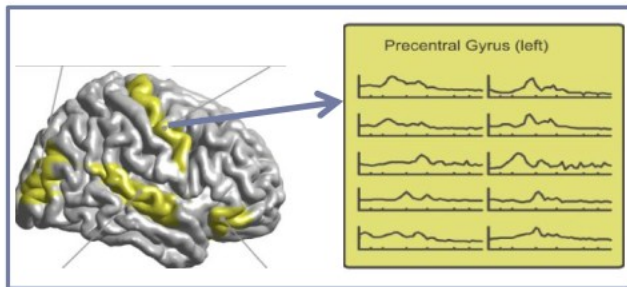
```
1 %%file calculate_H_Src.m
2 function model = calculate_H_Src(MODEL)
3     model = MODEL;
4
5     model.H_Src_R = pinv(sqrtm(model.R)) * model.H_Src;
6     model.H_Src_N = pinv(sqrtm(model.N)) * model.H_Src;
7 end
```

Filtry przestrzenne, liczba warstw w modelu głowy, liczba elektrod.

# Spectral fingerprints: dynamika



Single subject



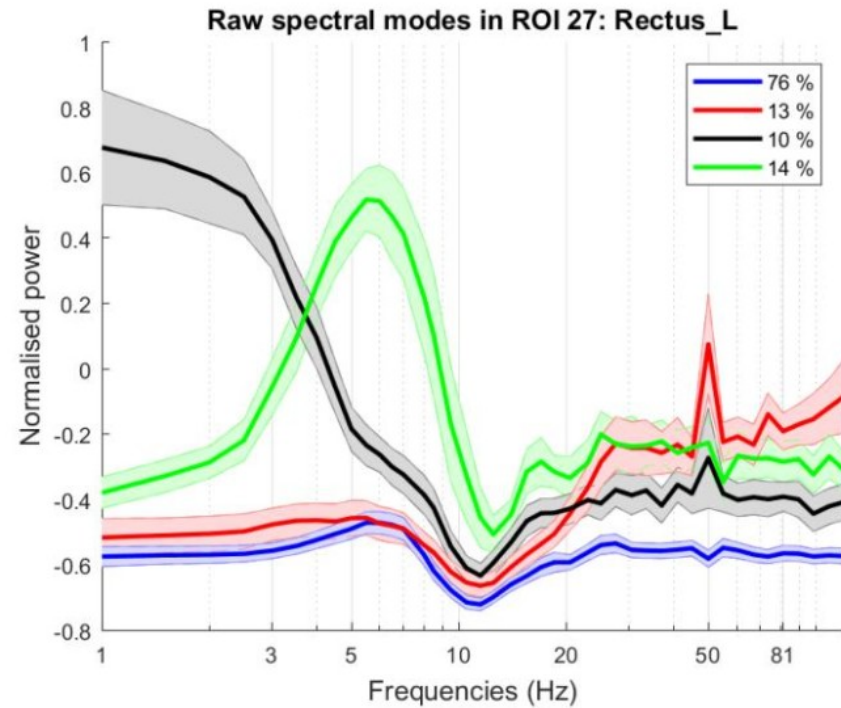
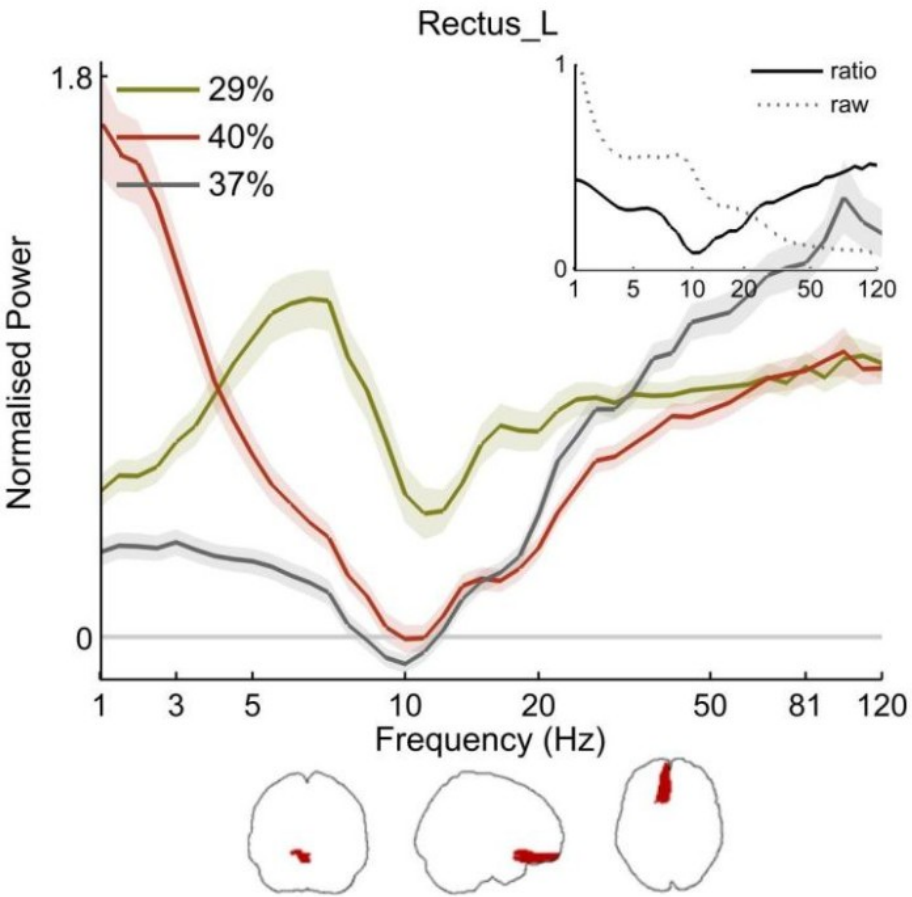
Group model

5

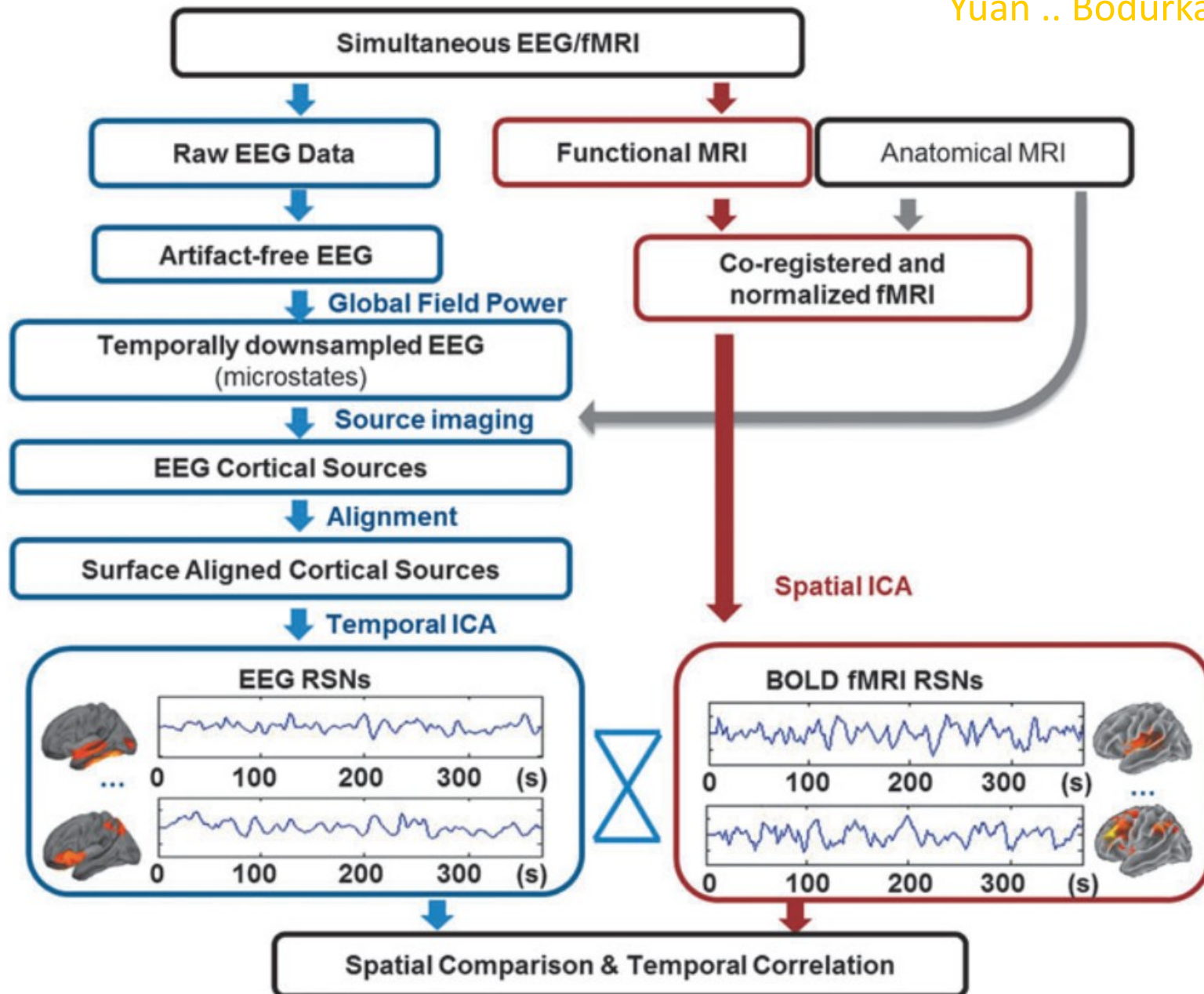
\* Pictures from Keitel & Gross 2016 and Fieldtrip beamforming tutorial

A. Keitel i J. Gross, „Individual human brain areas can be identified from their characteristic spectral activation fingerprints”, *PLoS Biol* 14(6), e1002498, 2016

