



Fizyka: badanie i naprawianie mózgów

Włodzisław Duch

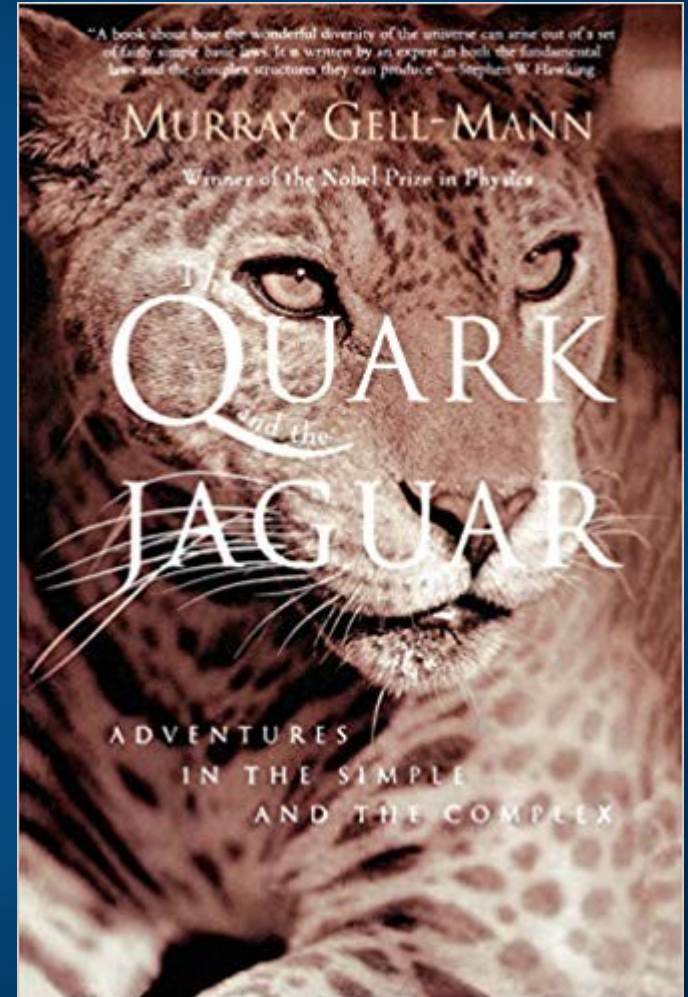
Laboratorium Neurokognitywne,
Interdyscyplinarne Centrum Nowoczesnych Technologii UMK
Katedra Informatyki Stosowanej UMK

Google: W. Duch

Fizyka wokół nas, 16.05.19

O czym to będzie

- Technologie i nasze cele.
- Badanie mózgu.
- Doskonalenie mózgu.
- Odczytywanie stanów mózgu.
- Naprawianie mózgu.
- Kontrowersje.



Co mają wspólnego



Dwie rzeczy:

1. Kiedy obecni studenci się urodzili nie było ich w powszechnym użytku.
2. Powstały dzięki fizyce i informatyce. Informatyka nie działa w próżni.

Technologie

Globalna Transformacja, 4 Rewolucja Przemysłowa



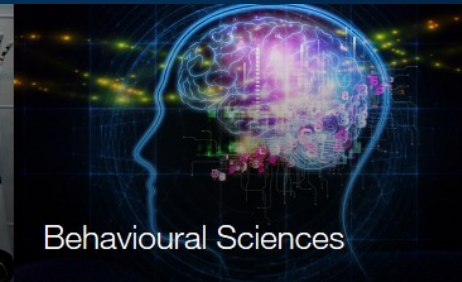
3D Printing



Advanced Materials



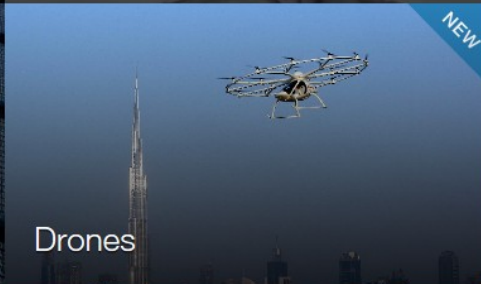
Artificial Intelligence and Robotics



Behavioural Sciences



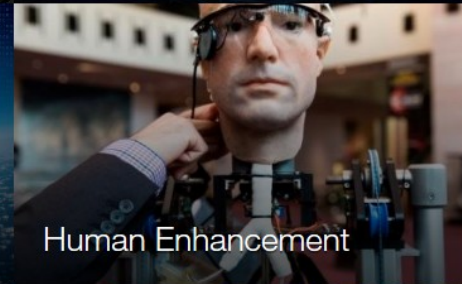
Blockchain



Drones



Fourth Industrial Revolution



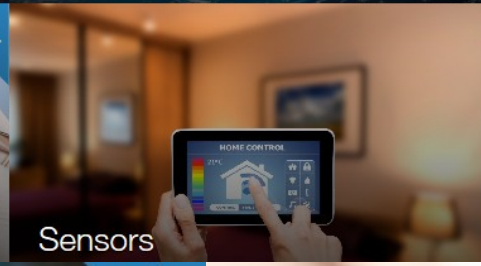
Human Enhancement



Neuroscience



Precision Medicine



Sensors



Virtual and Augmented Reality

World
Economic
Forum



Internet of Things



Biotechnology



Kogni

Nauki kognitywne

Biohybrydy

Bio

Lab
neuro-
kognitywne

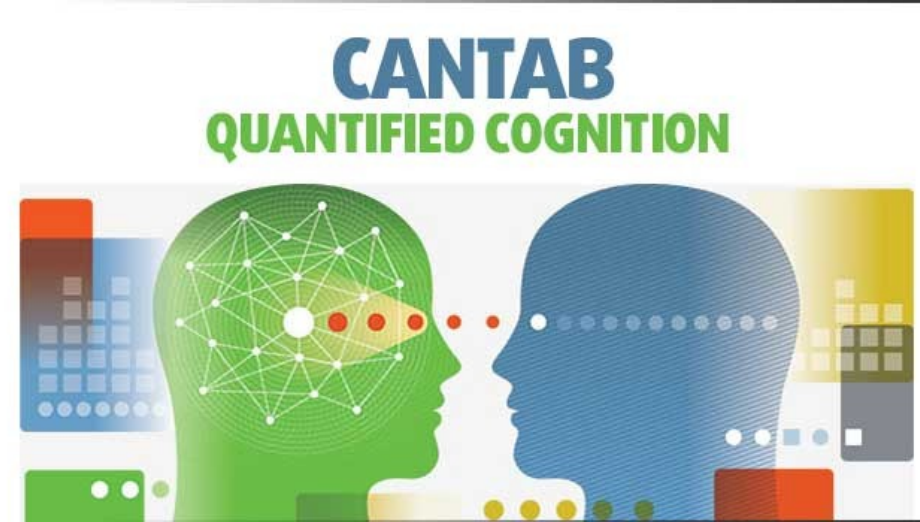
Nano
Fizyka
Kwantowa

Info

Informatyka, inteligencja obliczeniowa/sztuczna,
uczenie maszynowe, sieci neuronowe



Nasze zabawki





REGIONAL PROGRAMME
NATIONAL COHESION STRATEGY



KUJAWSKO-POMORSKIE
VOIVODESHIP

EUROPEAN UNION
EUROPEAN REGIONAL
DEVELOPMENT FUND



My region in Europe

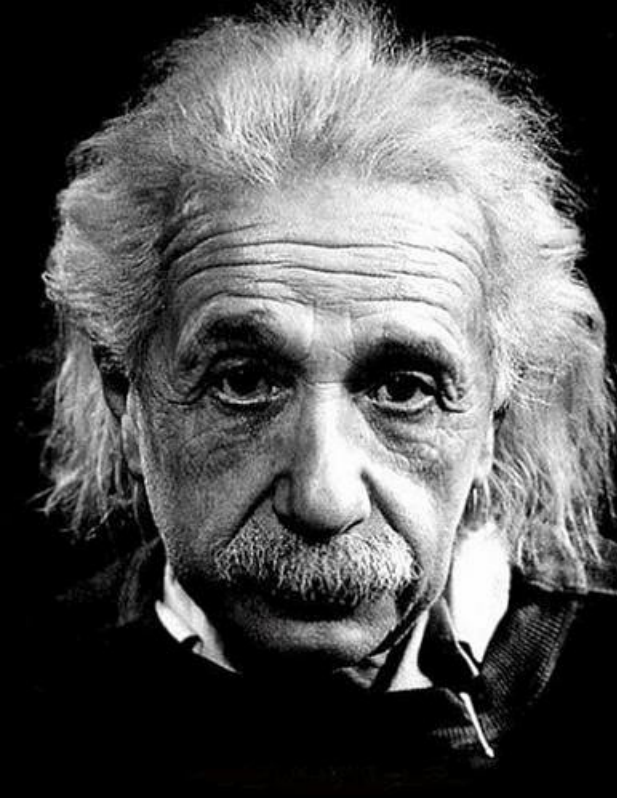


Laboratorium Neurokognitywne

Interdyscyplinarne Centrum Nowoczesnych Technologii UMK

Misja: lepsze zrozumienie procesów rozwojowych, biologicznych podstaw zachowania i specyficznych umiejętności, związków pomiędzy działaniem mózgow i umysłów, wdrażanie innowacji społecznych wspomagających rozwijanie pełnego potencjału człowieka w ciągu całego życia.

Czy wszyscy czują, że osiągnęli swoje maksymalne możliwości?



ICNT: skaner GE Discovery MR750 3T



Pomieszczenie przeznaczone do badań EEG oraz ET

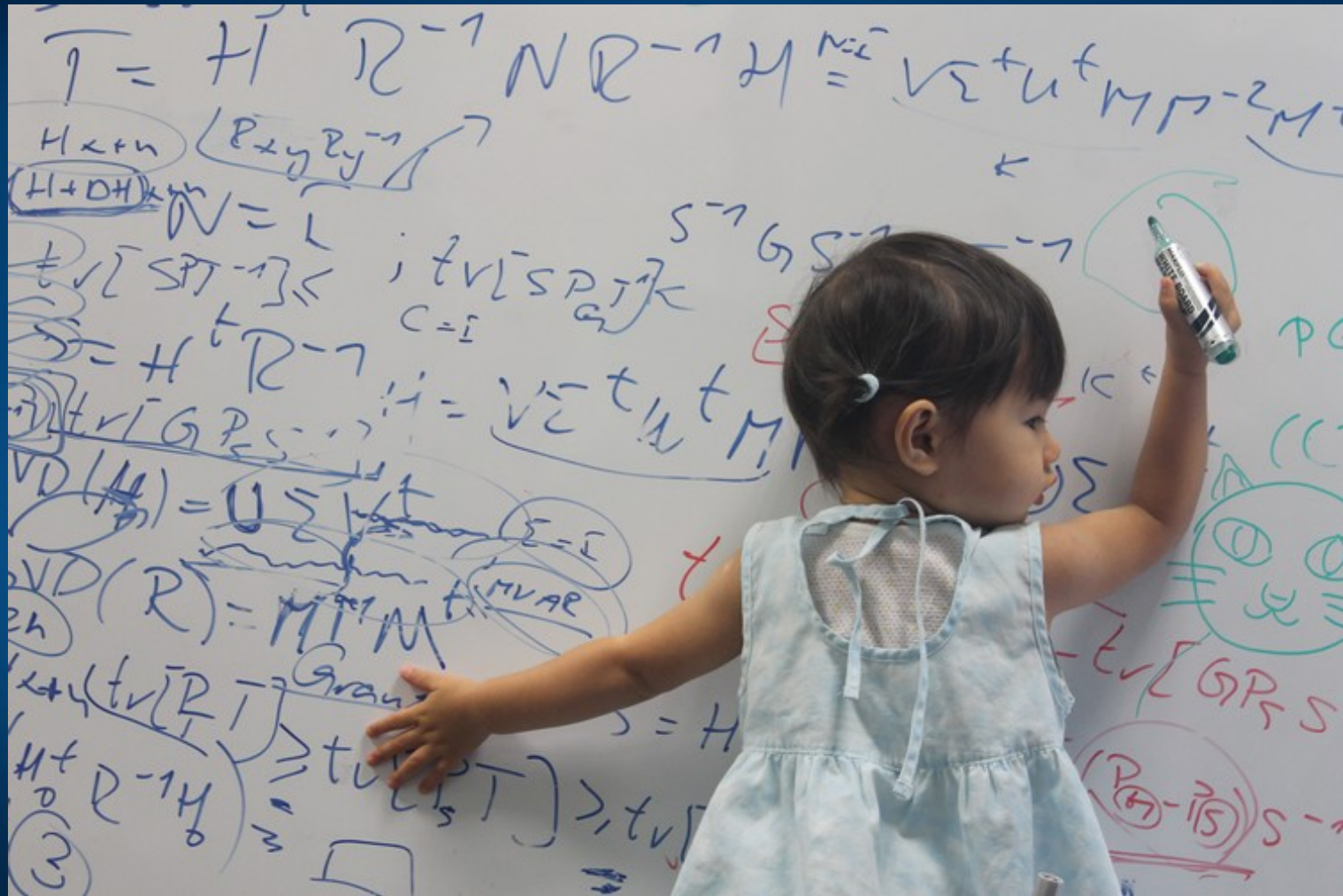


Pomieszczenie przeznaczone do treningu

Pomieszczenie przygotowawcze



W naszym BabyLabie ...



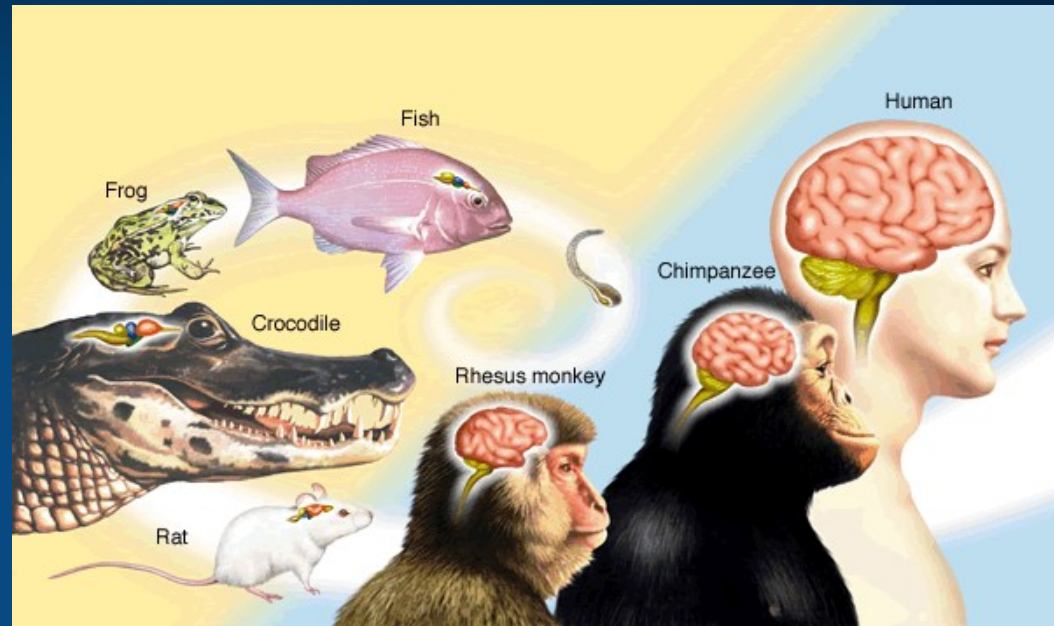
Jak złożone są mózgi?

Wszechświat:



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

Niewyobrażalnie wiele.



- Mózg człowieka: masa ~ 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 ± 8 mld neuronów (69 ± 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% γ -aktywnych neuronów.
- Ok. 20.000 genów kodujących białka, 50×10^{12} komórek ciała, 2m DNA w komórce, całkowita długość ok. 100 mld km = 666 x odległość do Słońca.