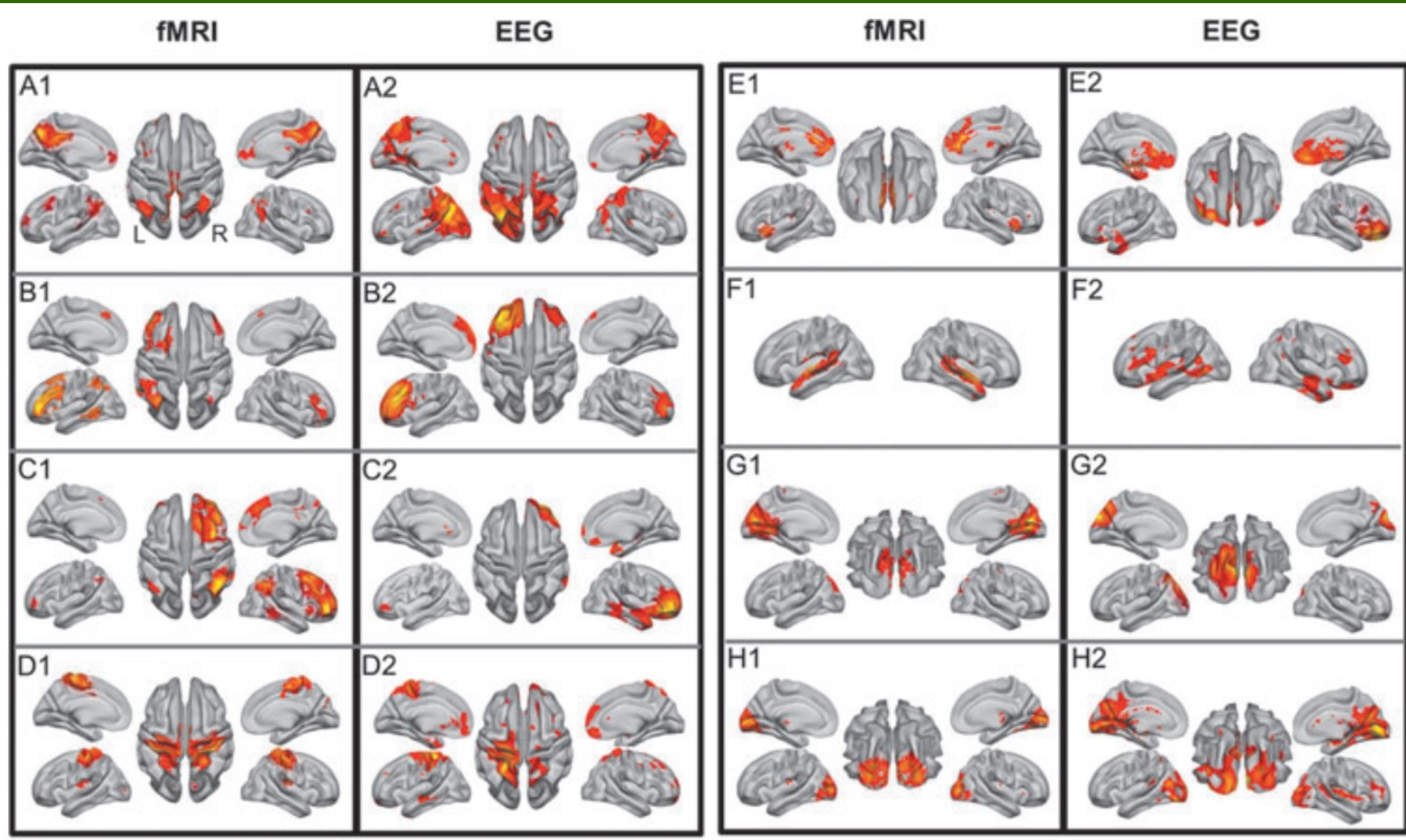
# Spectral fingerprints



A. Keitel i J. Gross, „Individual human brain areas can be identified from their characteristic spectral activation fingerprints”, *PLoS Biol*, 14(6), e1002498, 2016



# 8 sieci, porównanie fMRI-EEG



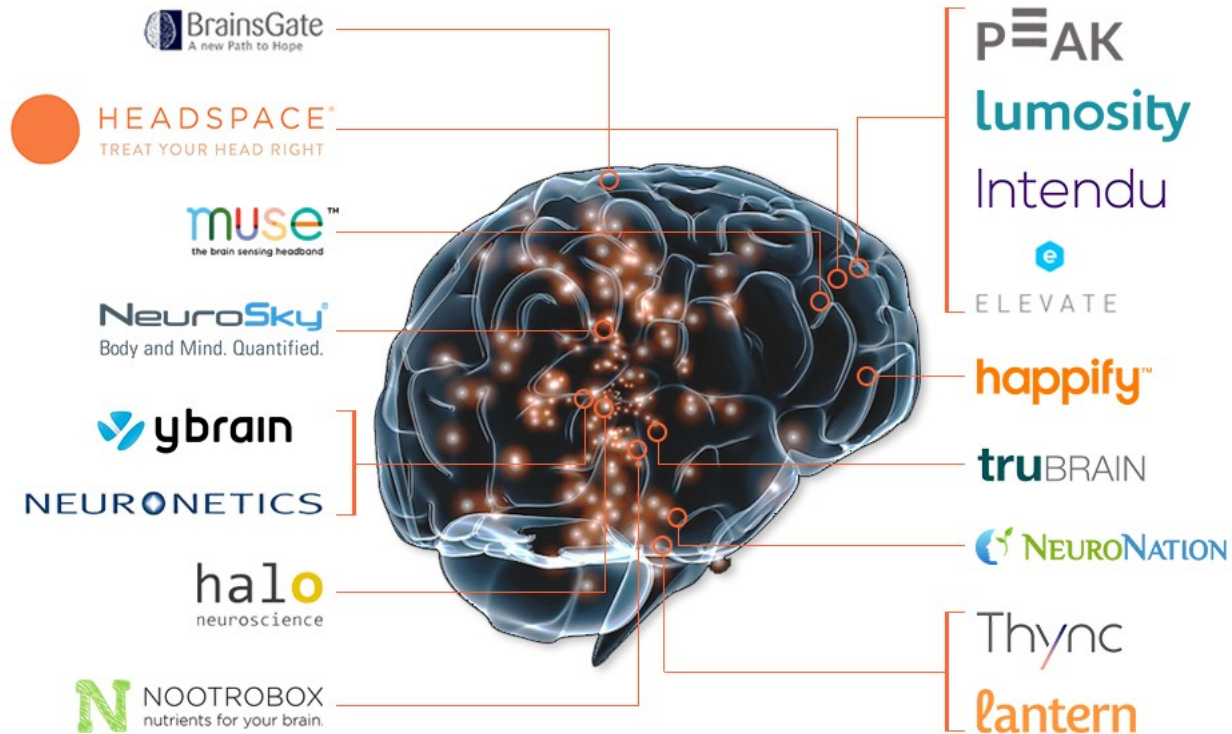
(A) DMN, (B,C) FP (frontoparietal)-left/right, (D) sensorimotor, (E) executive control, (F) auditory, (G) visual (medial), (H) visual (lateral). Ok. 150GB danych.

# Poprawianie mózgów



# Poprawianie mózgów

## BOOSTING THE BRAIN: 17 Startups to Watch



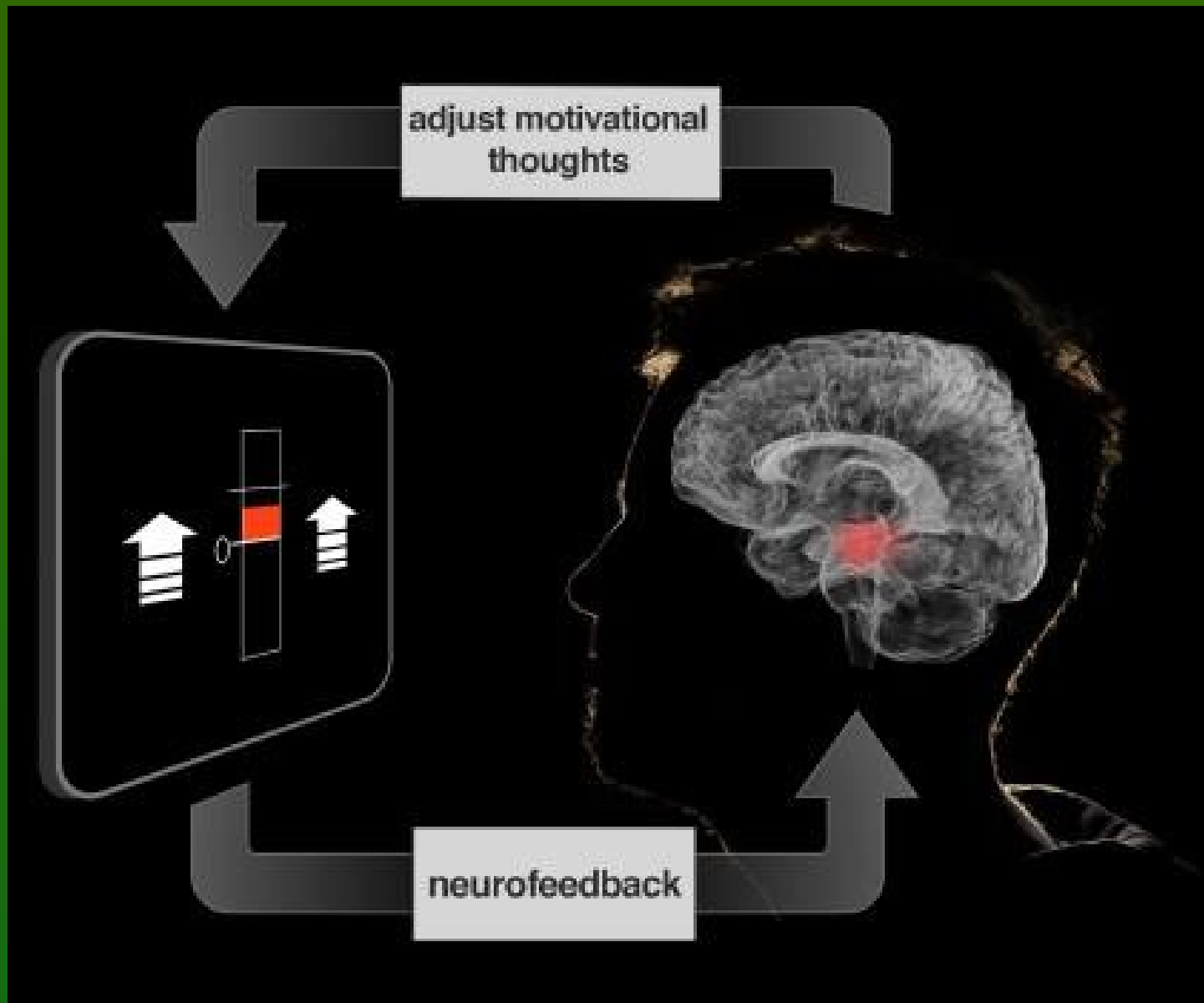
# Neurofeedback: pierwsze BCI

Początkowo  
głównie do  
relaksu,  
wzmacniając  
oscylacje  $\alpha/\theta$ .

Duch, Elektronika  
i stresy, 1978!

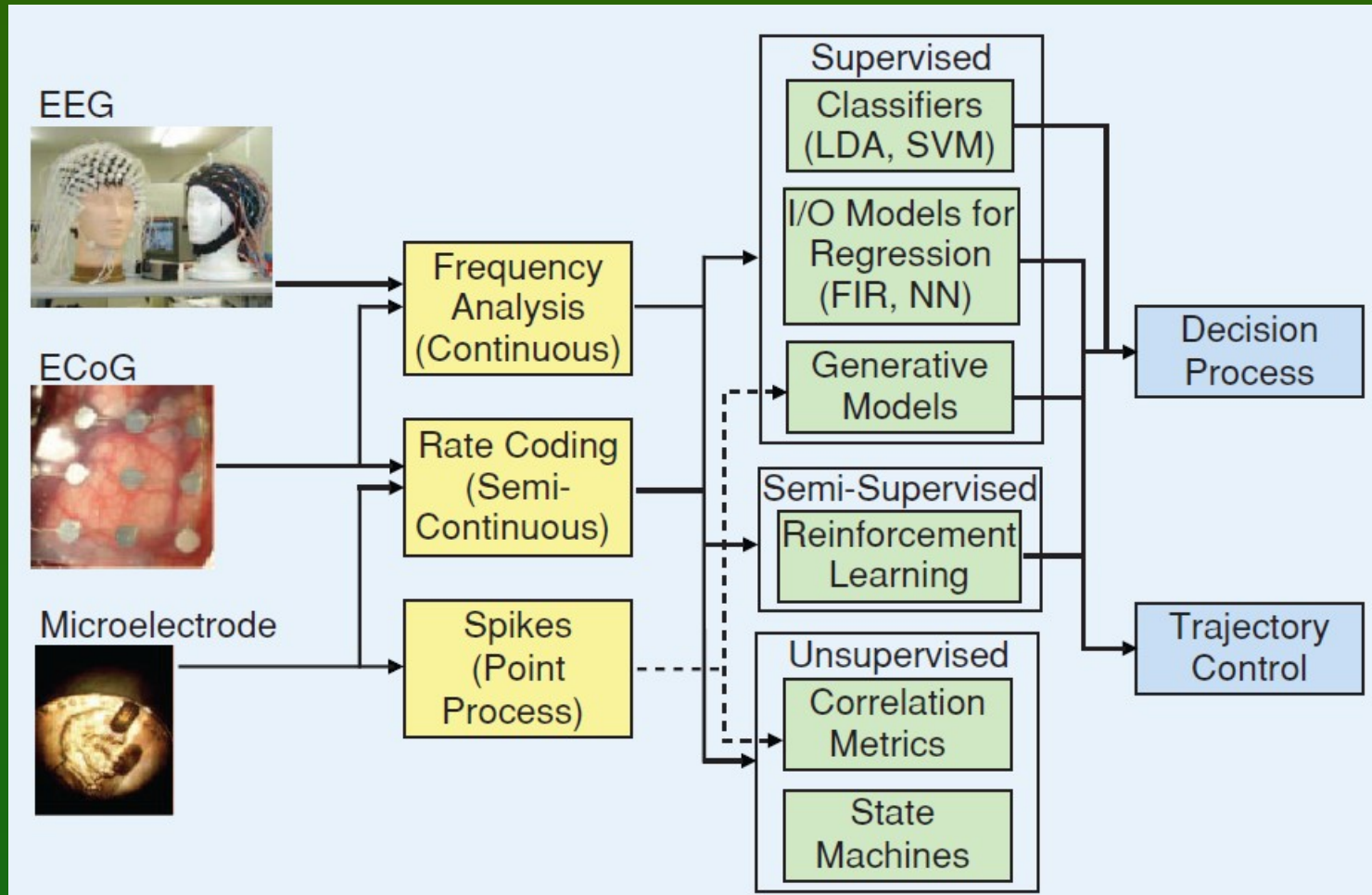
Nie zawsze  
efektywne.

Nowe formy  
neurofeedback  
nadchodzą.

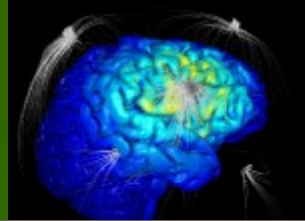


# BCI – Interfejsy Mózg-Komputer

Mózg przygotowuje się do działania, a „ja” czeka na sygnał by sobie przypisać intencję. Możemy plany działania mózgu zobaczyć badając aktywność kory.



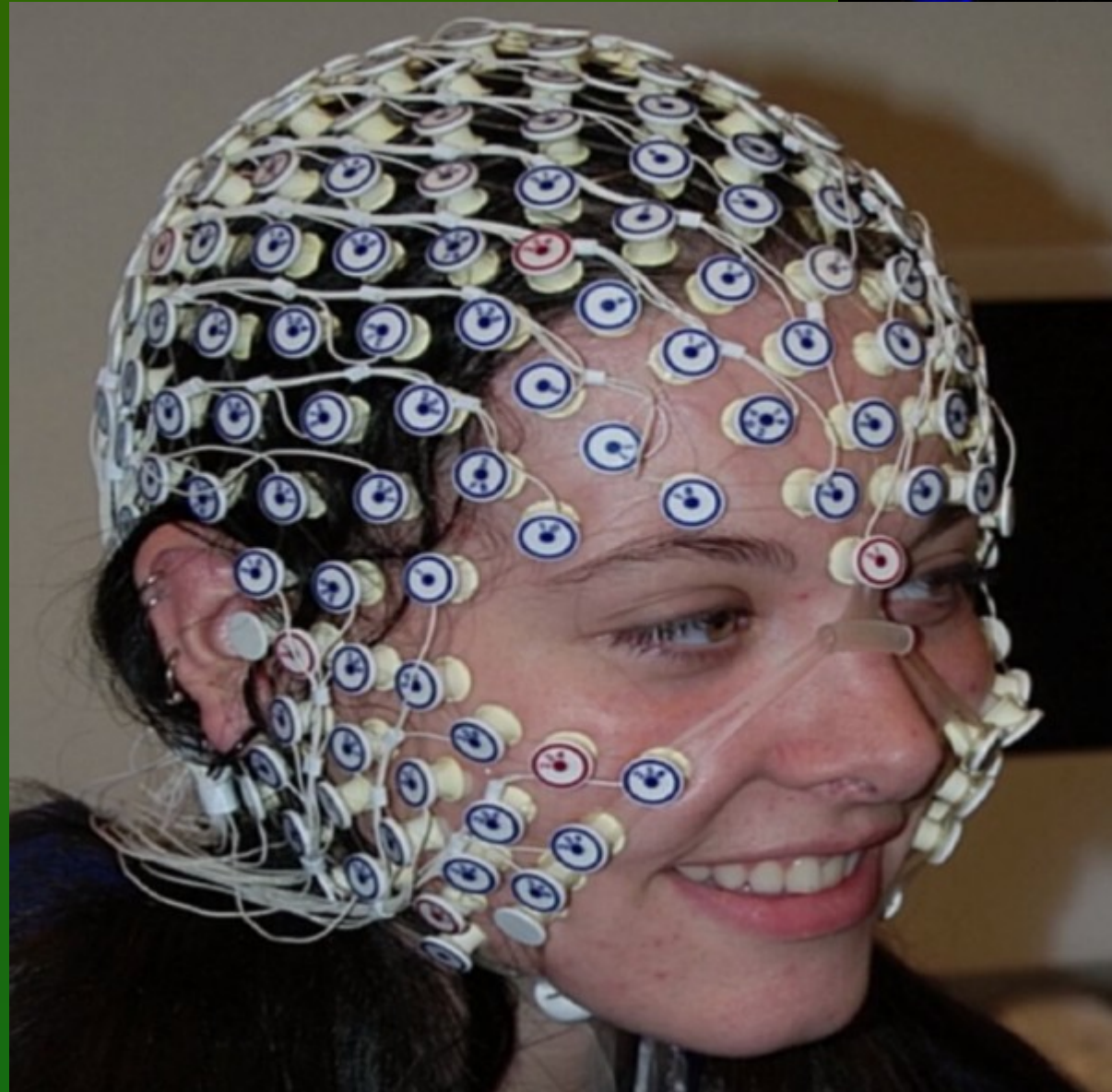
# HD EEG/DCS?



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.

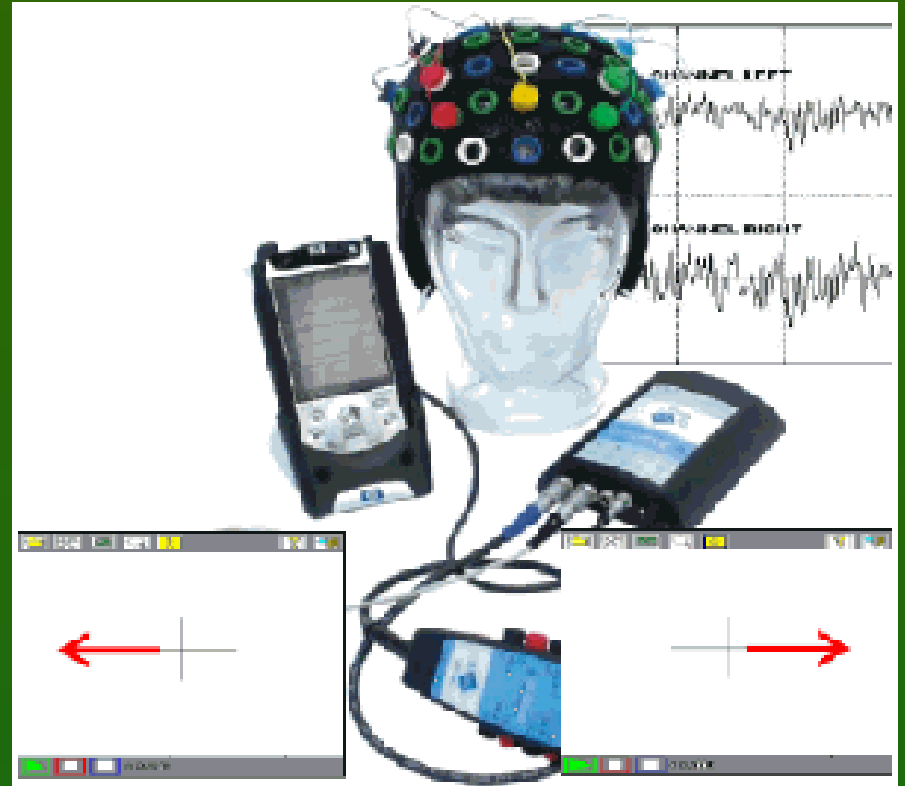
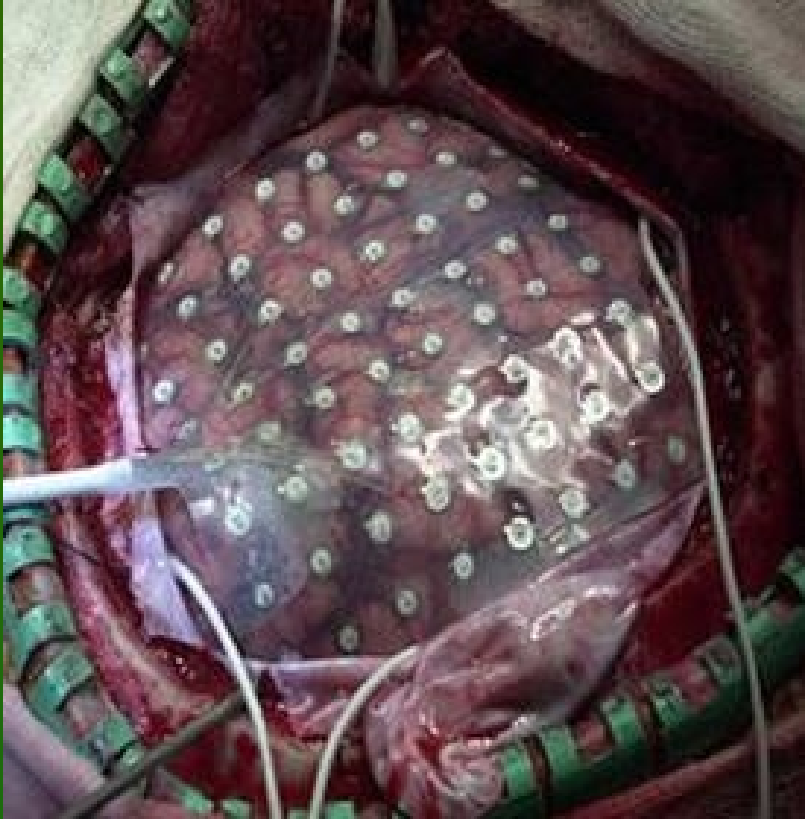


# Stymulacja mózgu: DCS/TMS

Skupienie uwagi wymaga ciągłej koncentracji. Łatwiej do niej doprowadzić stymulując mózg prądem zmiennym (tDCS) lub polem magnetycznym (rTMS). Robią to maniacy gier zręcznościowych, piloci, jak i żołnierze w czasie treningu strzelania. **Thync** dodaje energii rano czy przed treningiem i uspokaja wieczorem przed snem: steruj swój mózg smartfonem!