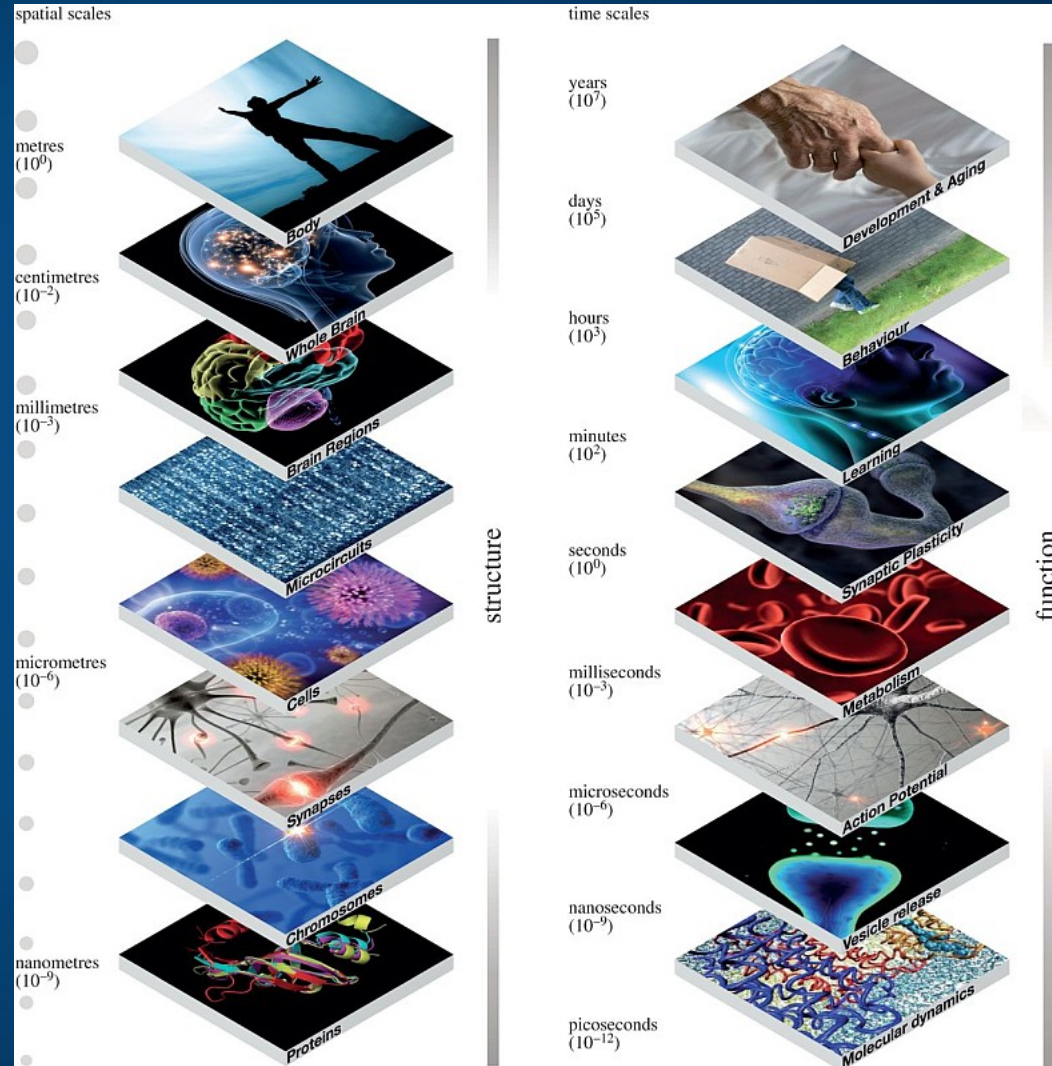
Fenomika neuropsychiatryczna

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 śródkowym, neuroobrazowanie i symulacje sieci neuronowych



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.

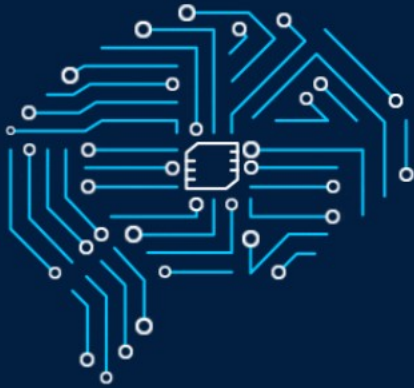
W Polsce oceny z 2010 roku:

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.

BRAIN
INITIATIVE



Advance Neurotechnologies

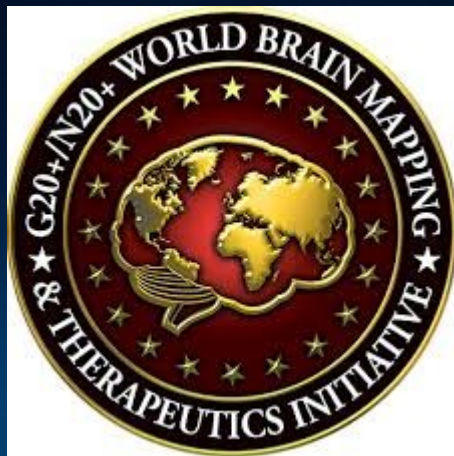
Accelerate the development and
application of new neurotechnologies.

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.



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”.

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.

BRAIN AWARENESS WEEK

GET CONNECTED!



Brain Awareness Week

Organizacja non-profit

Lubię to!

Wiadomość



Od 1995 roku lat w marcu organizowany jest **Tydzień Mózgu**, czyli **Brain Awareness Week (BAW)**. Głównymi organizatorami jest [Society for Neuroscience](#) oraz [Dana Alliance for Brain Brain Initiatives](#).

Celem jest uświadomienie globalnej opinii publicznej postępów i korzyści z badań nad mózgiem.

W 2019 roku było około 900 wydarzeń w 50 krajach, w tym [Tydzień Mózgu](#) w Toruniu organizowany przez UMK.



Neuro Informatics 2019

International Neuroinformatics Coordination Facility (INCF), globalna organizacja krajów OECD. Celem jest integracja i analiza danych z różnych technik pomiarowych, rozwój tych technik, zrozumienie mózgu i wpływ na zdrowie i dobrostan społeczeństw.

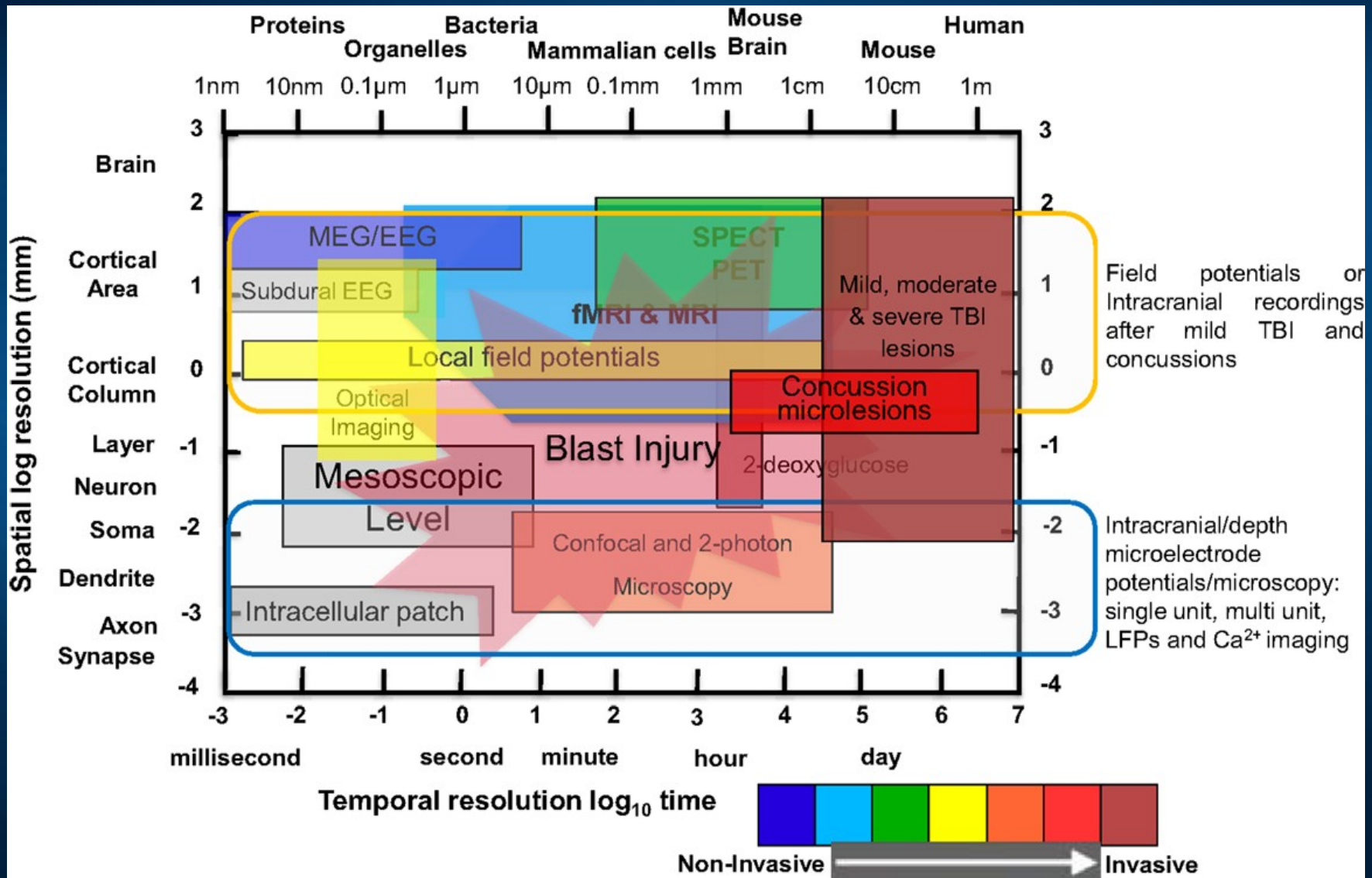
12th INCF Congress on Neuroinformatics oraz INCF Assembly, Warszawa 9/2019.

Węzeł Polski mamy w naszym laboratorium (dr T. Piotrowski).

Polish Brain Council (Polska Rada Mózgu) istnieje formalnie od 2013 roku, powstaje strategia na rzecz profilaktyki i zwalczania chorób mózgu.

Nie widać jednak możliwości finansowania.

Techniki badań mózgu

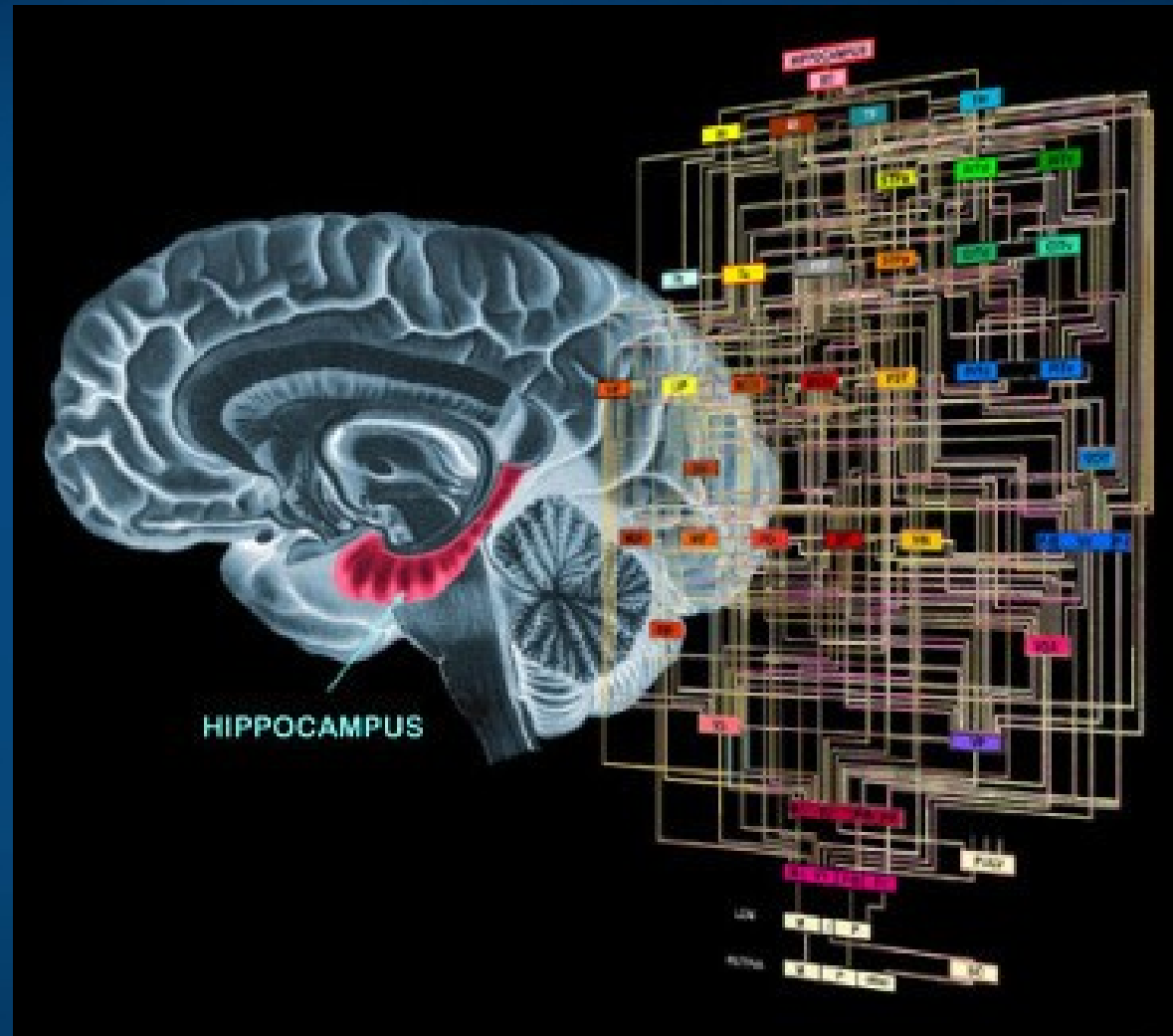


BICA, Brain-Inspired Cognitive Architecture

Mózgo-podobne architektury przetwarzania informacji.

Do zrozumienia potrzebny jest model odtwarzający funkcje, przeniesienie naszej wiedzy do neuronowego symulatora.

Dzięki modelom komputerowym możemy obecnie przewidywać jak będzie się zmieniać aktywność indywidualnego mózgu, przewidywać zachowanie człowieka.



HBP

Supersimulator HBP

BrainScaleS –
analogowy system,
4 mln neuronów,
1 mld synaps.

SpiNNaker, 0.5 mln
rdzeni (ARM), spikes.

Tensor Processing Units
(TPU), Google chip do
sieci neuronowych.

The SpiNNaker neuromorphic many core system



System with 5x5 crates
500,000 cores,
460M neurons, 460B synapses



Crate with 24 boards
20,000 cores,
18M neurons, 18B synapses



Board with 48 chips
864 cores,
750k neurons, 750M synapses



Chip with 18 cores
16k neurons, 16M synapses



Core
1k neurons, 1M synapses




info@neuromorphic.eu



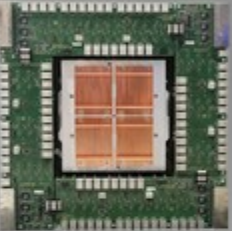
Engineering and Physical Sciences Research Council



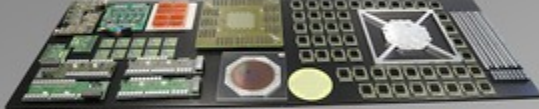
The BrainScaleS neuromorphic physical model system



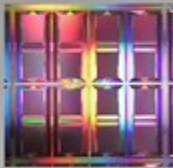
20 wafer modules
3,932,160 neurons
880,803,840 synapses



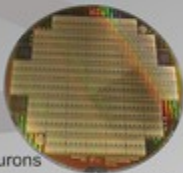
wafer module (50 cm x 50 cm)




components of a wafer module




8 HICANN chips per reticle
(2 cm x 2 cm)




48 reticles
per wafer
196,608 neurons
44,040,192 synapses (ø20 cm)




512 neurons
114,688 synapses
per HICANN chip
(0.5 cm x 1 cm)







1 plastic synapse
(10 μm x 10 μm)



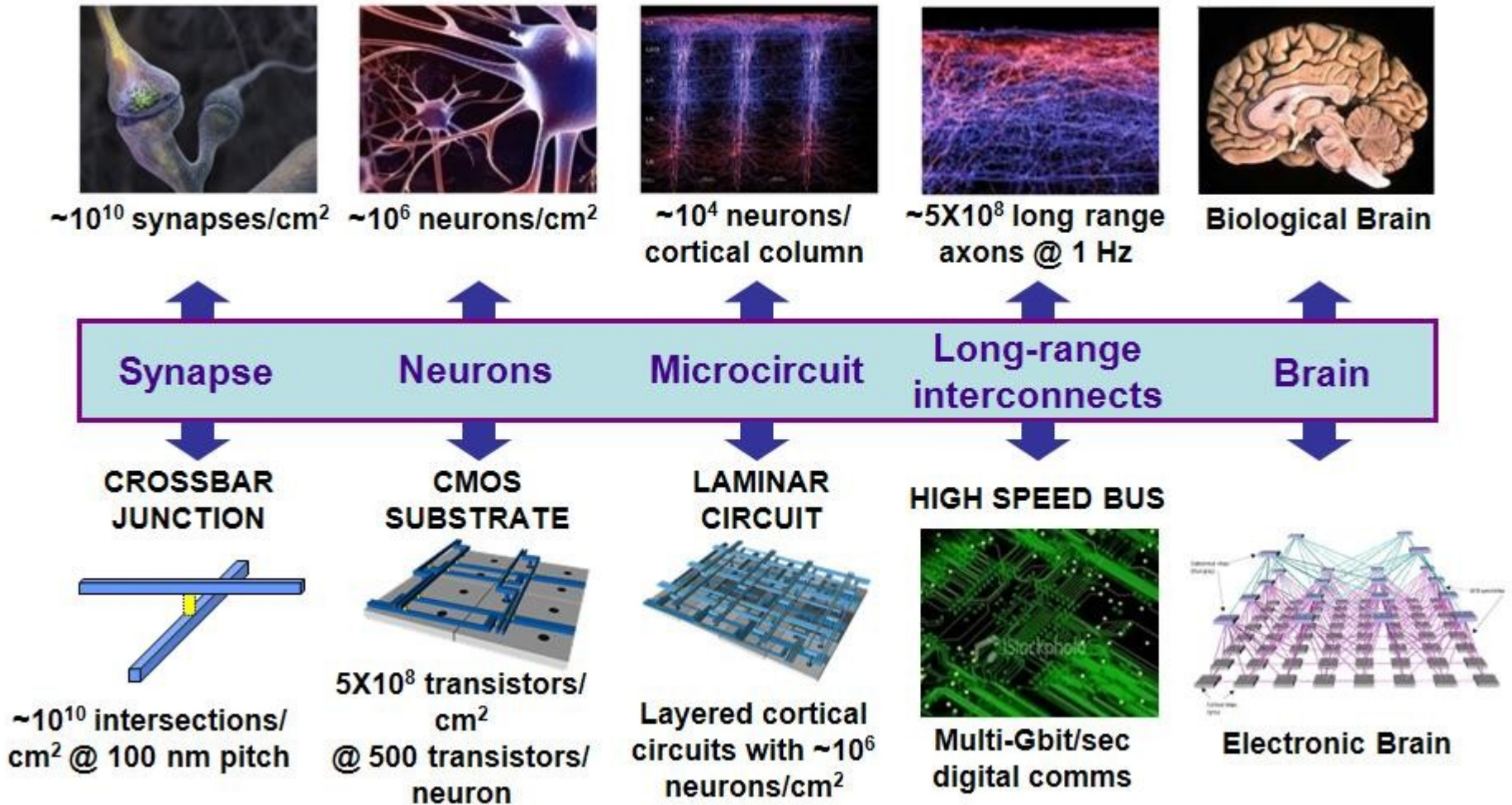
2 neurons
(150 μm x 20 μm)



info@neuromorphic.eu



Komputery neuromorficzne



DARPA Synapse project 2008-14

Neuromorficzne komputery/roboty

- Projekt SyNAPSE 2015: IBM TrueNorth chip
1 chip ~1 mln neuronów i 1/4 mld synaps (5.4 mld tranzystorów),
1 moduł=16 chipów ~16 mln neuronów, 4 mld synaps, moc 1.1 wata!
Skalowanie: 256 modułów ~4 mld neuronów, 1T = 10^{12} synaps, < 300 W.

IBM Neuromorphic System
osiąga złożoność
≈ ludzkiego mózgu.

Ale programowanie tych
neuronów nie jest łatwe.

IBM Research założył
SyNAPSE University.

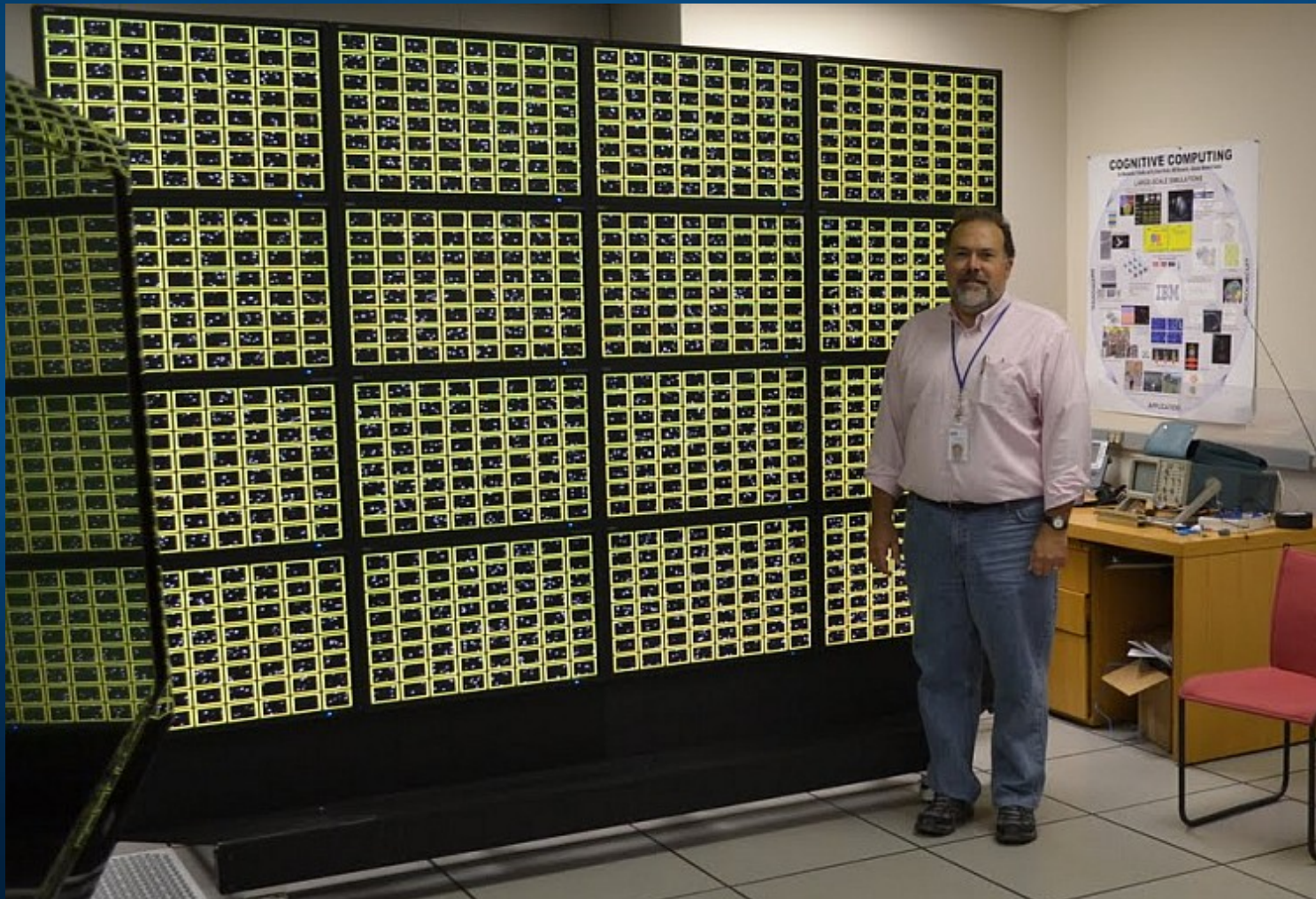
Samsung Dynamic Vision
Sensor (DVS) jest z TN.
Supersymulator HBP?

Intel Loihi to również
chip neuromorficzny.



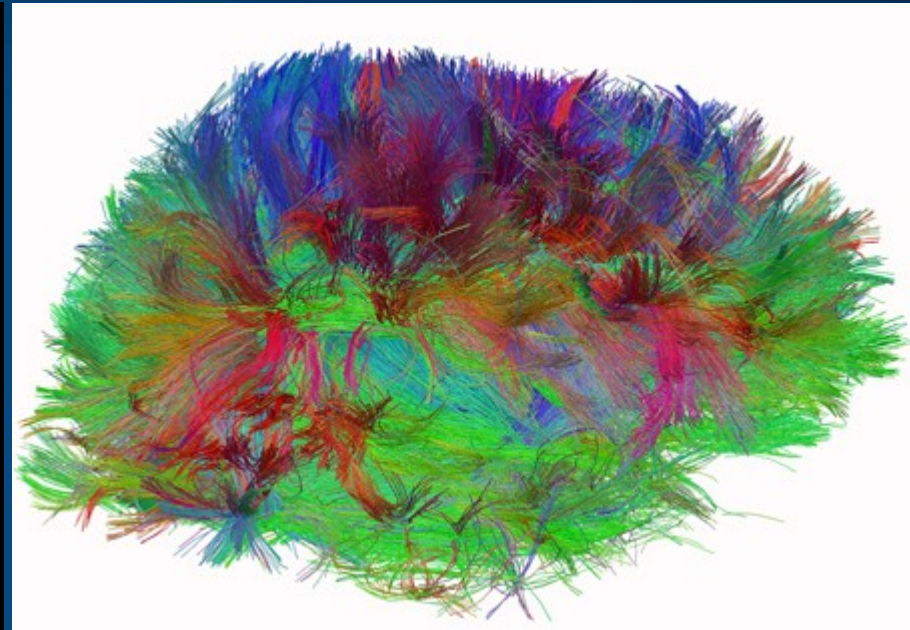
Neuromorficzna przyszłość

Ściana mieści 1024 chipy TN, czyli 1 mld neuronów i 256 mld synaps.
System ma podobną złożoność co mózg konia, 1/4 goryla, 1/6 szympansa.



Badanie mózgu

Genetyczny i neuronalny determinizm



Genetyczny determinizm narzuca ogólne ograniczenia. Tylko ~ **20.000** genów.

Neuronalny determinizm: > 100.000 mld połączeń!

Konektom = wynik doświadczeń życiowych, wychowania, prania mózgu, determinuje szczegółowo formę skojarzeń, myśli, odczuć, w kontekście kulturowym. Nie możemy myśleć inaczej, niż pozwala na to aktywność neuronalna – konfabulujemy, ale prawdziwa przyczyna to neurodynamika.

Jak naprawić/usprawnić/zoptimalizować działanie mózgu?

Neuropsychiatria



Trudno było odkryć biologiczne podłoże autyzmu, schizofrenii czy uczenia się.

Psychiatra/Pedagog nie patrzy na organ, który chce uleczyć/zmienić!

Zmiana myślenia (~2008): za mało wiemy => neurofenomika psychiatryczna.

NIMH: zamiast klasyfikacji za pomocą objawów regulacja rozległych podsięci.

Research Domain Criteria (RDoC) czyli domenowe kryteria badawcze.

5 rozległych podsystemów mózgu odpowiedzialnych za realizację:

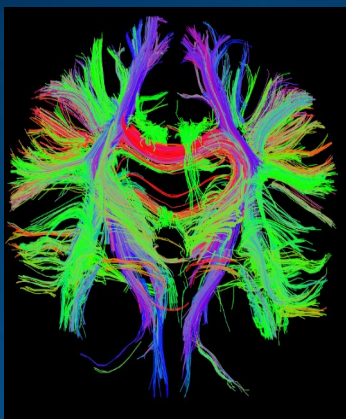
- 1) zachowań negatywnych** (strach, lęk, utrata, frustracja, awersja);
- 2) zachowań pozytywnych** (reakcje na nagrody, antycypację, chęć i preferencje działania, tendencje i hedonistyczne nawyki);
- 3) mechanizmów poznawczych** (uwagi, percepcji, pamięci deklaratywnej i roboczej, języka, kontroli i planowania działania);
- 4) relacji społecznych** (przywiązania, sprawstwa, komunikacji, samowiedzy, rozumienia siebie);
- 5) mechanizmów regulacyjnych i pobudzających** (rytmów okołodobowych, pobudliwości, przytomności).

Domena kognitywna, macierz RDoC

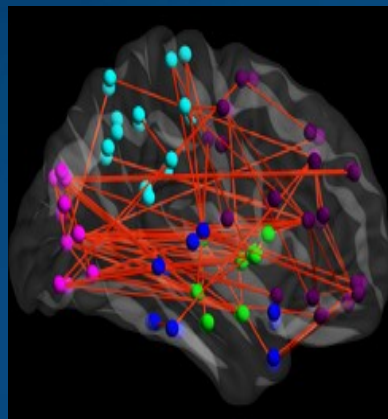
Construct/Subconstruct		Genes	Molecules	Cells	Circuits	Physiology	Behavior	Self-Report	Paradigms
Attention		Elements	Elements	Elements	Elements	Elements	Elements		Elements
Perception	Visual Perception	Elements	Elements	Elements	Elements	Elements	Elements	Elements	Elements
	Auditory Perception	Elements	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

Konektom z MRI/fMRI

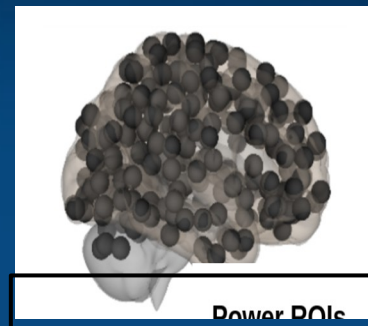
Structural connectivity



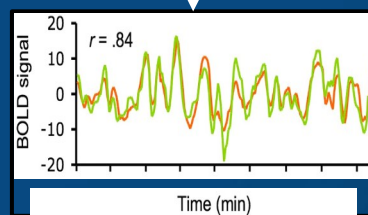
Functional connectivity



Node definition (parcellation)