# Interfejsy mózg-komputer

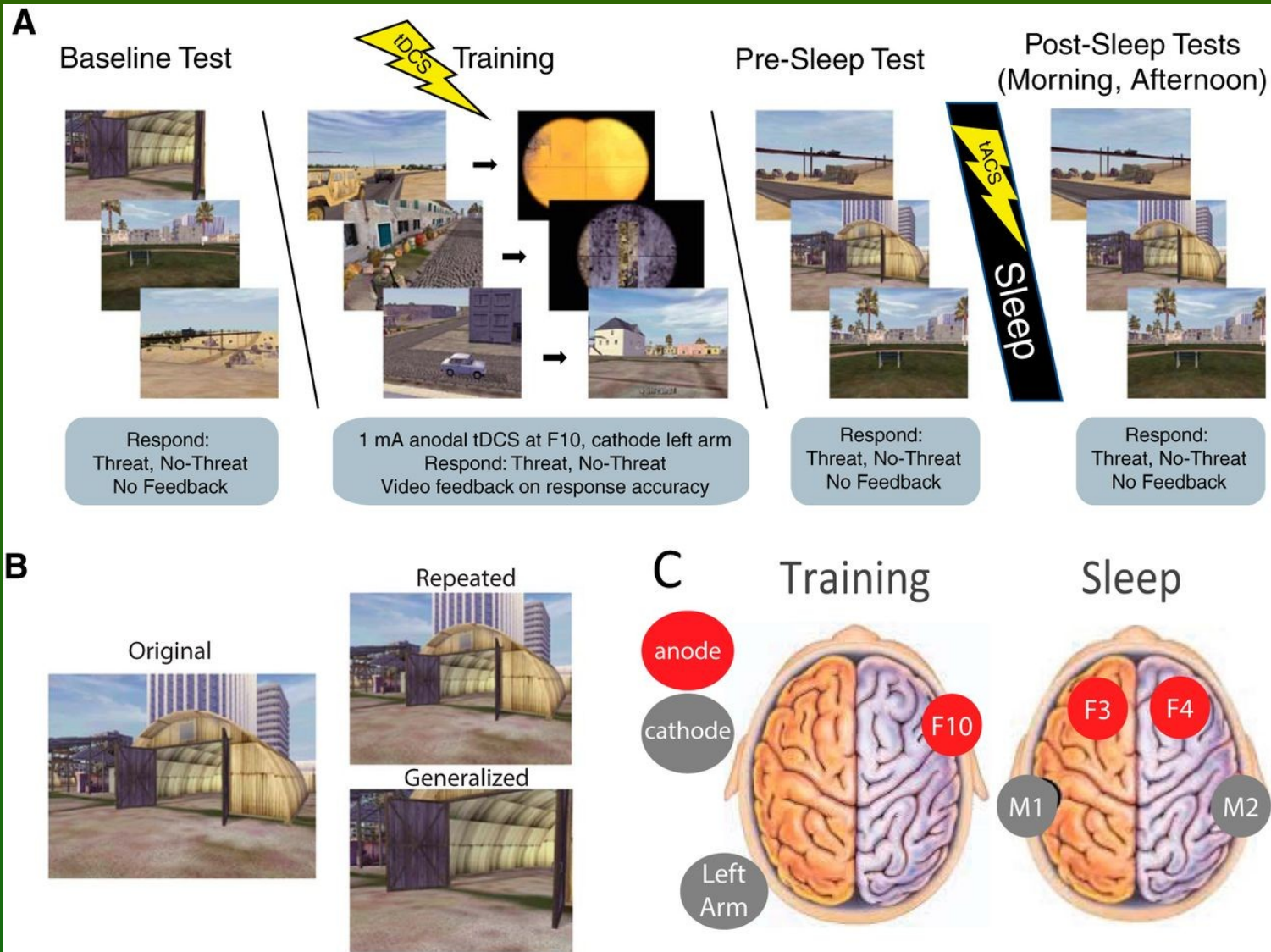


Osoby cierpiące na chorobę Parkinsona lub zaburzenia kompulsywno-obsesyjne, które mają wszczepione stymulatory w mózgu, mogą regulować swoje zachowanie za pomocą zewnętrznego kontrolera.

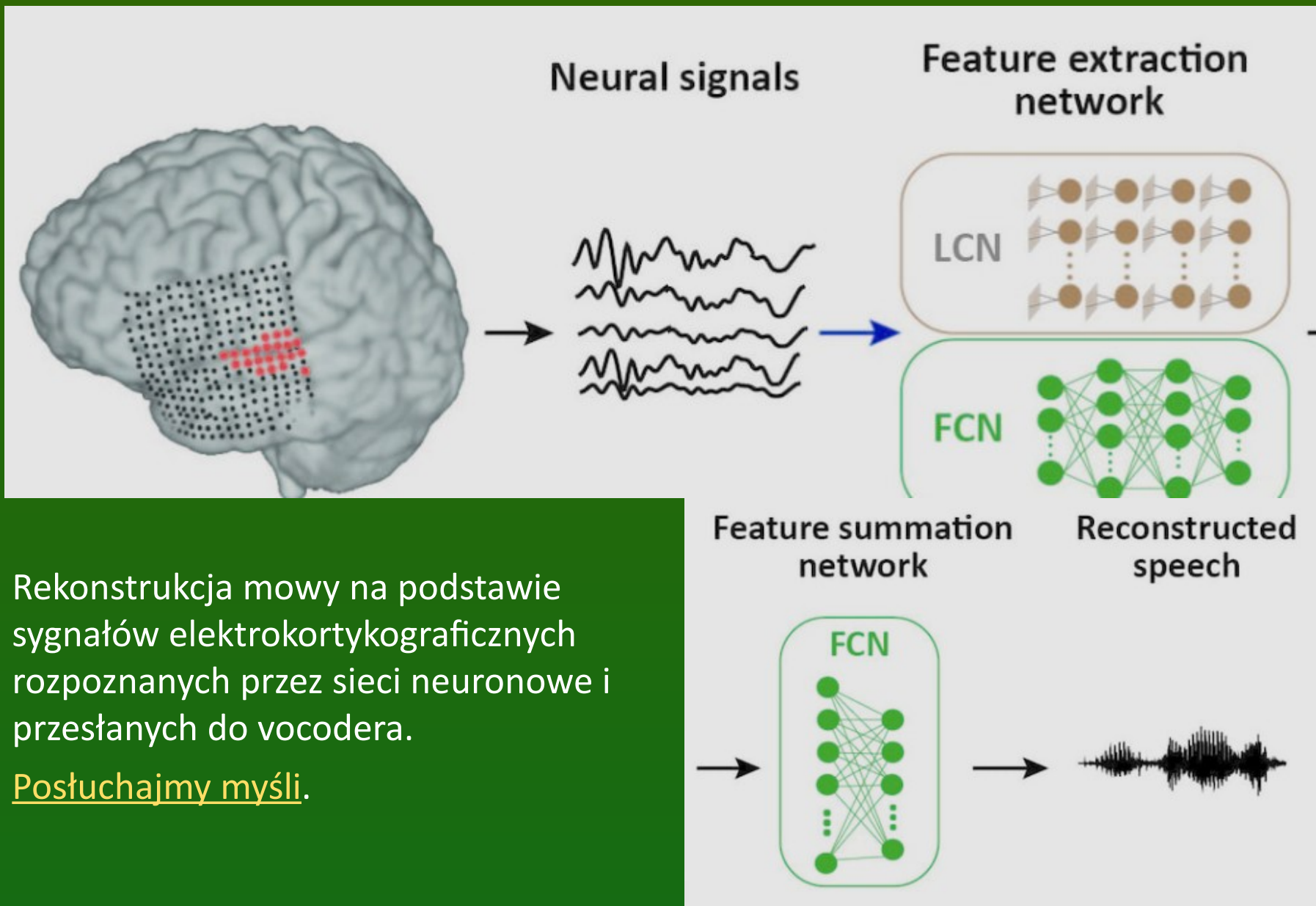
# BCBI i pamięć

N. Ketz et al.,  
J. Neuroscience  
8 (33) 2018

Konsolidacja  
pamięci przez  
wzmacnianie  
wolnych oscylacji  
w czasie snu.  
Pomaga to  
rozpoznać ważne  
cele, reagować na  
ich obecność na  
obrazkach, jak też  
uogólniać  
wyczone  
informacje.



# To mówi Twój mózg ...



Rekonstrukcja mowy na podstawie sygnałów elektrokortykograficznych rozpoznanych przez sieci neuronowe i przesłanych do vocodera.

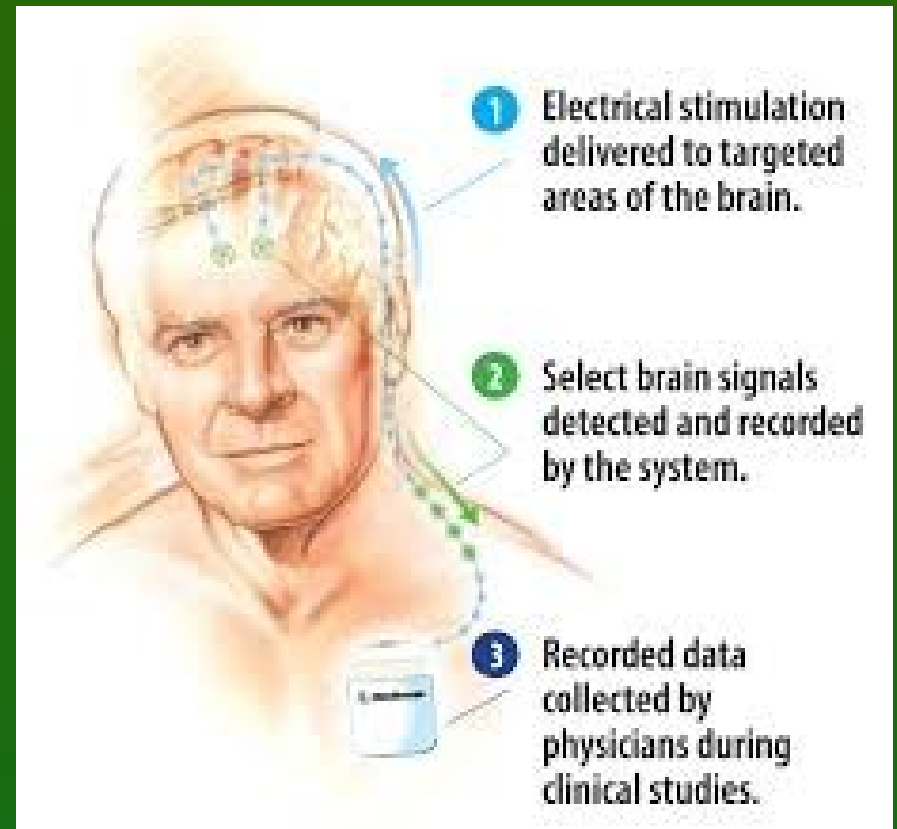
Posłuchajmy myśli.