Signal extraction

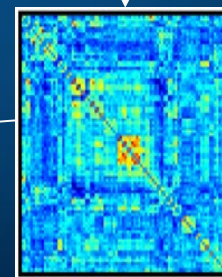


Correlation calculation

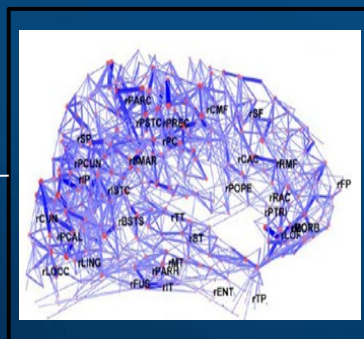
Binary matrix



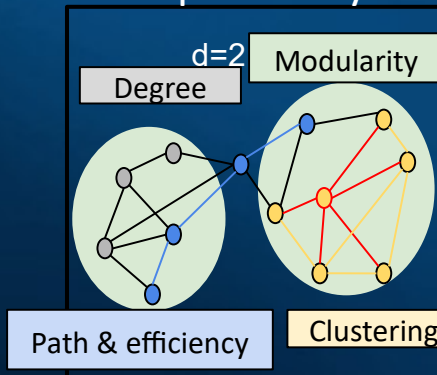
Correlation matrix



Whole-brain graph



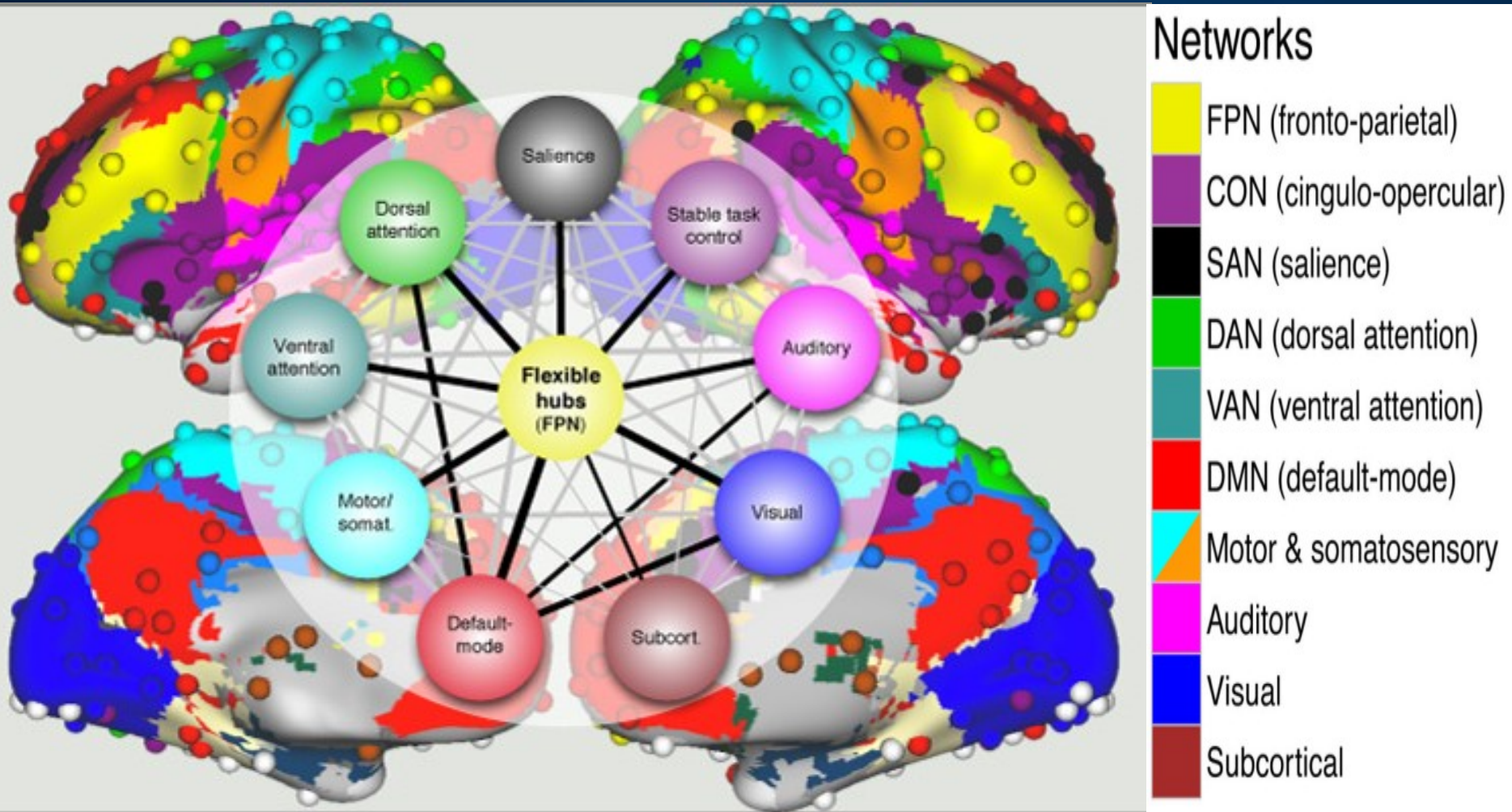
Graph theory



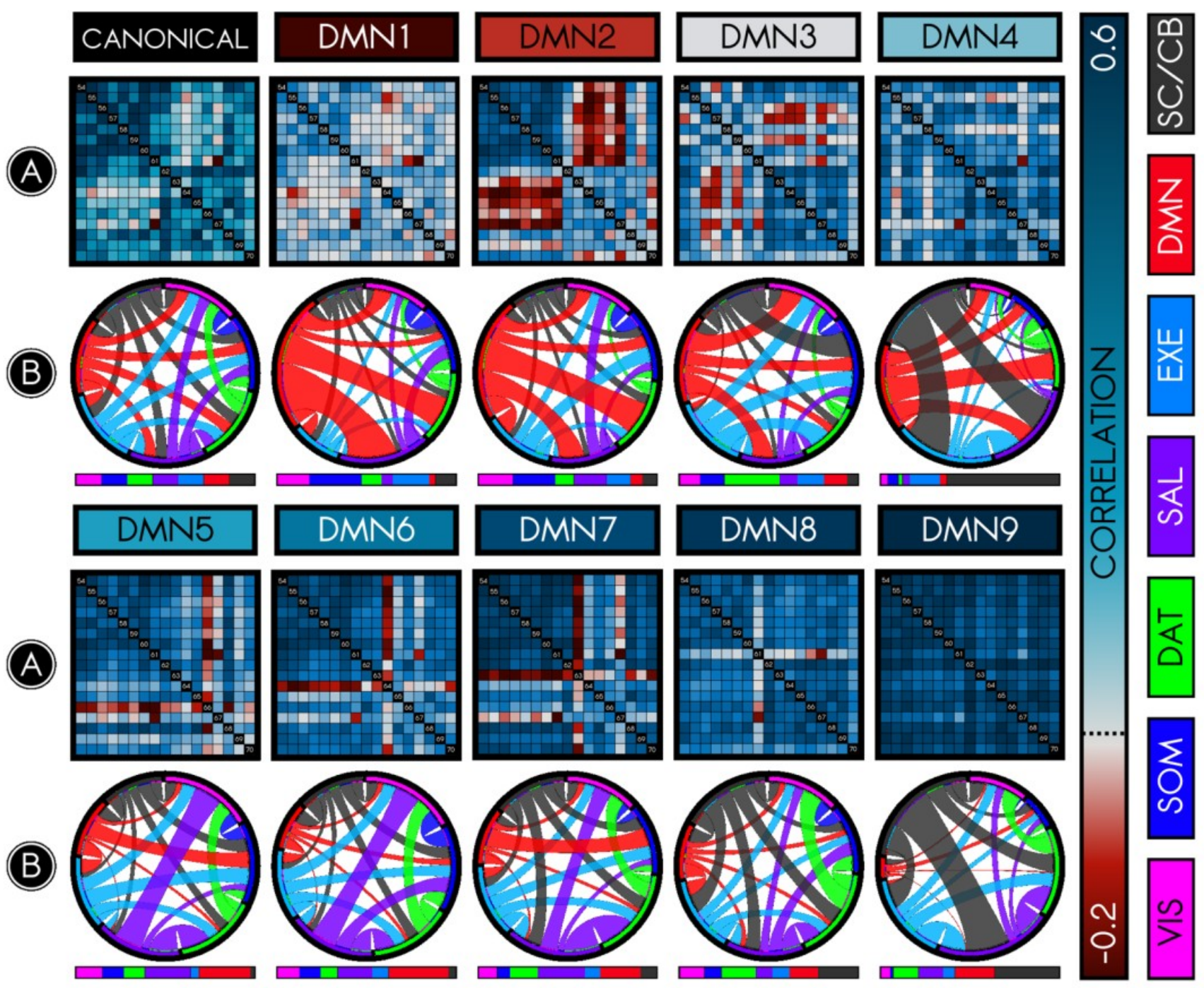
Many toolboxes available for such analysis.

Bullmore & Sporns (2009)

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).



Modularność i procesy poznawcze

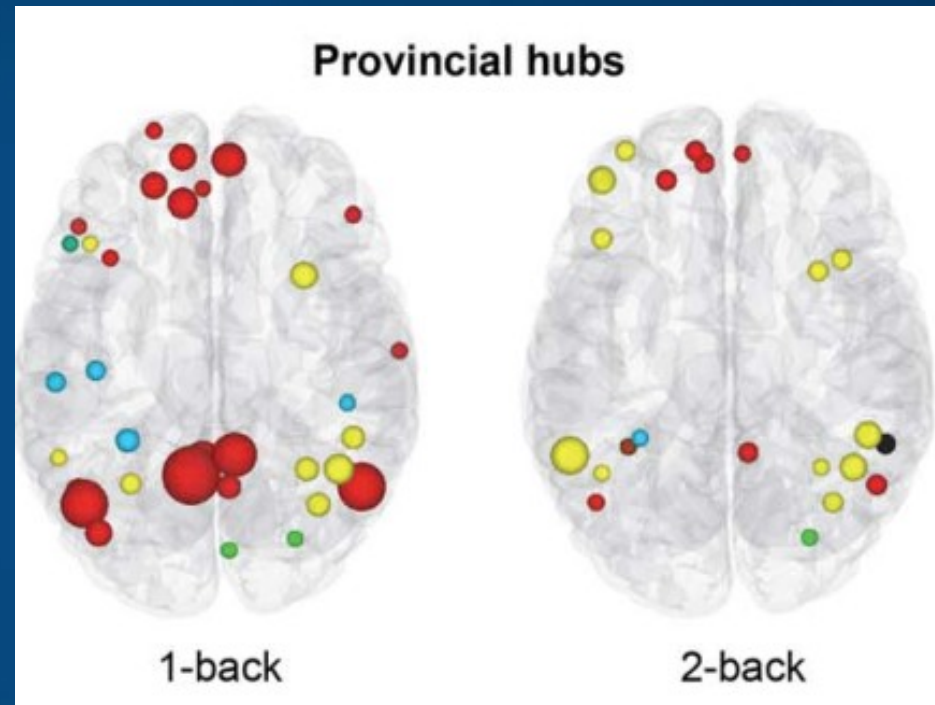
Proste i trudniejsze zadanie pokazuje jak zachodzi reorganizacja sieci całego mózgu, lokalnych hubów.

Lewa: 1-back, łatwe zadanie

Prawa: 2-back, trudniejsze zadanie

Średnia dla 35 badanych.

Lokalne huby zanikają jeśli zadanie robi się trudne, dostępne baseny atrakcji zależą od obciążenia poznawczego, zanikają w DMN i PFC.



Modularność i procesy poznawcze

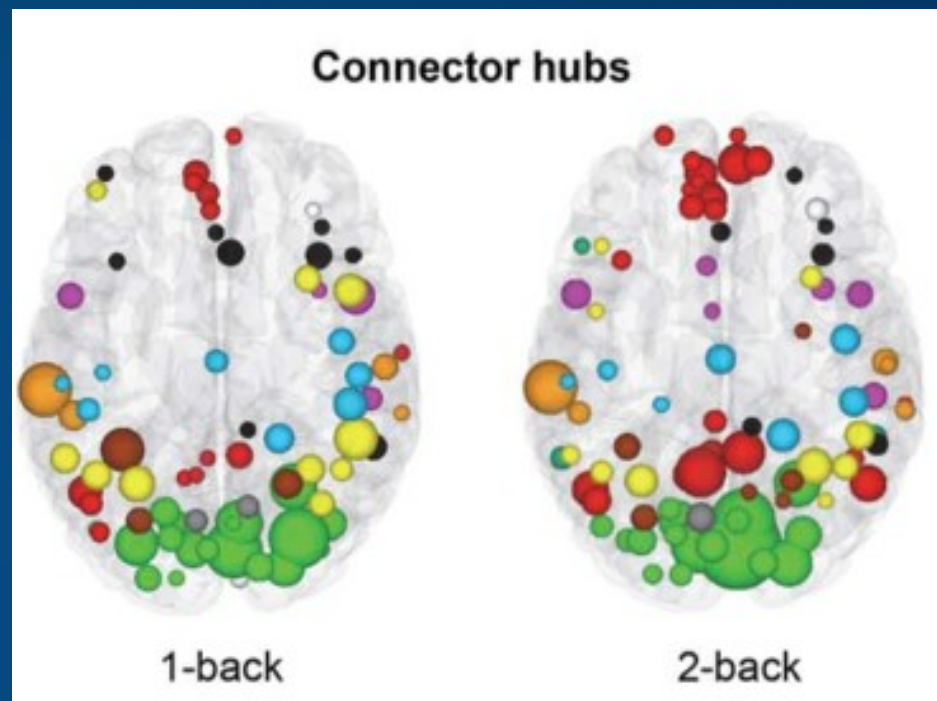
Proste i trudniejsze zadanie pokazuje jak zachodzi reorganizacja sieci całego mózgu, globalnych hubów.

Lewa: 1-back, łatwe zadanie

Prawa: 2-back, trudniejsze zadanie

Średnia dla 35 badanych.

Globalne huby w DMN i PFC stają się bardziej aktywne gdy zadanie robi się trudne, część neuronów w tych obszarach tworzy nowe rozległe podsięci integrujące pracę mózgu.