# Głęboka stymulacja mózgu

Osoby cierpiące na chorobę Parkinsona lub zaburzenia kompulsywno-obsesyjne, które mają wszczepione stymulatory w mózgu, mogą regulować swoje zachowanie za pomocą zewnętrznego kontrolera.

Podkręćmy sobie mózg ... czy będzie można siebie zaprogramować?



# 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.

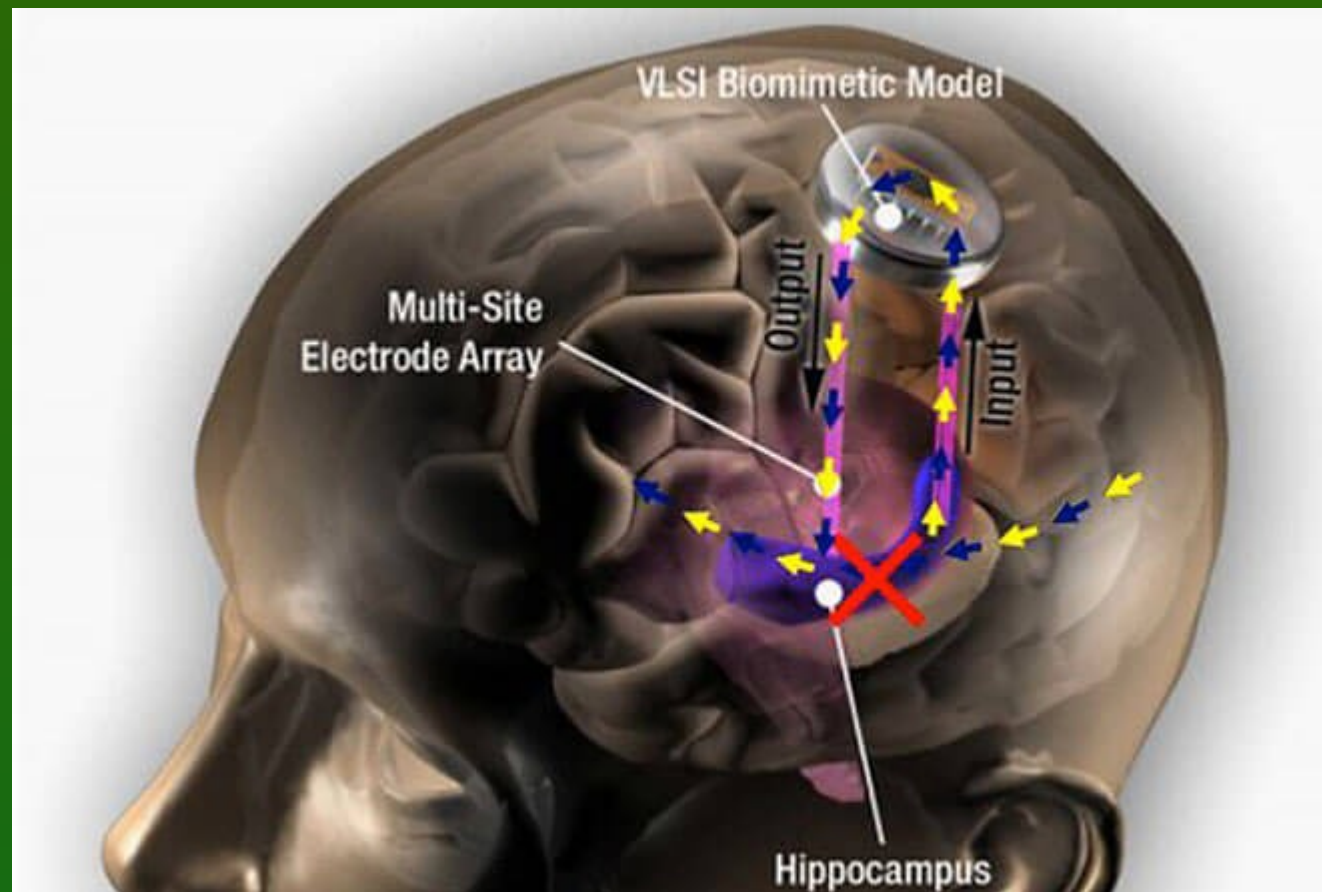


# Implanty pamięci

Testy na szczurach, małpach, 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.



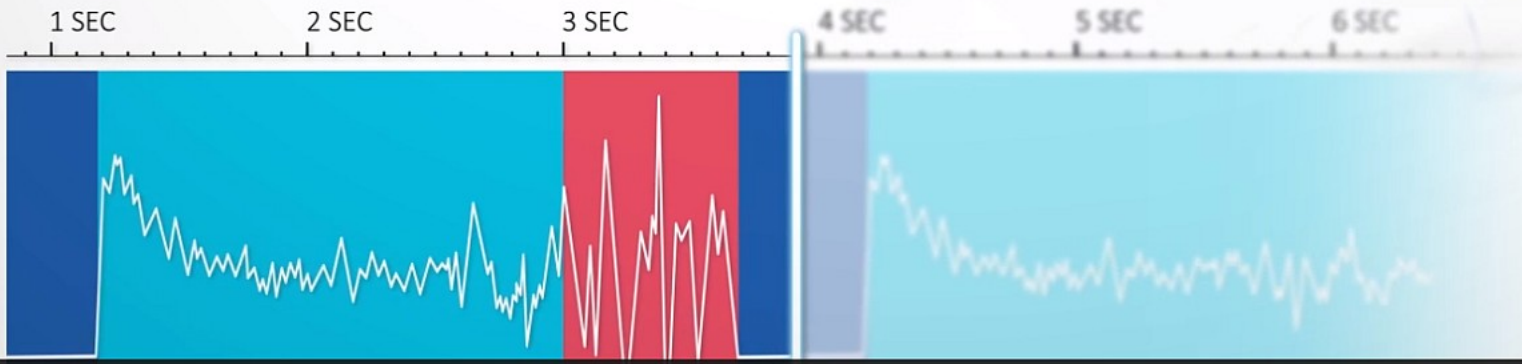
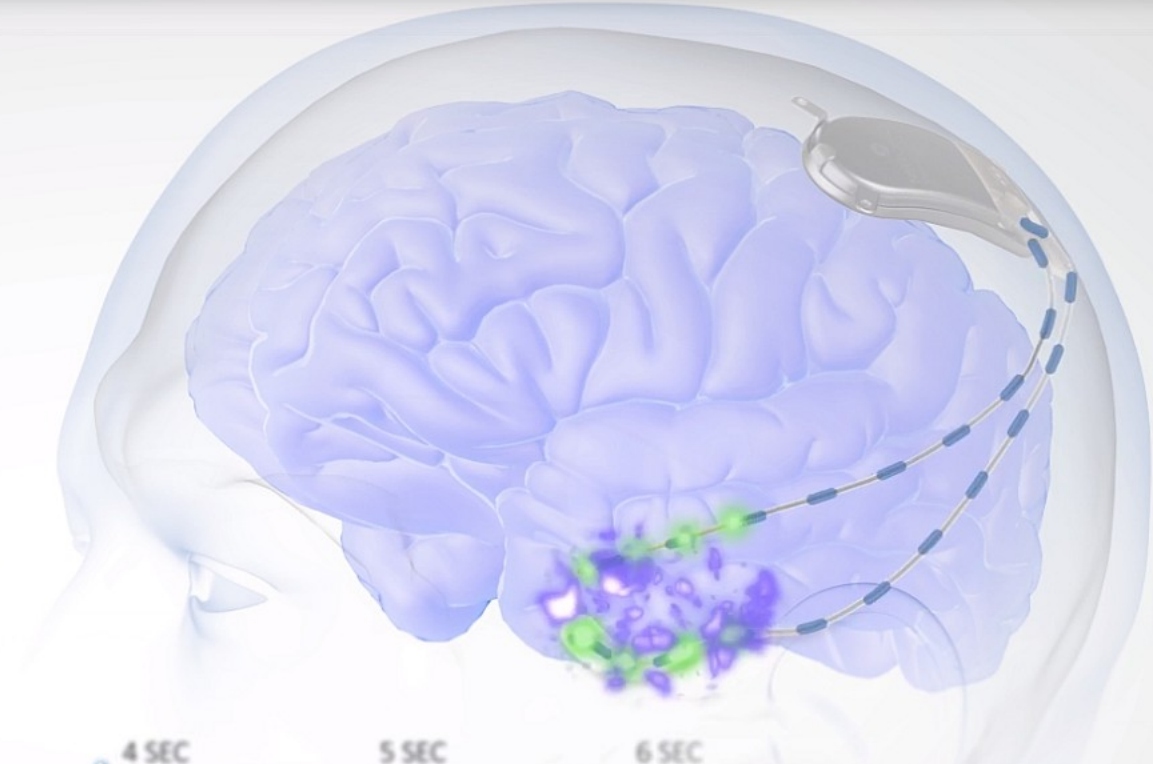
# Padaczka

## The RNS<sup>®</sup> System

Monitors brainwaves

Detects unusual activity

Responds in real time



Okolo 1% ludzi i zwierzat na swiecie ma padaczke. Neurostymulator i detektor powstrzymuje ataki padaczki lekoodpornej zanim pojawia sie skurcze.

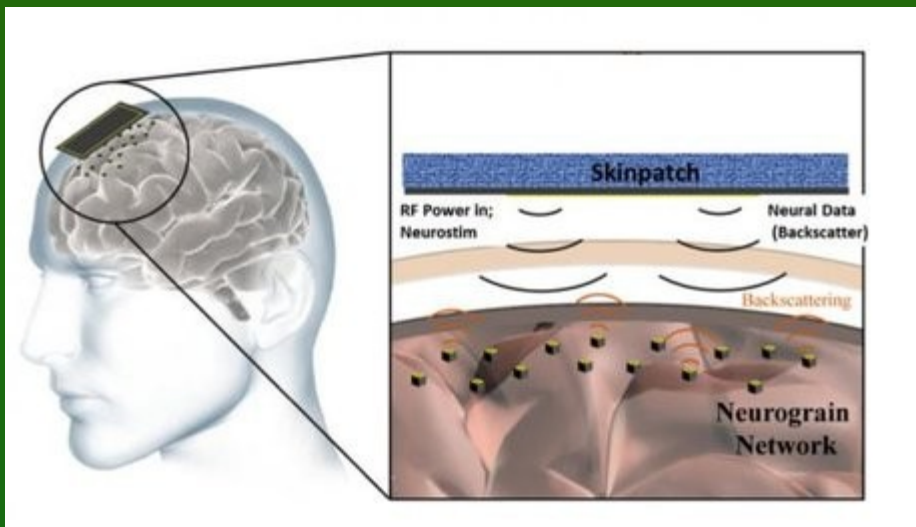
# Milion elektrod w mózgu?