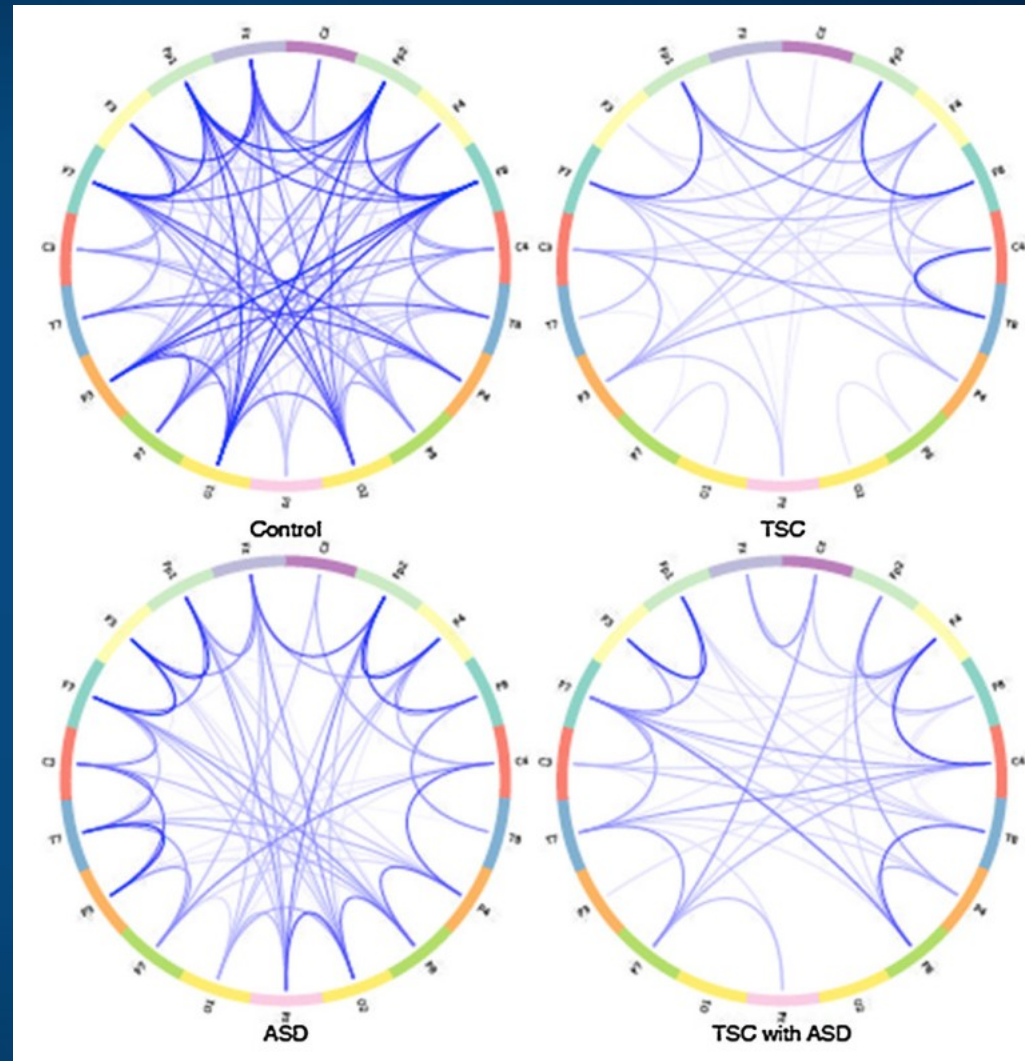


ASD: patologie połączeń

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

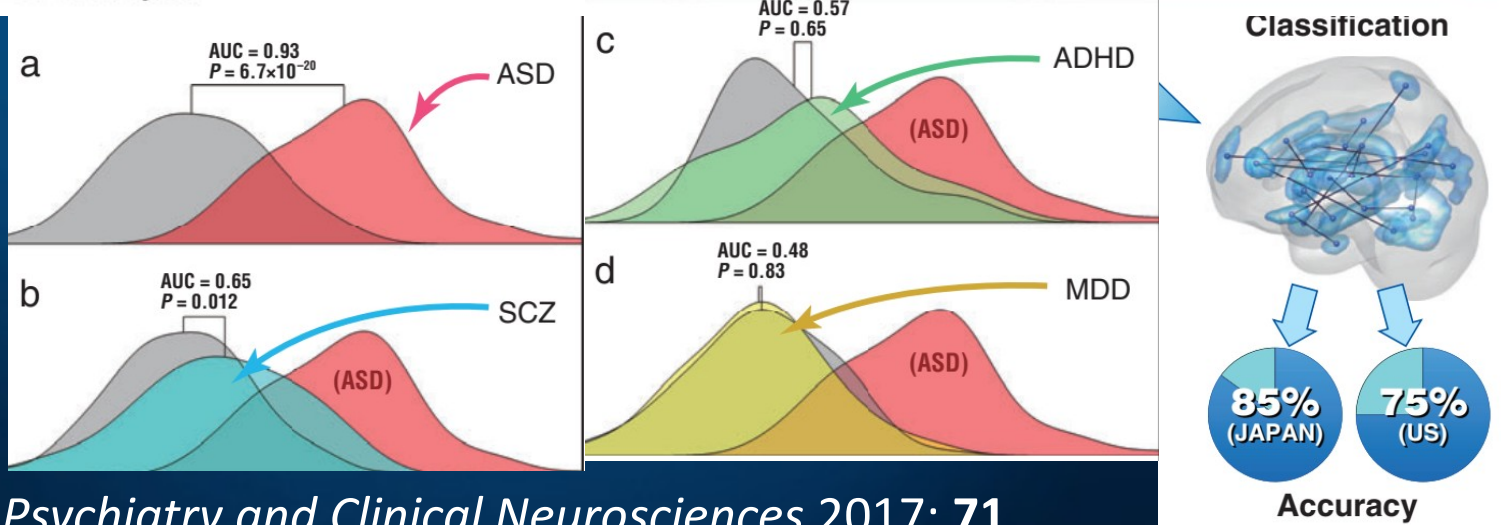
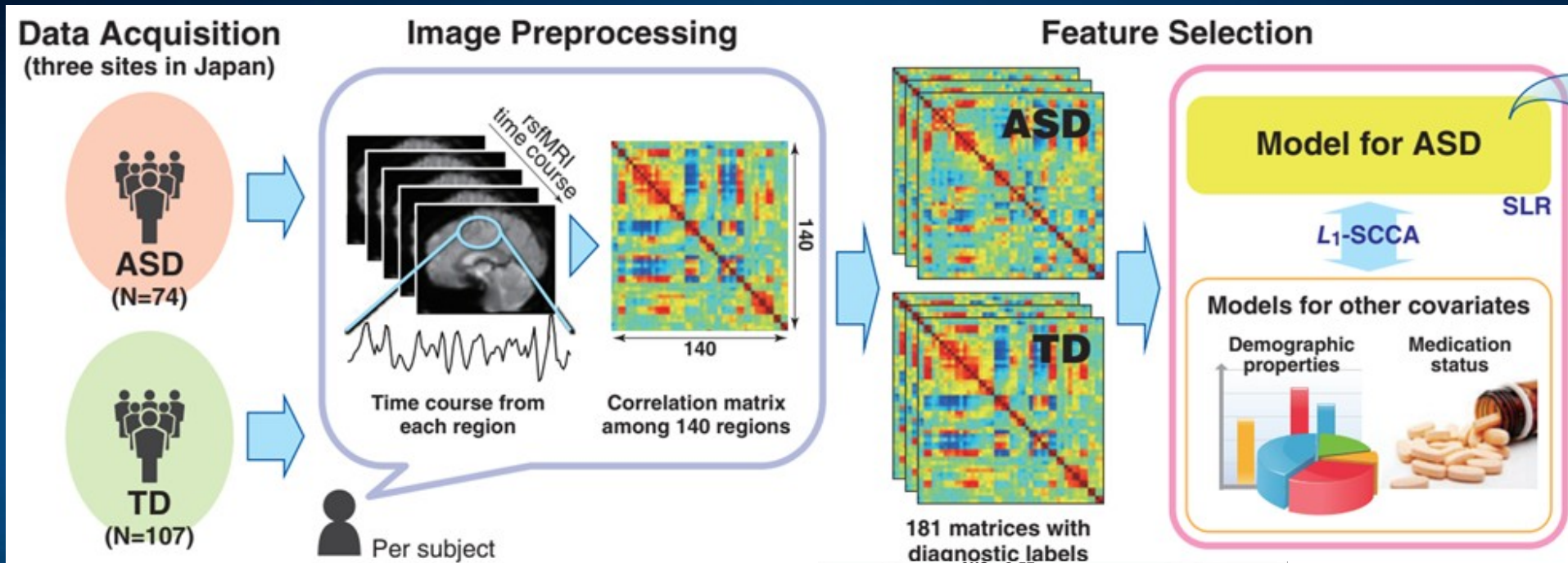
Widać słabe lub całkiem brakujące połączenia pomiędzy odległymi od siebie obszarami.

Takie połączenia konieczne są do realizacji złożonych funkcji.

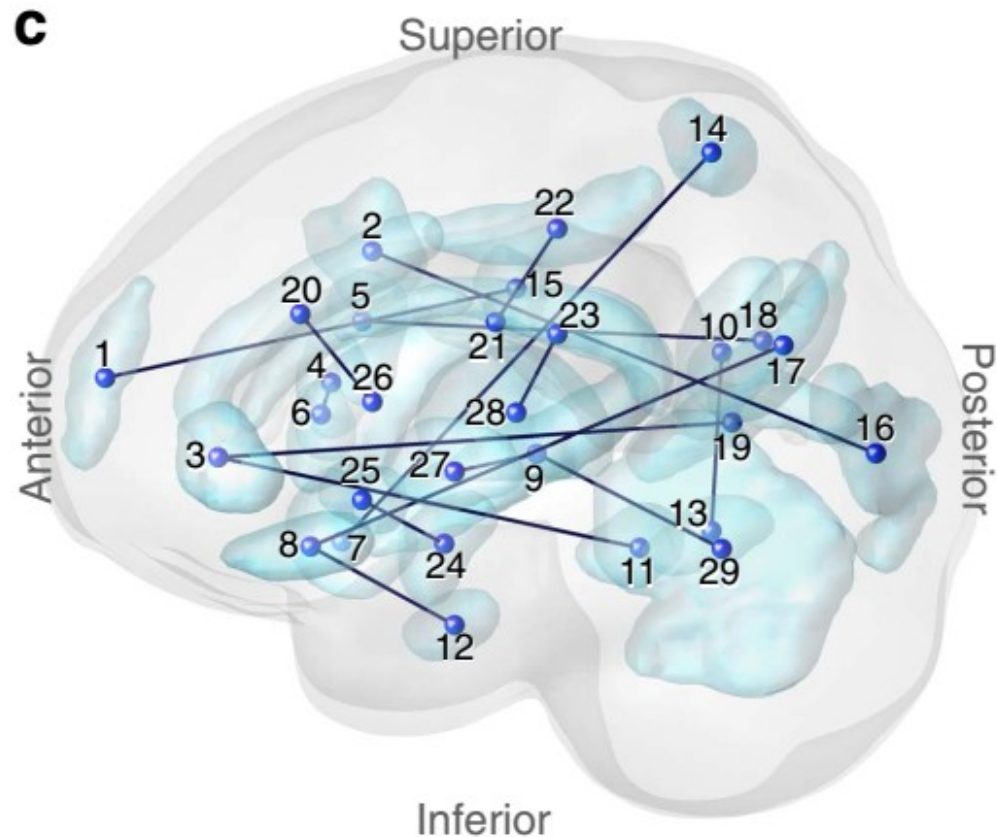
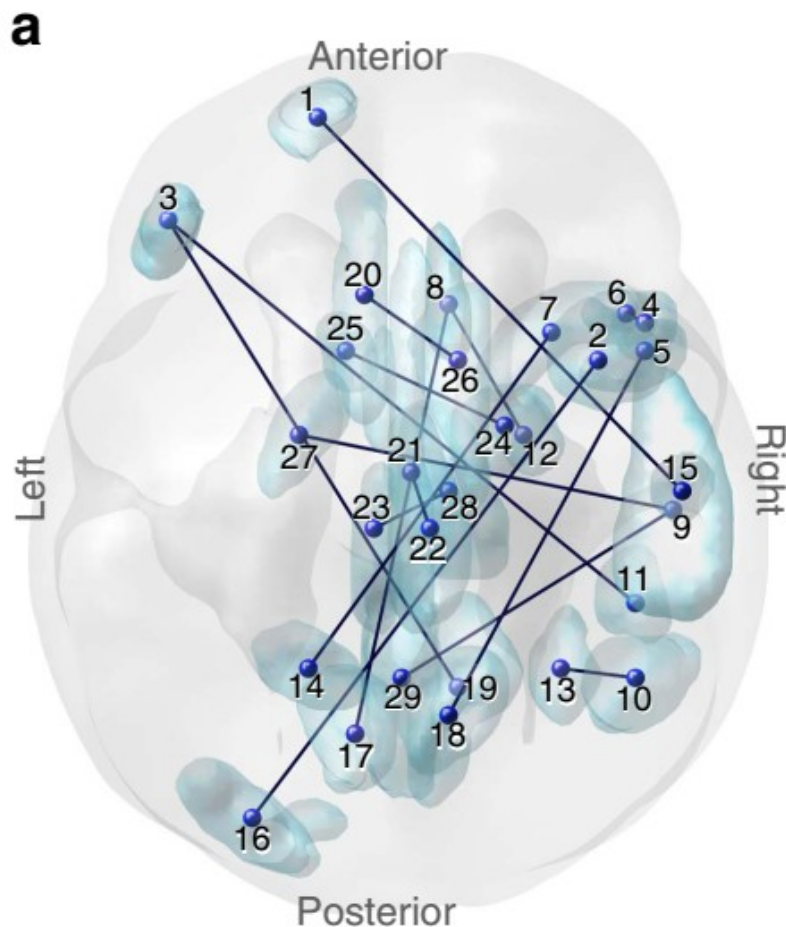


J.F. Glazebrook, R. Wallace, Pathologies in functional connectivity, feedback control and robustness. Cogn Process (2015) 16:1–16

Diagnoza oparta na fMRI



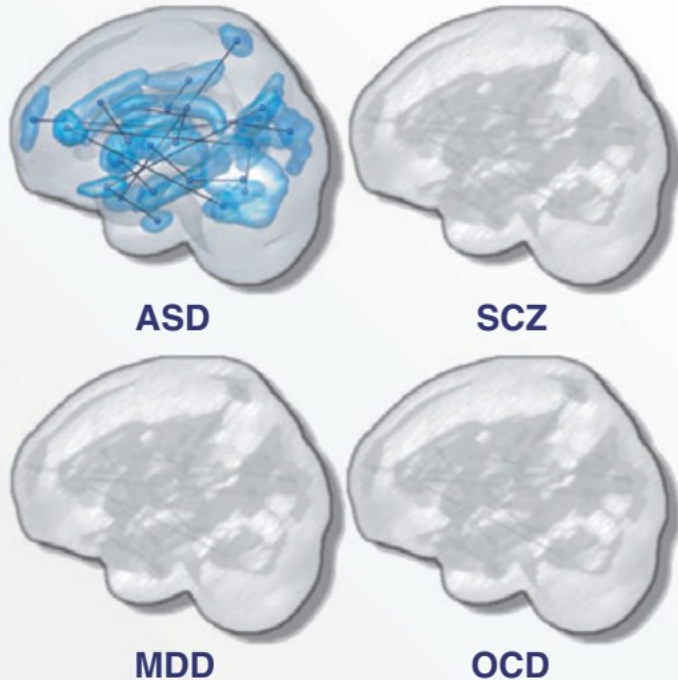
Wybieramy najsilniejsze połączenia



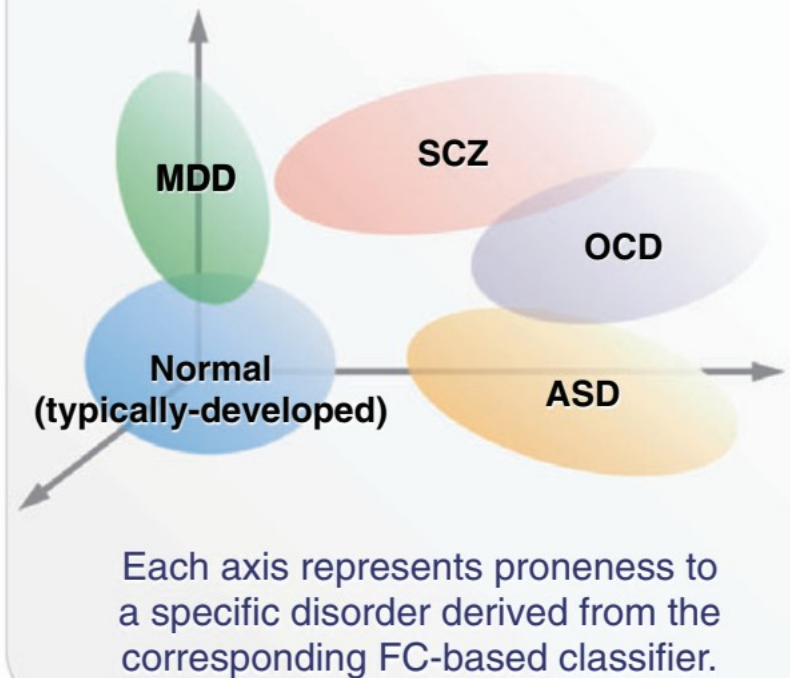
N. Yahata et al (2016): 29 wybranych regionów (ROI) i 16 połączeń wystarczy by rozpoznać ASD z dokładnością 85% dla 74 japońskich dorosłych pacjentów i 107 ludzi z grupy kontrolnej; ten sam model bez douczania ma dokładność 75% w USA.

Obiektywne biomarkery zaburzeń

Functional connectivity-based classifiers for mental disorders



Recasting current nosology in more biologically meaningful dimensions

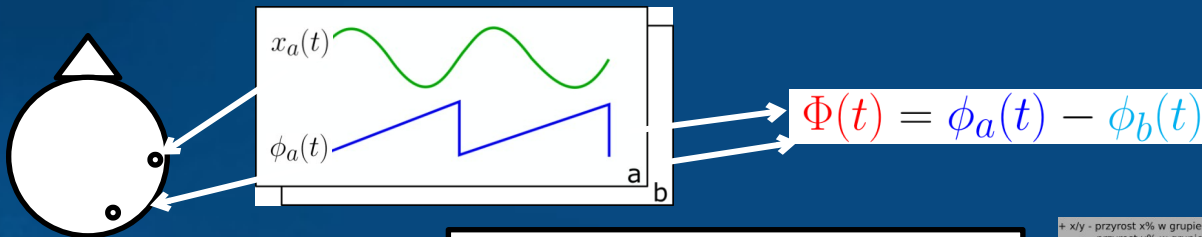


MDD, major depressive disorder, SCZ, schizophrenia, OCD, obsessive compulsive disorder, na osiach ASD i SCZ.

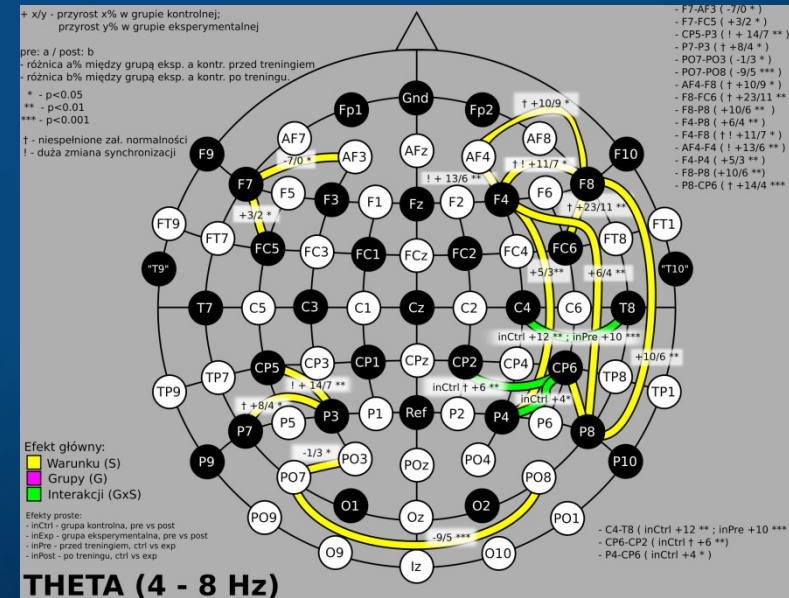
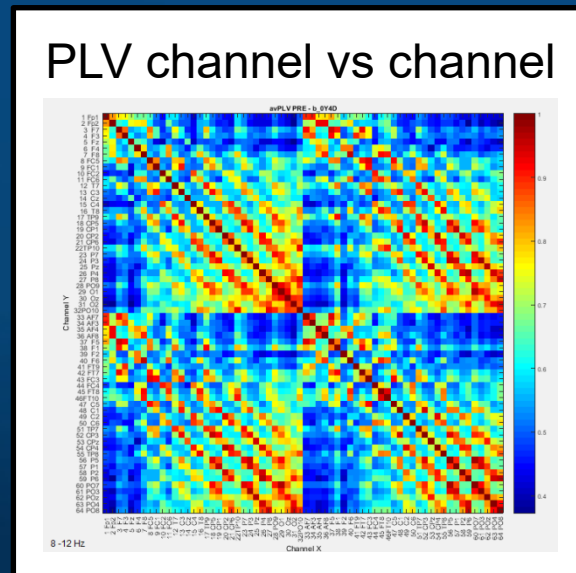
N. Yahata et al, *Psychiatry and Clinical Neurosciences* 2017; **71**: 215–237

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.



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



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.

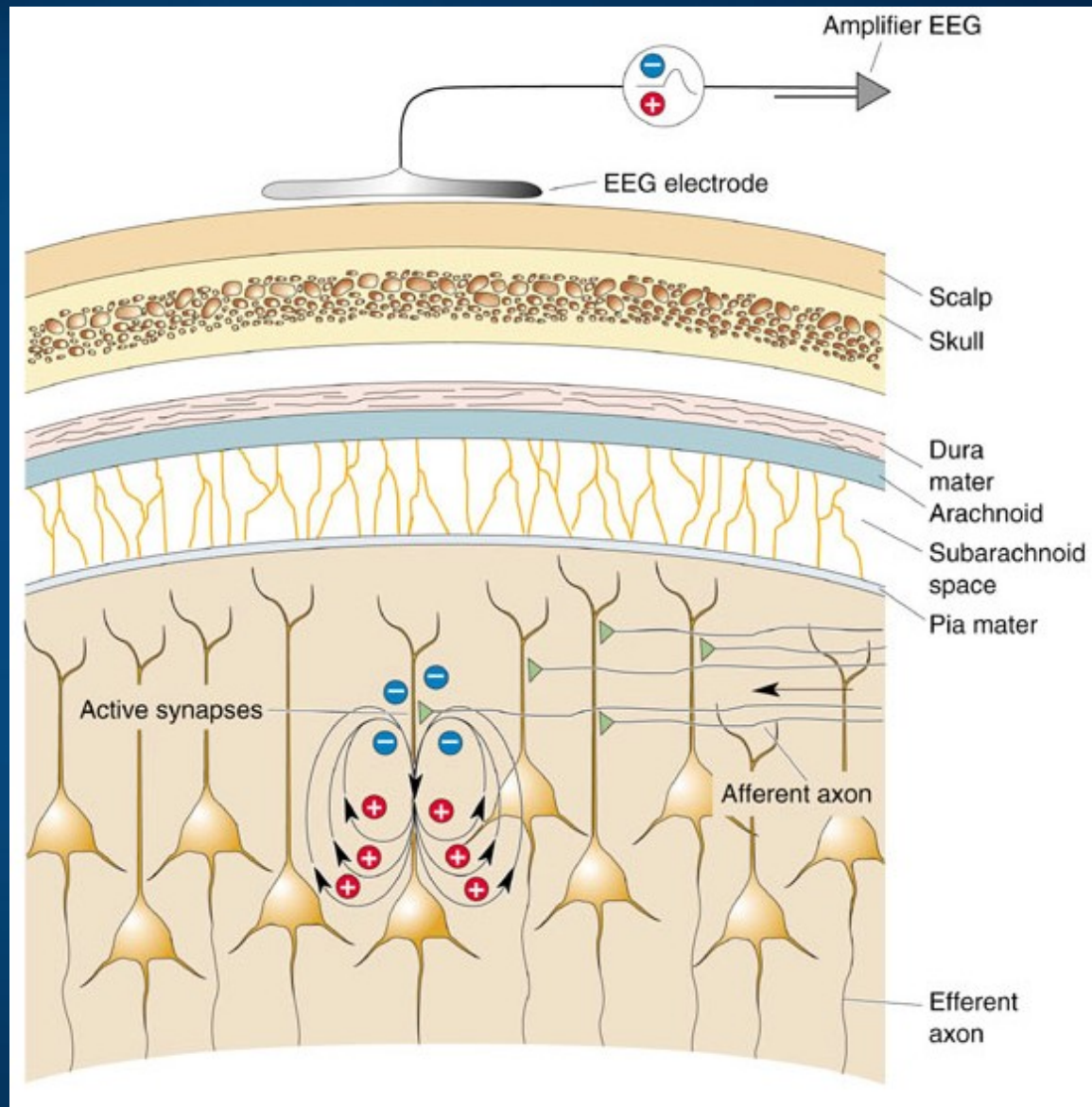
Obserwowany sygnał:

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

K = leadfield matrix

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

Segmentacja +
rekonstrukcja to parę dni



EEG lokalizacja i rekonstrukcja

ECD



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

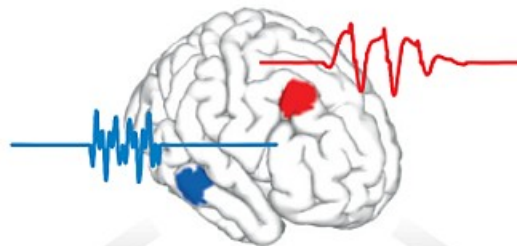
Rotating dipole

- Moving
- Rotating
- Fixed

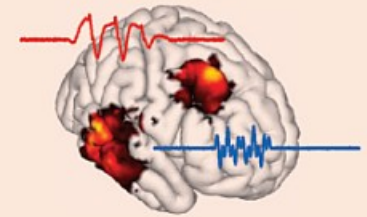
Dipole model



Distributed model



MN (ℓ_2) family



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

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

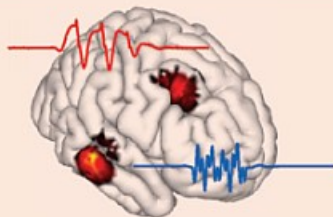
MN

- MN
- WMN
- LORETA

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

Beamforming and scanning algorithms

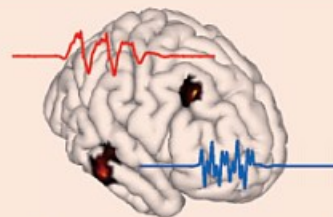
Nonlinear post hoc normalization



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

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

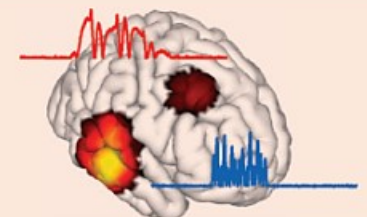
IRES



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

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

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-

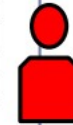
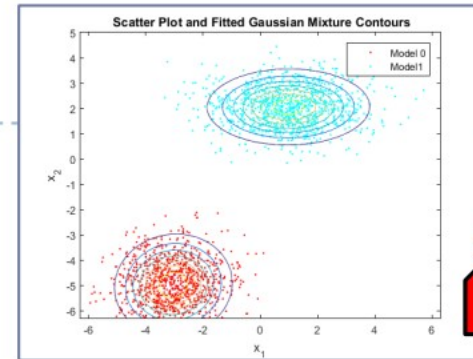
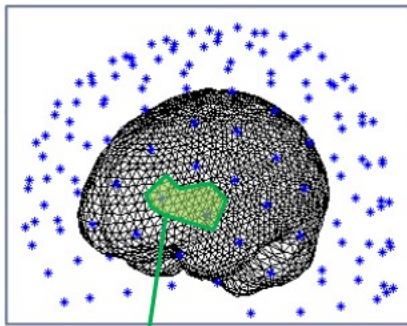
$$A := H_{Src,R} := R^{-1/2} H \quad (34)$$

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

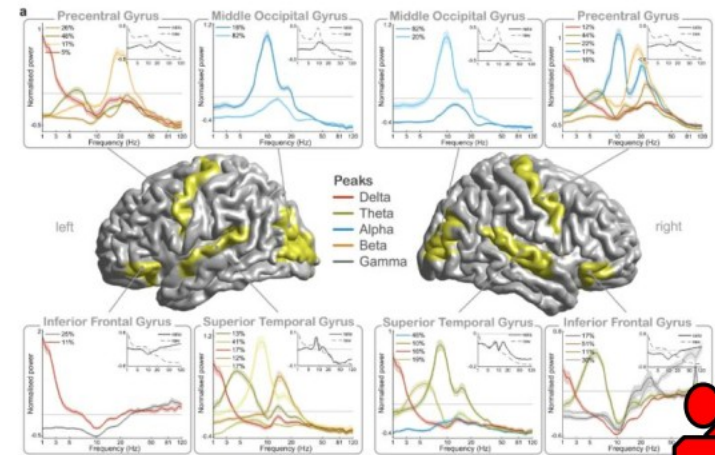
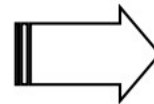
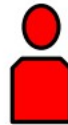
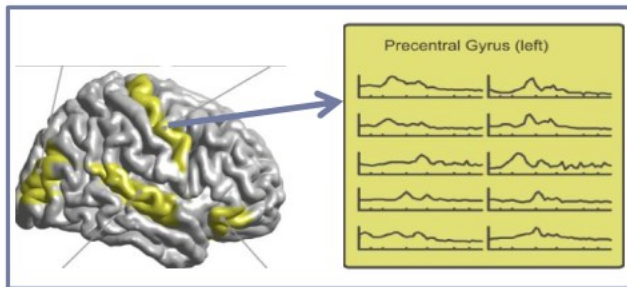
```
1 %%file calculate_H_Src.m
2 function model = calculate_H_Src(MODEL)
3     model = MODEL;
4
5     model.H_Src_R = pinv(sqrtm(model.R)) * model.H_Src;
6     model.H_Src_N = pinv(sqrtm(model.N)) * model.H_Src;
7 end
```

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

Spectral fingerprints: dynamika



Single subject



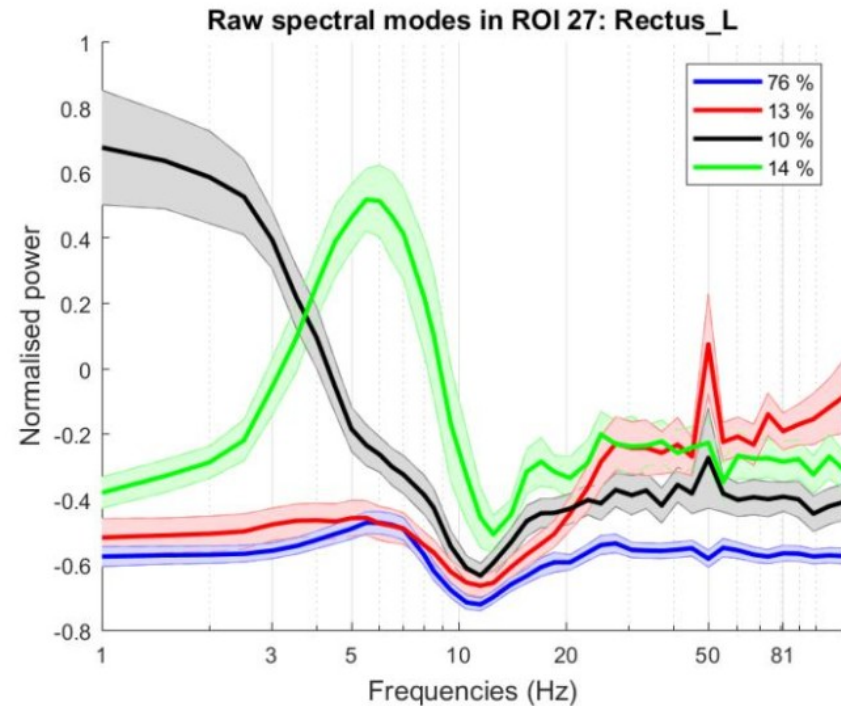
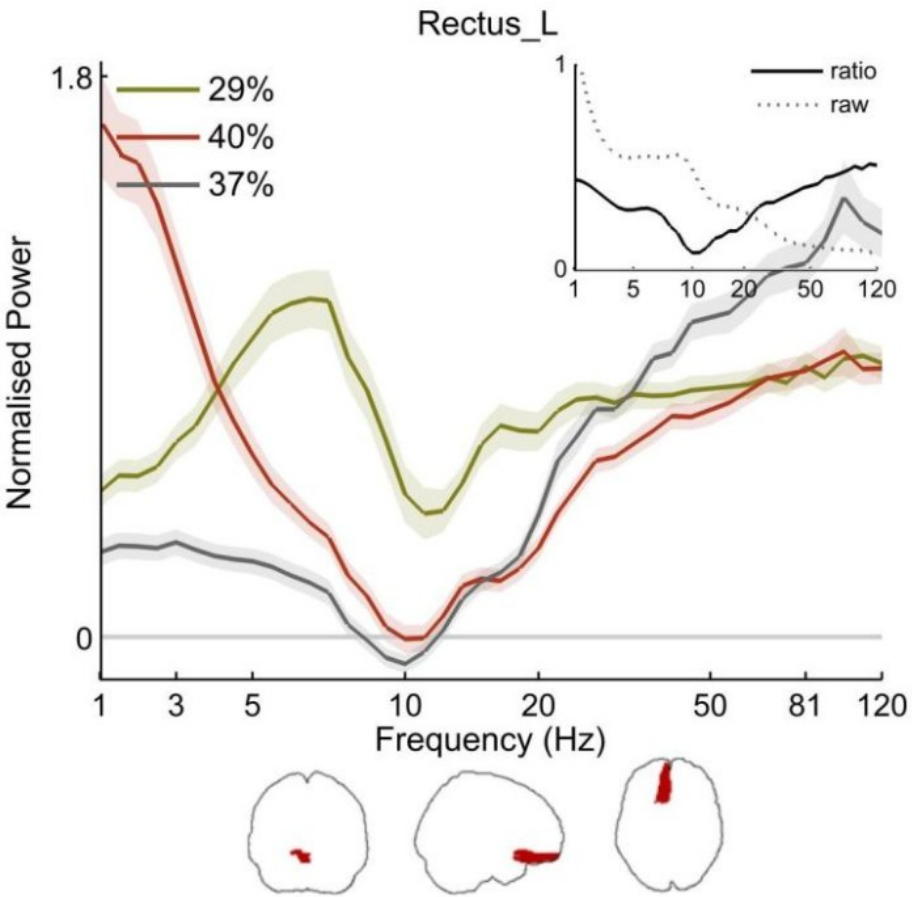
Group model