DARPA (2016): **Neural Engineering System Design (NESD)**

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.



neural  
lace  
*ultra-thin*  
mesh



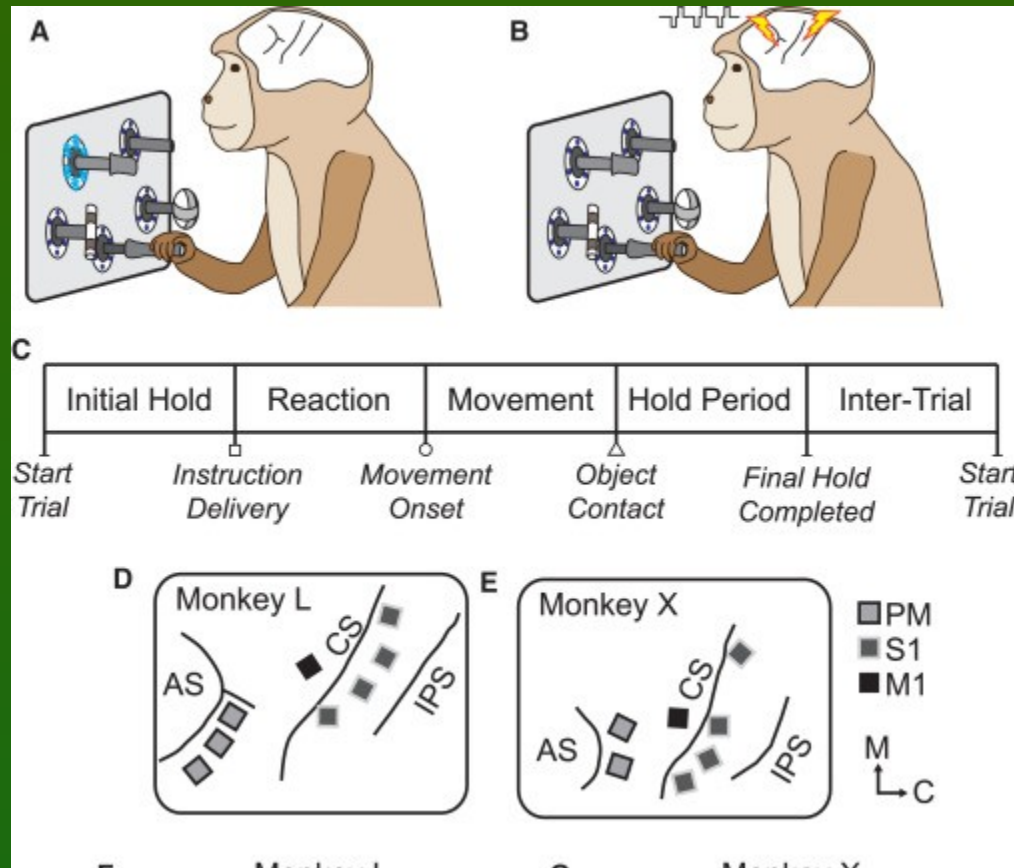
# Trenowanie mózgu

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.

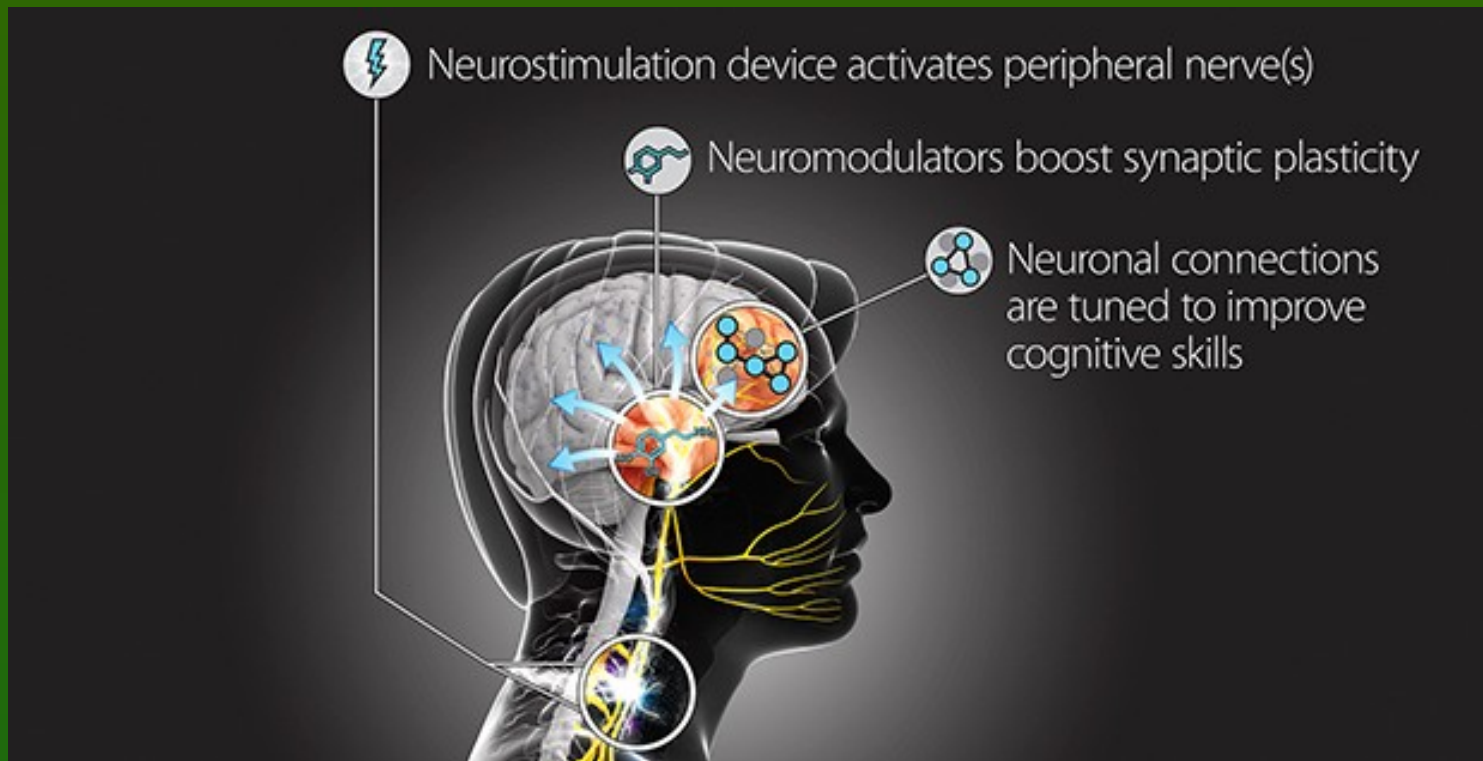


# Mikrostymulacje



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.

# Targeted Neuroplasticity Training

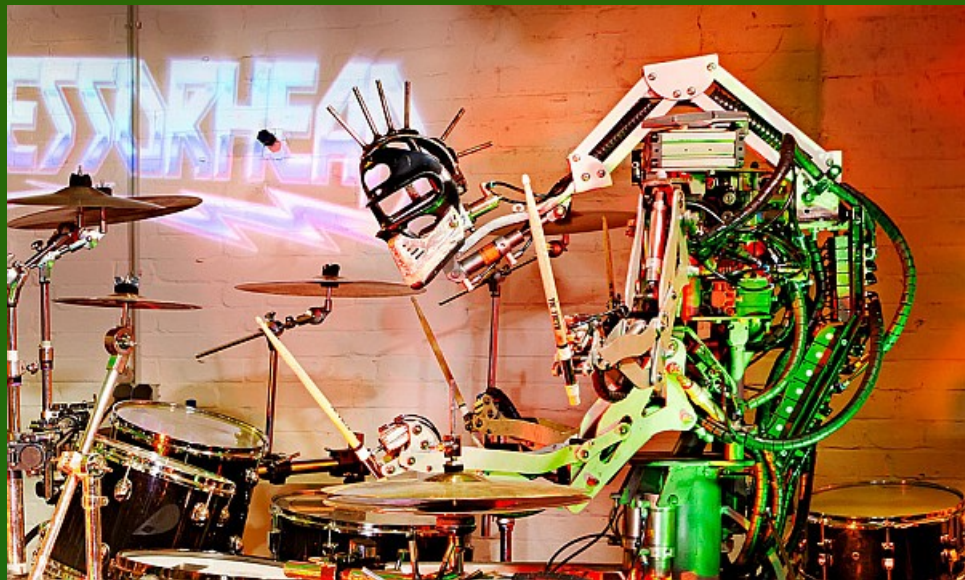


[DARPA \(2017\)](#): Projekt TNT powinien umożliwić naukę wielu kognitywnych umiejętności, zmniejszając koszty i czas trwania treningów prowadzonych przez Ministerstwo Obrony. Oprócz zachowań na polu walki projekt TNT powinien skrócić czas uczenia się obcych języków, przygotowania analityków wywiadu,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



# Co tu zrobić z dodatkową ręką?

Gdybym był ośmiornicą ... to bym grał na perkusji!



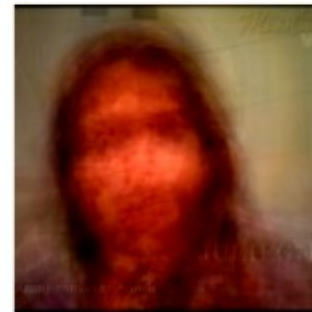
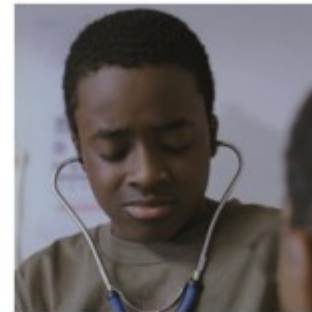
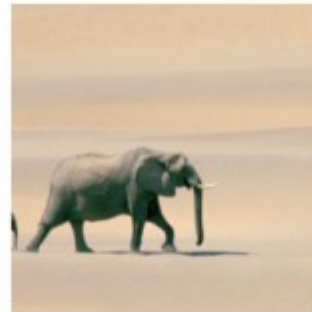
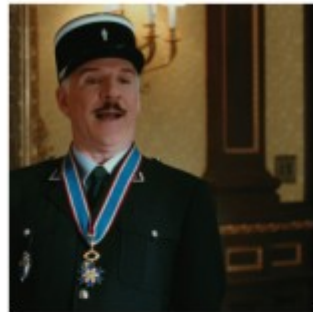
A gdybym był robotem to bym dopiero zagrał ...  
Grupa robotów [Compressorhead](#) jeździ na tourne po świecie.

# Widziane w mózgu

Skaner fMRI umożliwia rekonstrukcję widzianych obrazów.

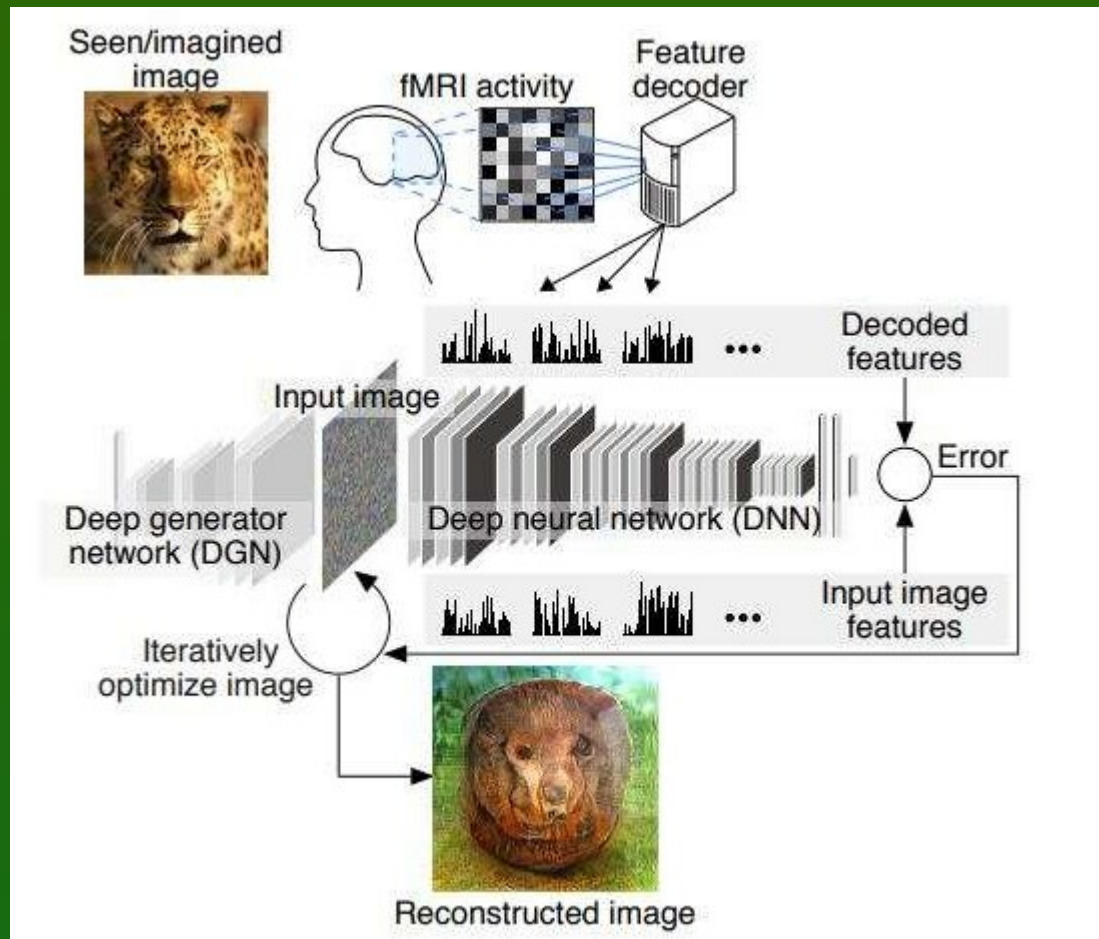
S. Nishimoto et al. 2011

Jack Gallant: rekonstrukcja obrazów z aktywności kory, skany co 2 sek.



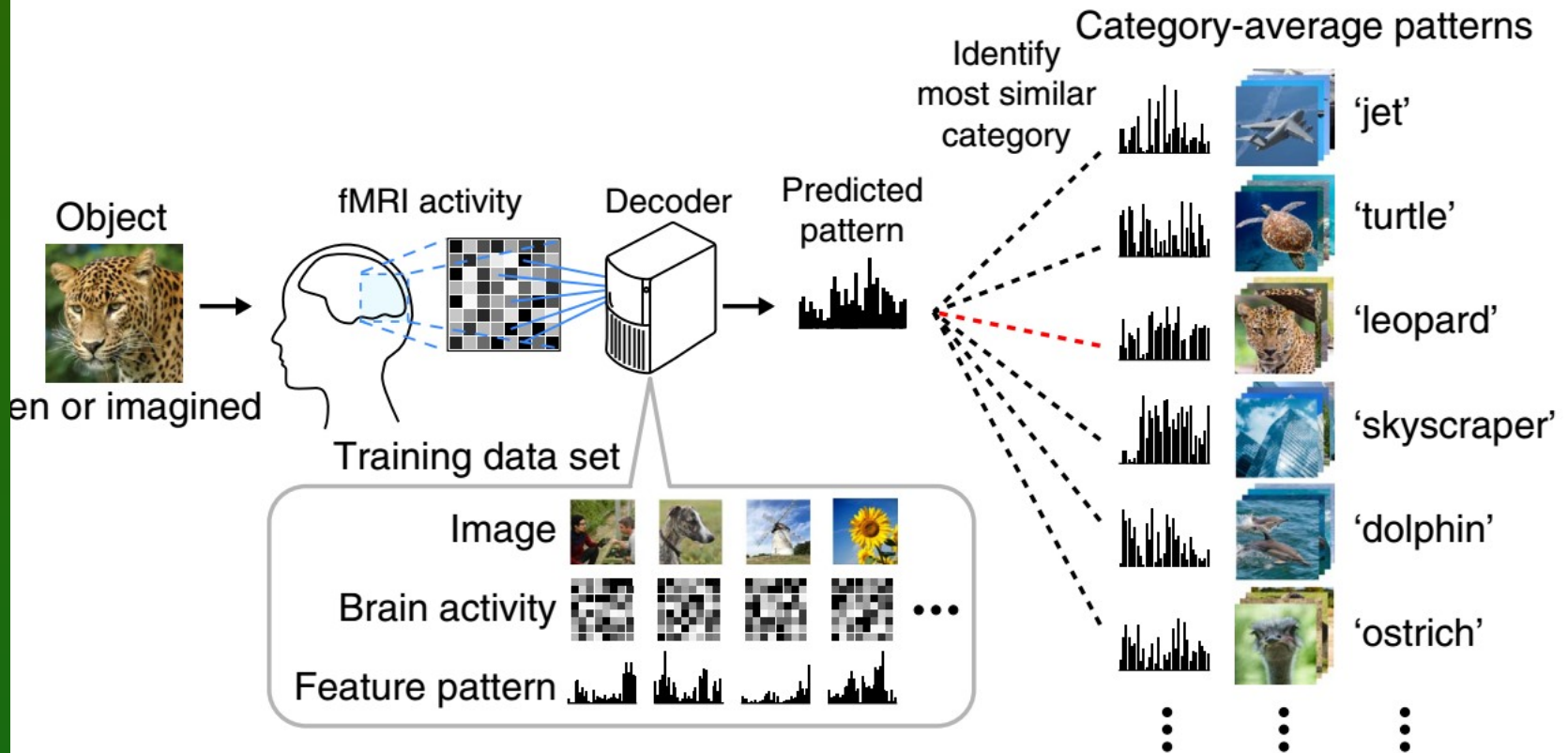
# fMRI $\leftrightarrow$ CNN

Aktywność różnych obszarów mierzona za pomocą fMRI została skorelowana z aktywnością warstw sieci neuronowych (Horikawa, Kamitani, 2017).



# fMRI ↔ CNN

Aktywność różnych obszarów mierzona za pomocą fMRI została skorelowana z aktywnością warstw sieci CNN (Horikawa, Kamitani, 2017).



# Świadome sny



Decoding Dreams, ATR Kyoto, Kamitani Lab. Analiza obrazów fMRI w czasie zasypiania lub fazy REM pozwala zgadnąć o czym ludzie śnią.

Sny, ukryte myśli ... czy można ukryć, że się coś widziało?

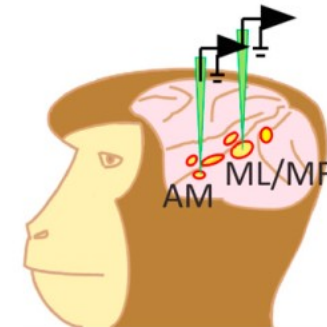
# Neuronalne obrazy

Dzięki fMRI widzimy obrazy ale przez czaszkę, rozmyte. Wystarczy jednak 205 elektrod i pomiary aktywności neuronów w kilku obszarach wzrokowych.

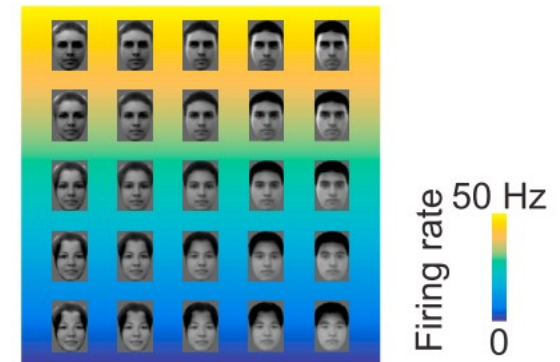
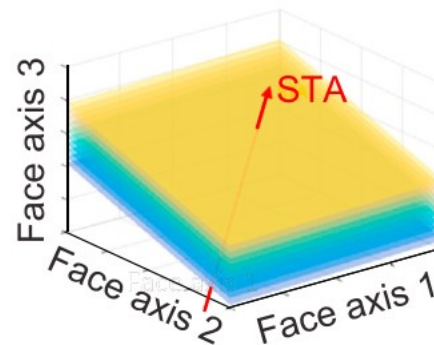
L. Chang and D.Y. Tsao, "The code for facial identity in the primate brain," *Cell*, doi:10.1016/j.cell.2017.05.011, 2017

Wkrótce na ludziach?

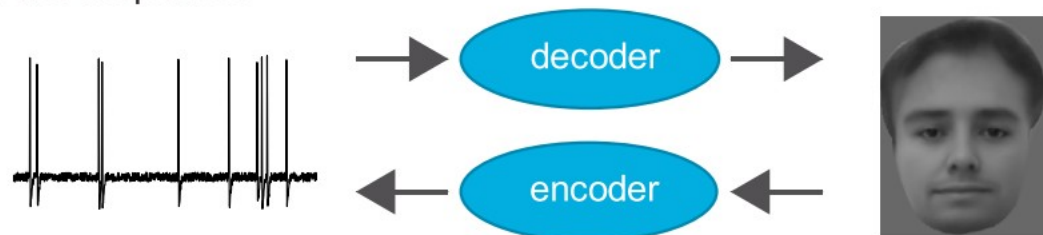
1. We recorded responses to parameterized faces from macaque face patches



2. We found that single cells are tuned to single face axes, and are blind to changes orthogonal to this axis

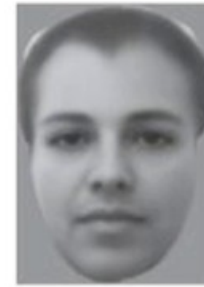
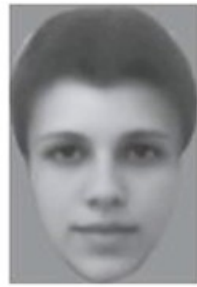


3. We found that an axis model allows precise encoding and decoding of neural responses



# Co mała zakodowała?

205 neuronów wystarczy by odtworzyć widziane twarze z taką dokładnością.



Actual  
face

Predicted  
face



Actual  
face

Predicted  
face

# Neuro-relaks

Muzyka, dźwięki  
mogą pobudzać  
lub działać  
relaksująco.