5

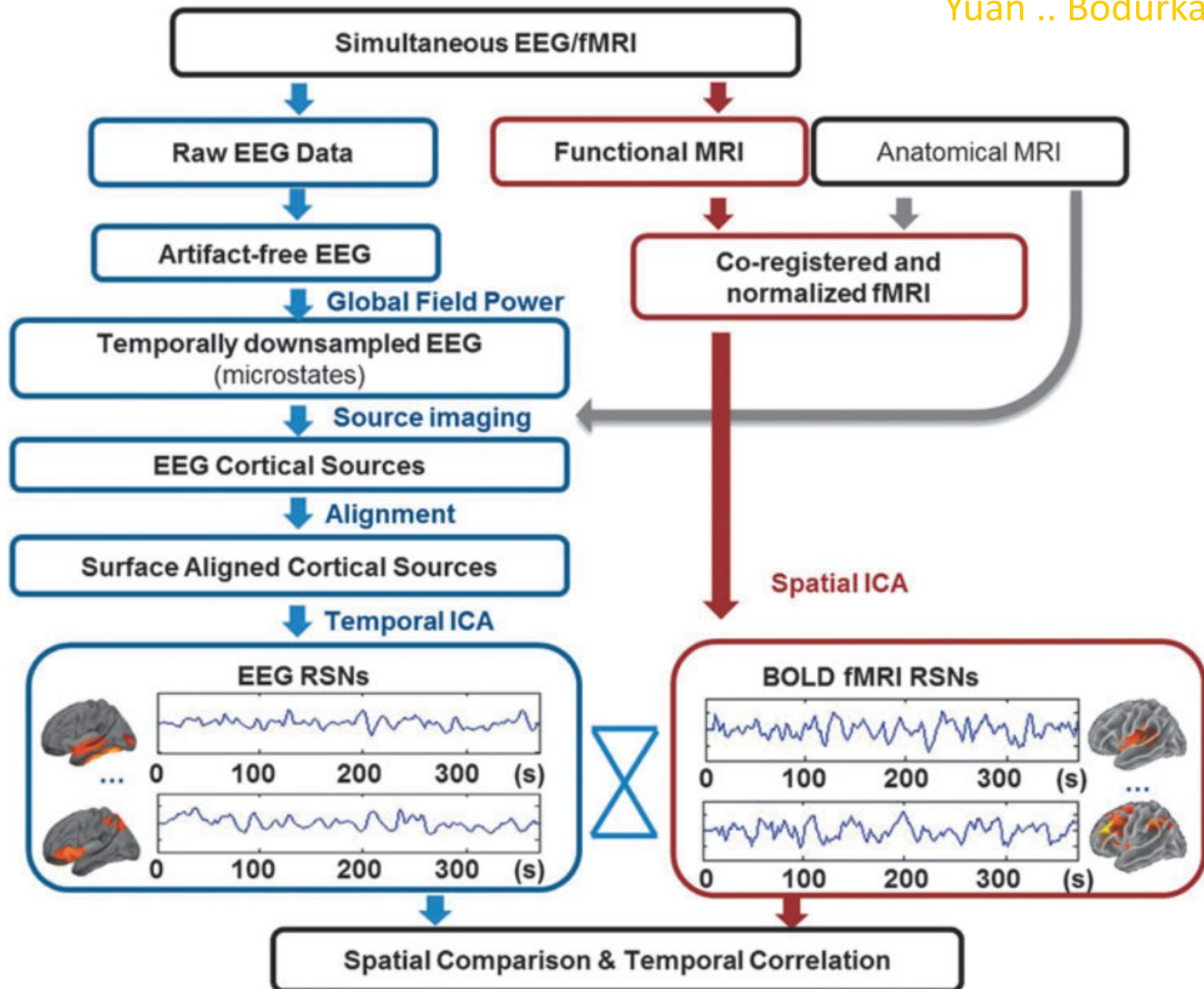
* Pictures from Keitel & Gross 2016 and Fieldtrip
beamforming tutorial

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

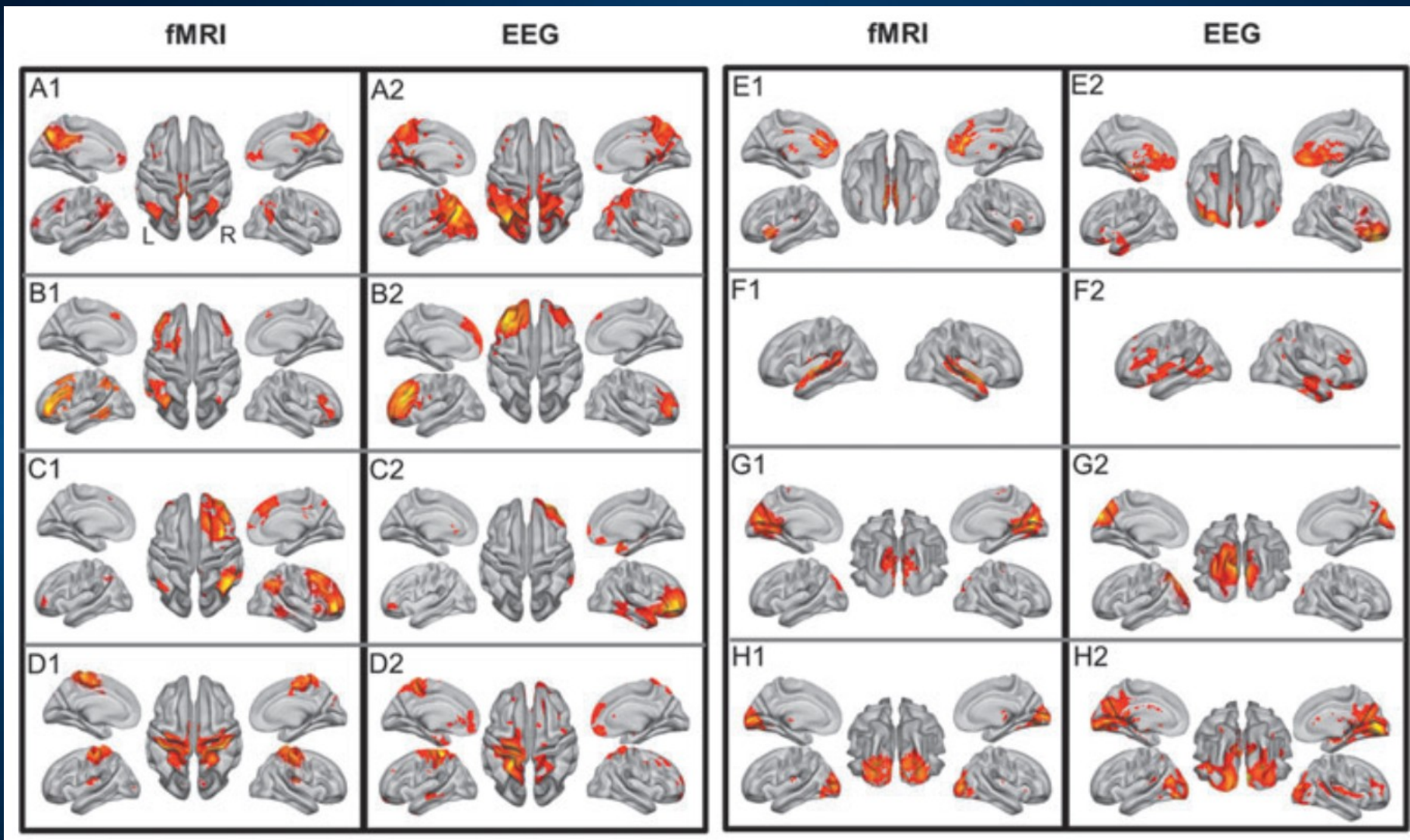
Spectral fingerprints



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

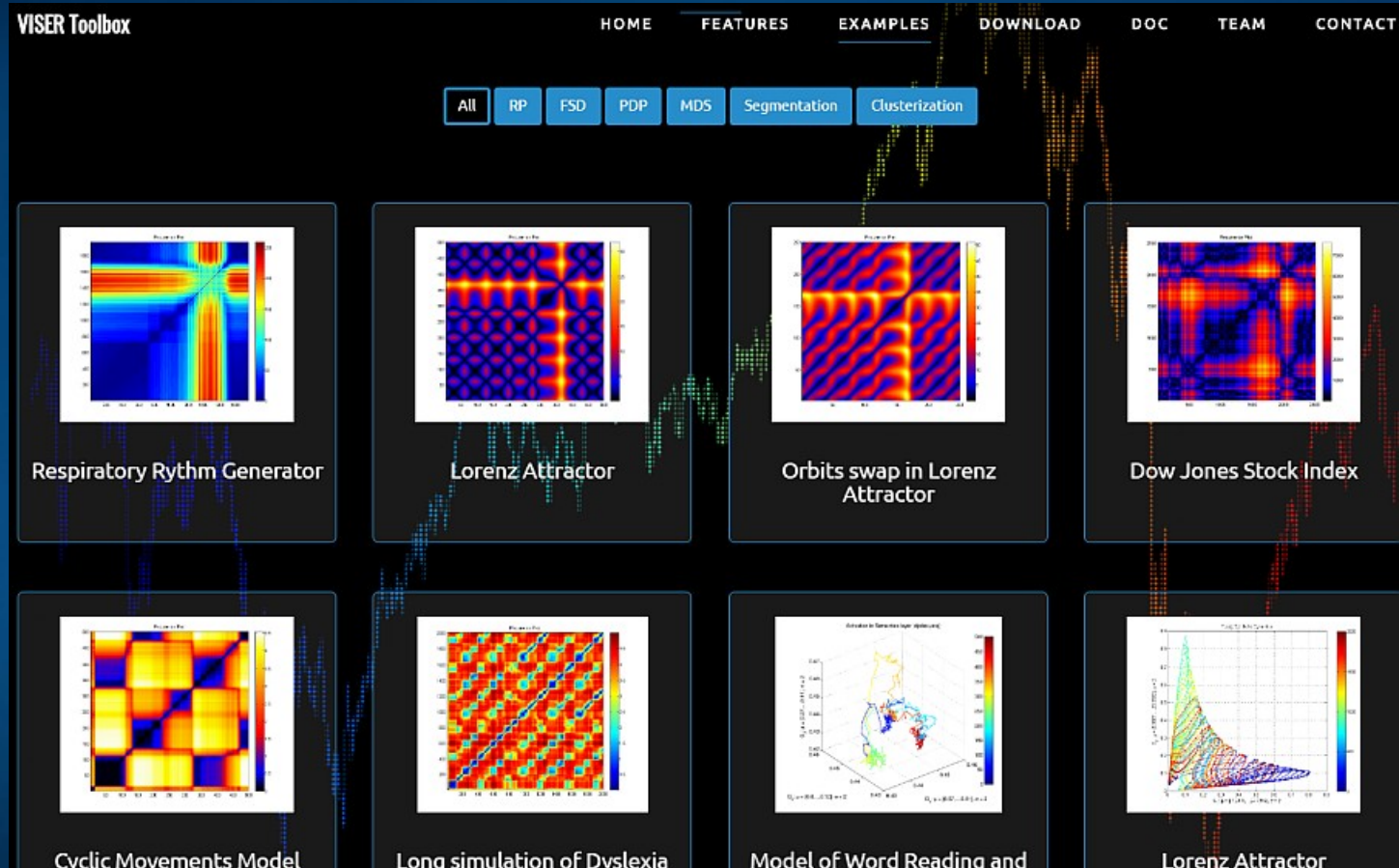


8 sieci, porównanie fMRI-EEG



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

Viser toolbox



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

Doskonalenie mózgu

AI i
udoskonalanie
człowieka.
Human
enhancement
or
augmentation



AI/DNN wszystko zmienia

1997 – szachy, Deep Blue wygrywa z Kasparowem.

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

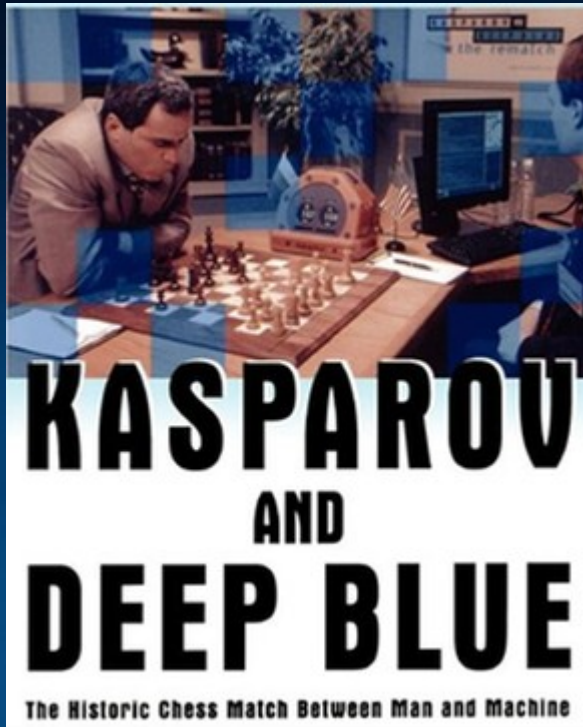
2015 – zrobotyzowane laboratorium + AI odkrywa ścieżki genetyczne/sygnałowe regeneracji płazińców

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?



Rzeczywistość:



NAŁADUJ MNIE!

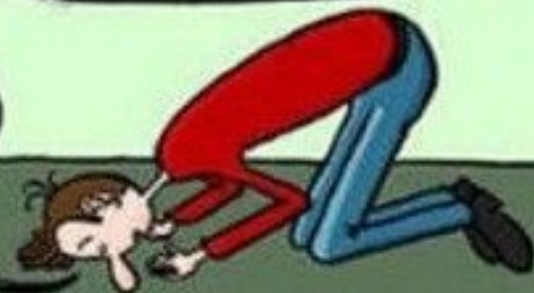
PODŁĄCZ MNIE
DO WIFI!

NOWY MAIL! CZYTAJ!

ODBIERZ TO!

AKTUALIZUJ MI
SOFT!

TAK PANIE!



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! Do końca roku 2018 ma powstać plan rozwoju AI.

- Wspieranie i wzmocnianie centrów doskonałości AI w Europie.
- 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

Tradycyjnie: edukacja

Pedagogika działała metodą prób i błędów, obserwacje prowadzą do różnych teorii.

Edukacja to rzeźbienie mózgu! Uczenie zmienia fizyczne połączenia, procesy w mózgu przebiegają drogami wyłobionymi przez nauczyciela.

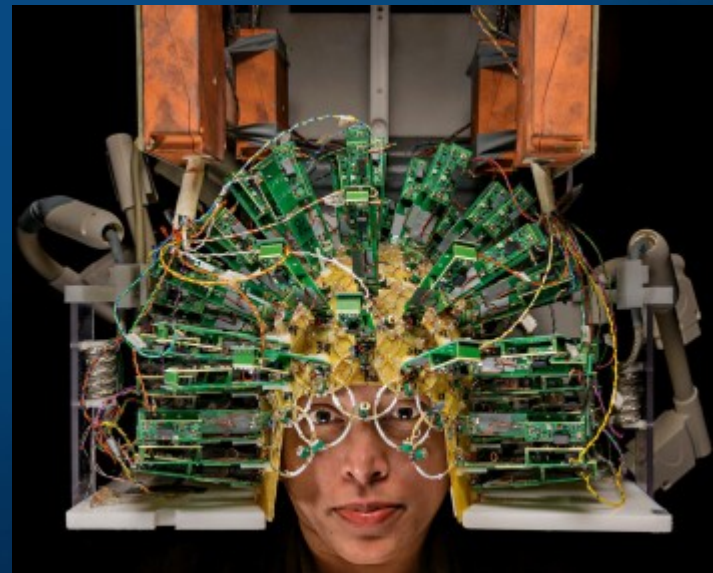
Neuroedukacja: połączenie neuronauk, psychologii i pedagogiki w celu opracowania efektywnych metod nauczania, na razie w powijakach.

Skąd i co mogę o sobie wiedzieć?

Uczę się interpretować stany mózgu i ich relacje do możliwości moich interakcji ze światem.