Melomind:

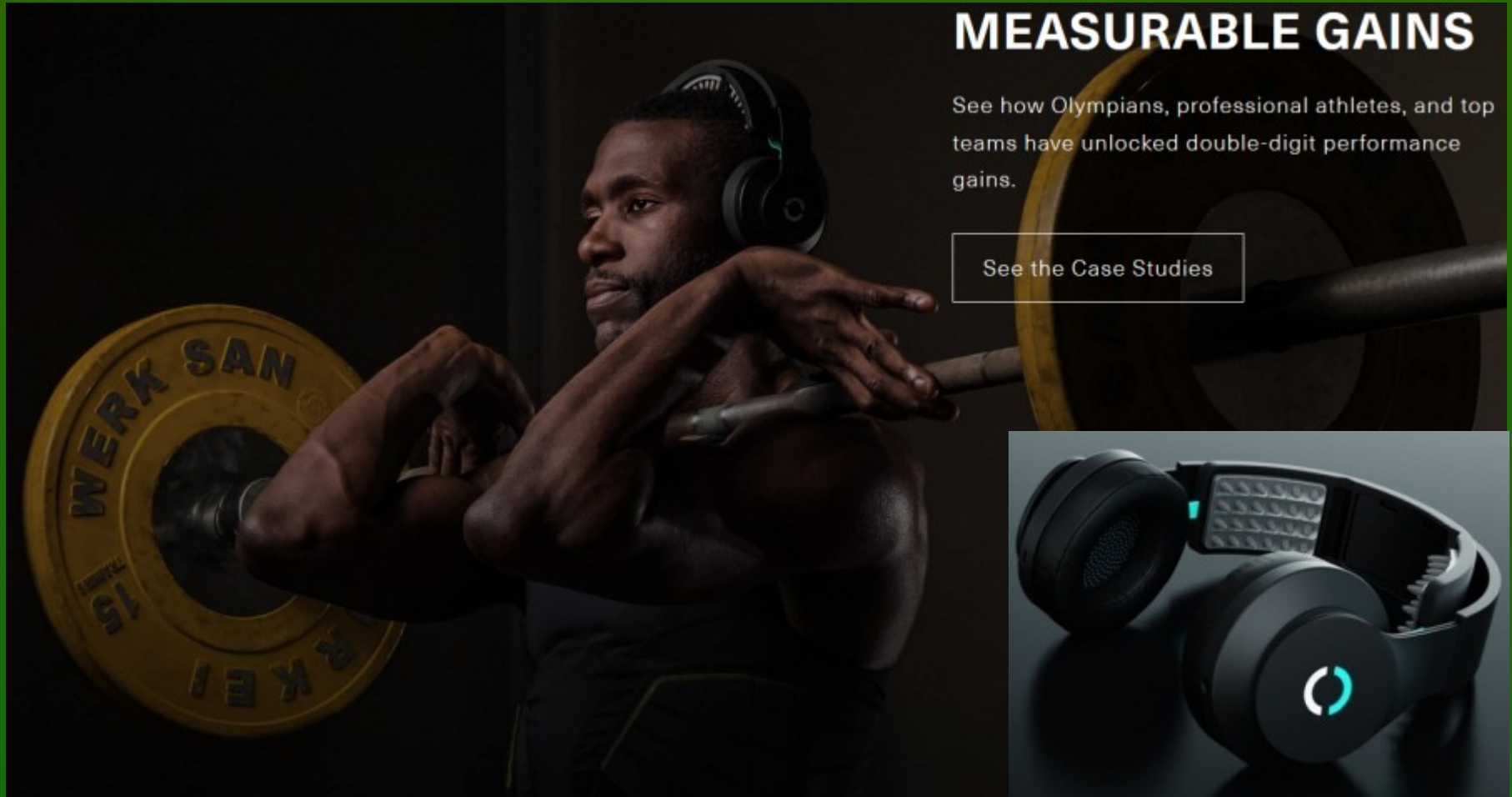
Proste EEG określa  
poziom relaksu i  
dobiera odpowiednio  
dźwięki.

Mózg steruje swoim  
środowiskiem.



# Neuropriming

Jak poprawić wyniki sportowców? Trzeba w odpowiednim momencie pobudzić ich korę ruchową!

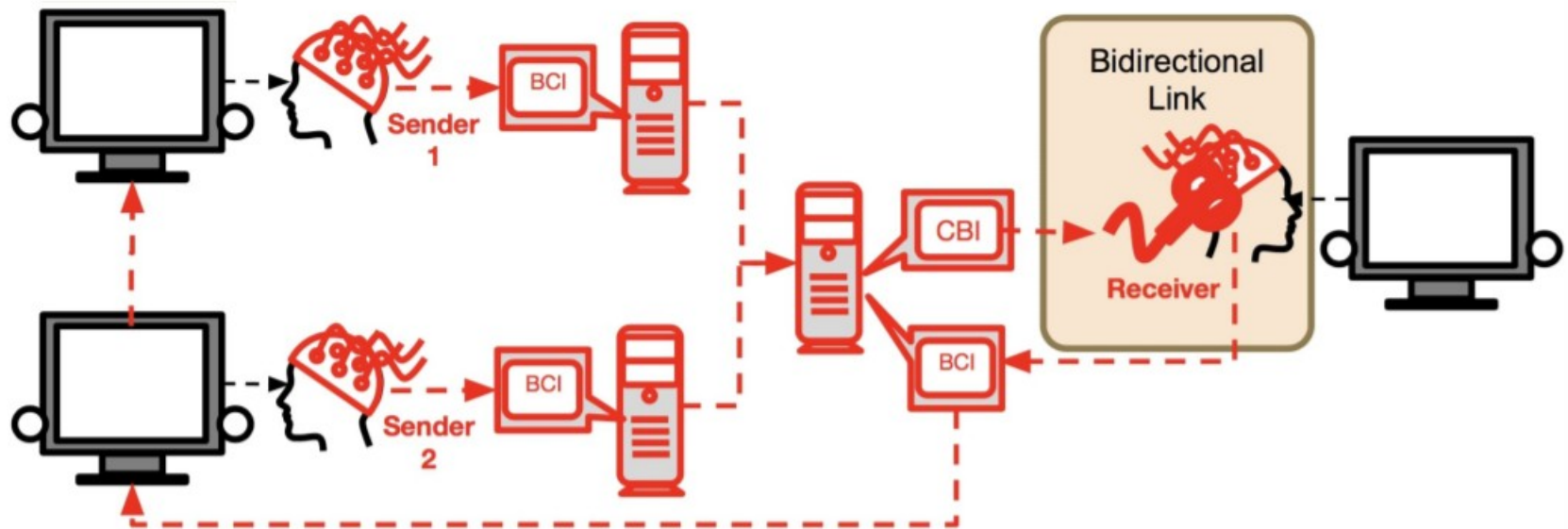


**MEASURABLE GAINS**

See how Olympians, professional athletes, and top teams have unlocked double-digit performance gains.


[See the Case Studies](#)

# Przekazywanie myśli?



# Transfer umysł => Awatar?

**2045 AVATAR PROJECT MILESTONES**  
STRATEGIC SOCIAL INITIATIVE




**Avatar D** 2040 - 2045  
A hologram-like avatar

**Avatar C** 2030 - 2035  
An Avatar with an artificial brain in which a human personality is transferred at the end of one's life

**Avatar B** 2020 - 2025  
An Avatar in which a human brain is transplanted at the end of one's life

**Avatar A** 2015 - 2020  
A robotic copy of a human body remotely controlled via BCI

2045.COM

 **Immortality Button**  
Click this button to start the development of your personalized immortal avatar

Projekt 2045 D. Itskova (ros. miliarder) zamierza dokonać transferu umysłu z mózgu do neurokomputera około 2045 roku, oraz rozwijać *The Electronic Immortality Corporation*, rodzaj sieci społecznościowych.

# AI i neuroinformatyka



## Neuro Informatics 2019



September 1-2, 2019



University of Warsaw,  
Poland  
Department of Physics

Deadline: May 31

**ABSTRACT  
SUBMISSION**

## PP-RAI'2019

16-18.10.2019 — Wrocław

Polskie Porozumienie na rzecz  
Rozwoju Sztucznej Inteligencji



Politechnika  
Wroclawska



Polska Grupa Systemów  
Uczących się PL SIGML

IEEE  
**SMC**  
Systems, Man, and  
Cybernetics Society



# Laboratorium neurokognitywne

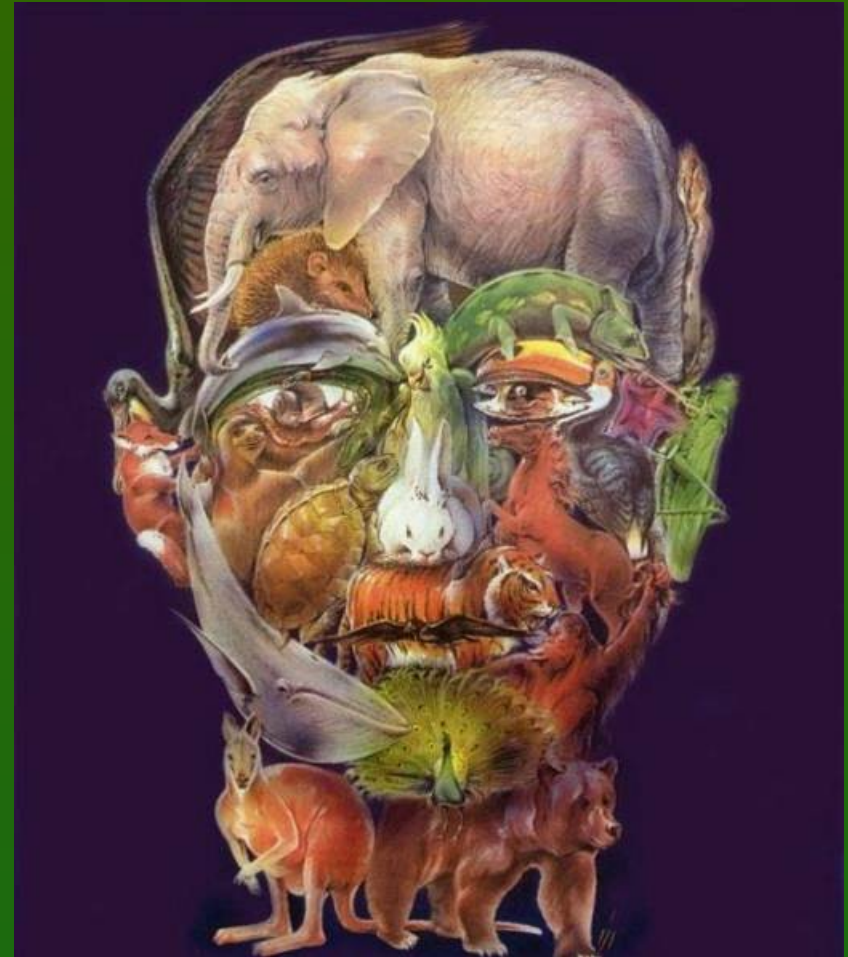
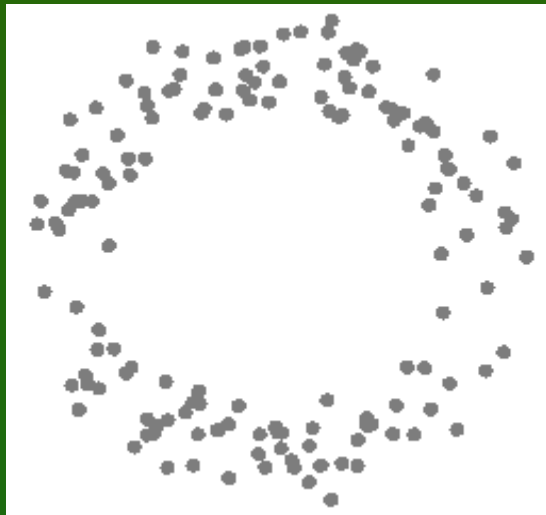


# W poszukiwaniu źródeł aktywności poznawczej mózgu

Projekt „Symfonia”, 2016-21



Dziękuję za  
synchronizację  
neuronów



Google: Wlodek Duch  
=> referaty, wykłady, publikacje, niespodzianki ...