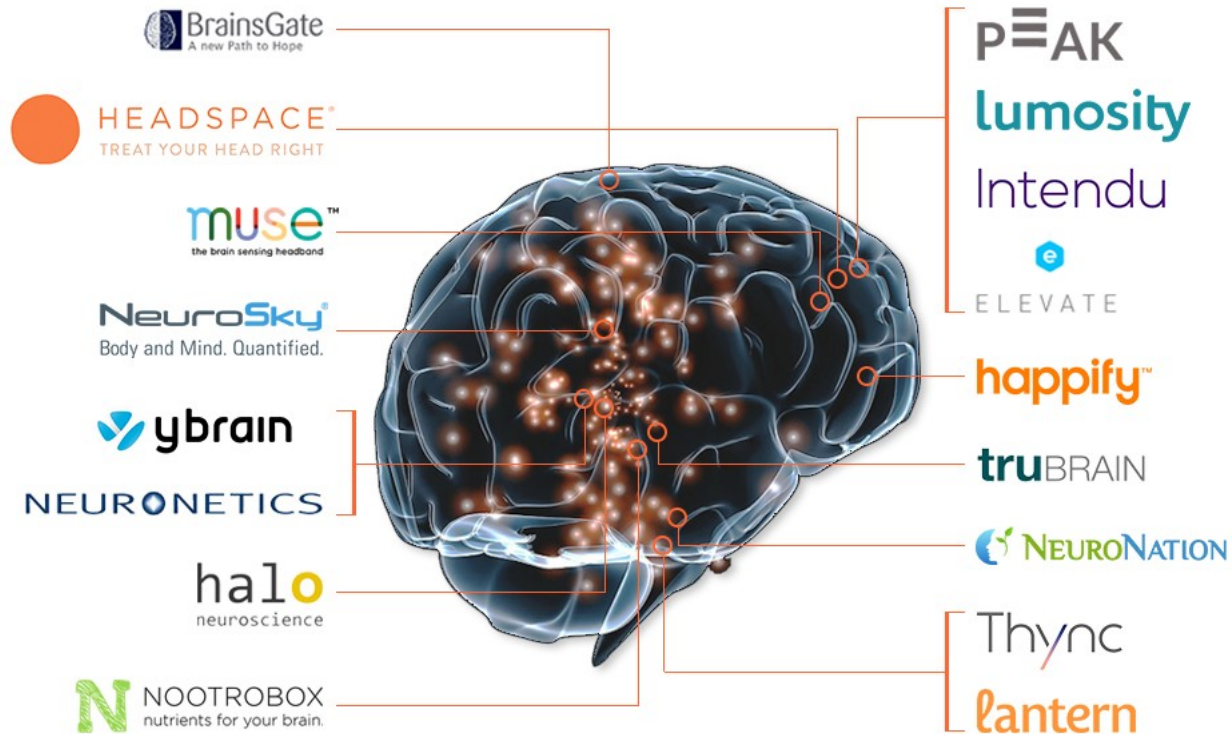
Cudowna pigułka na inteligencję?

A może da się połączenia w mózgu „wyrzeźbić” w sposób nie wymagający wysiłku?

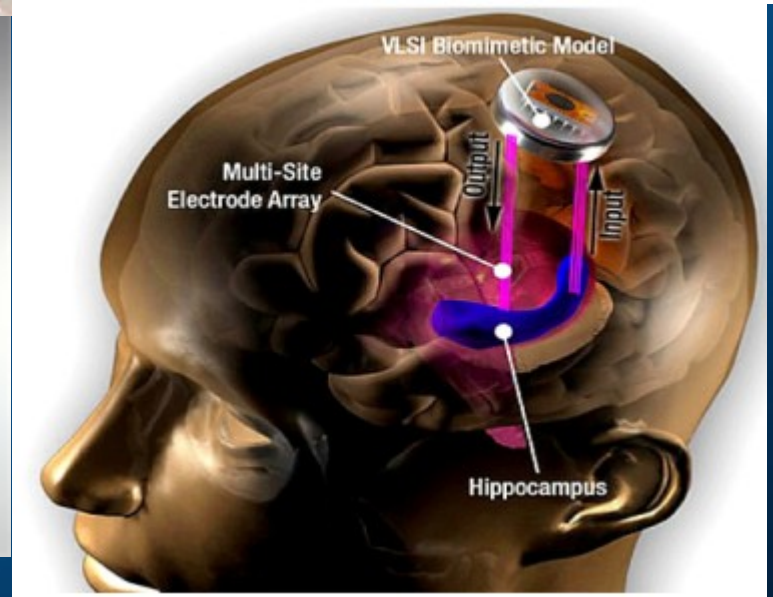
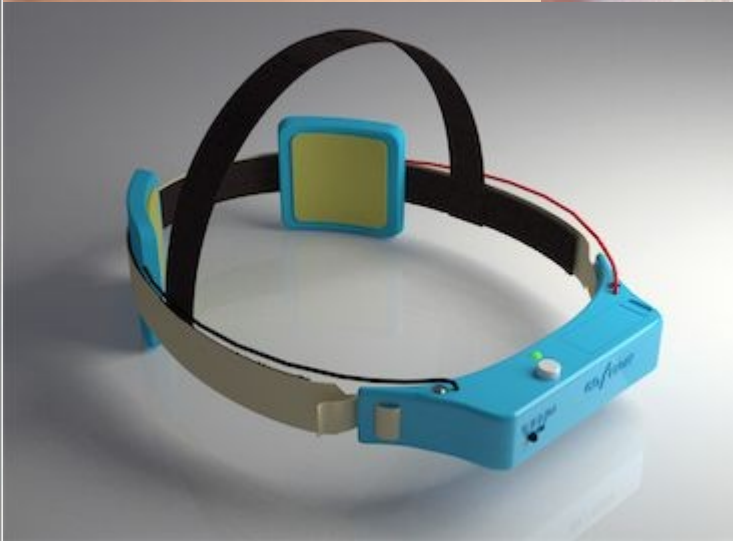
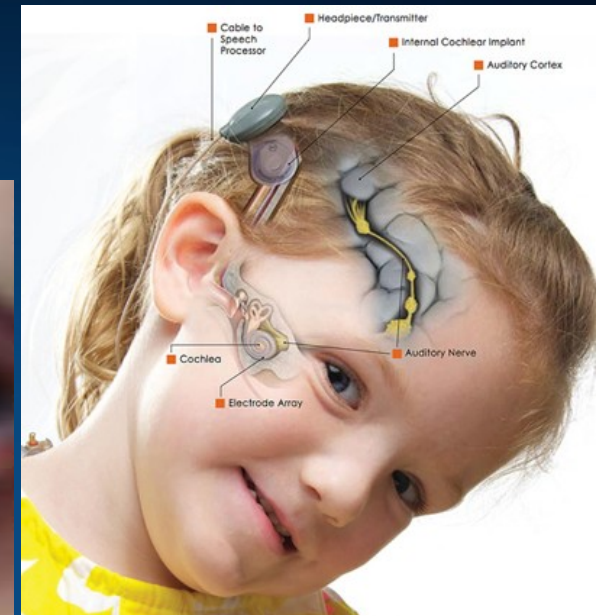


Poprawianie mózgów

BOOSTING THE BRAIN: 17 Startups to Watch



Wzmocnienie



Poszerzenie zmysłów: wzroku, słuchu, dotyku, pamięci, uwagi ...
Udoskonalanie mózgow przez dodawanie nowych zmysłów?

Wearables i Hearables



Hearables

A New Era of
Hearing Devices

 BRAGI



The Dash



Halo 2

Neuro-relaks

Muzyka, dźwięki
mogą pobudzać
lub działać
relaksująco.

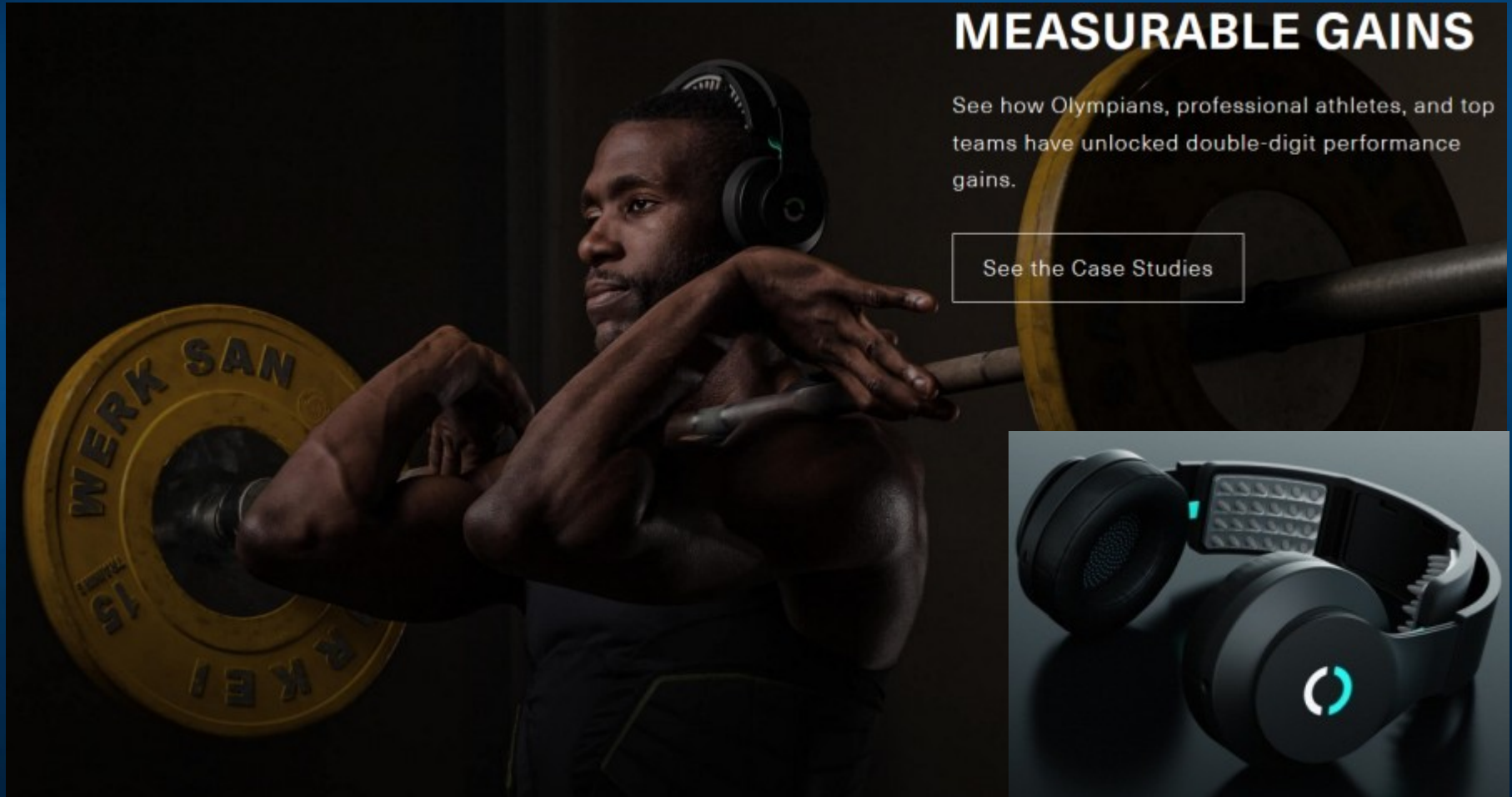
Melomind:

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!

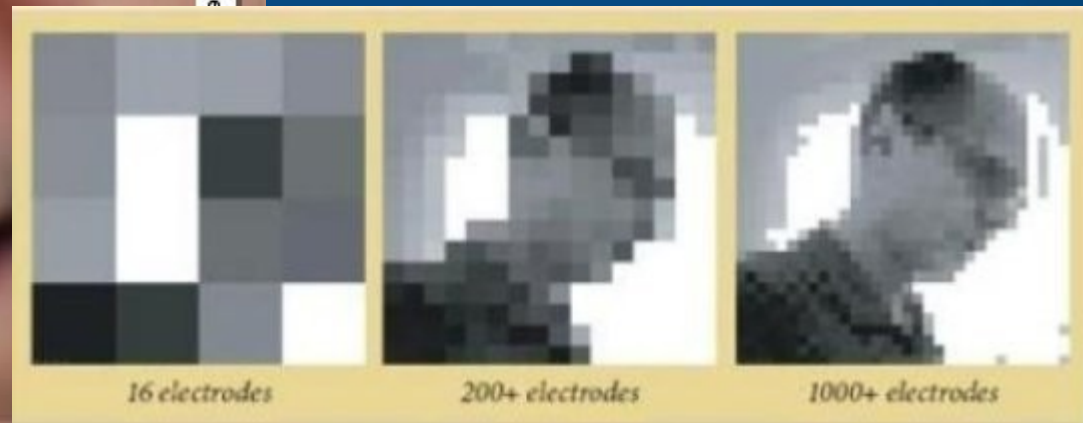
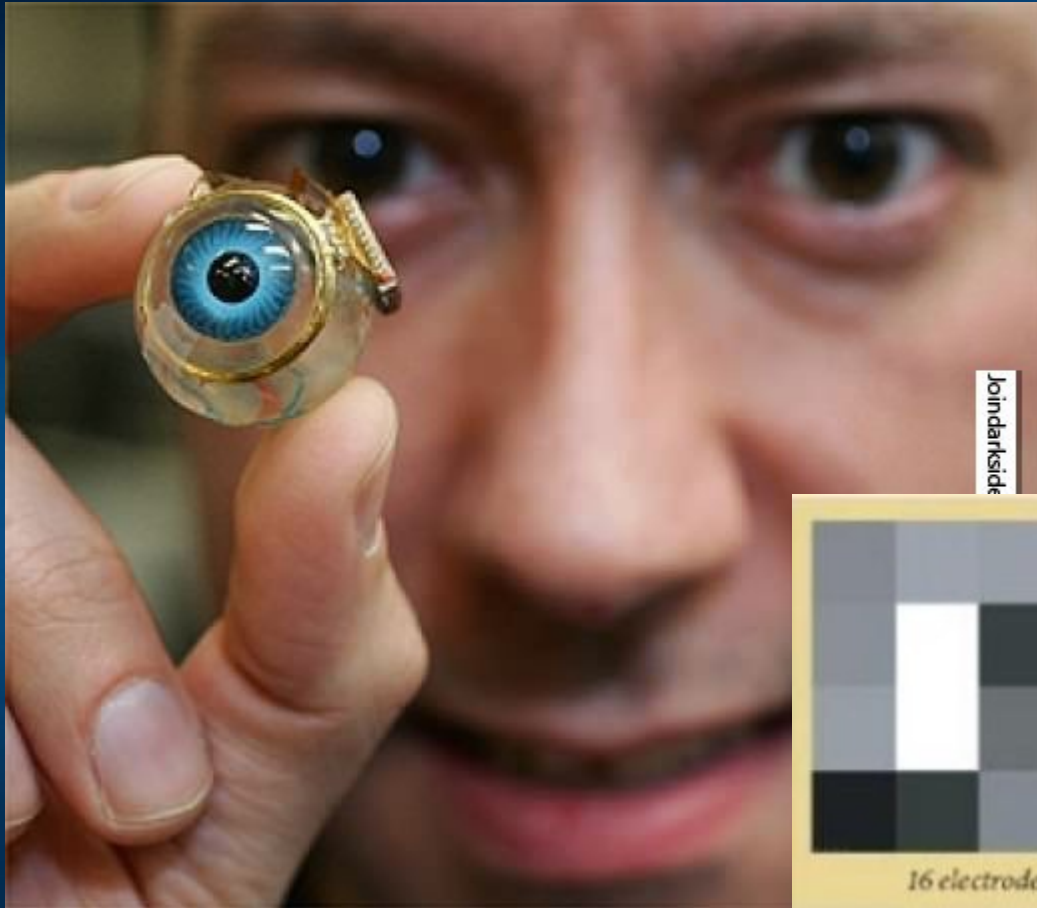


MEASURABLE GAINS

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

[See the Case Studies](#)

Sztuczne oczy ...



Sztuczne oczy są na razie bardzo niedoskonałe, ale to się zmieni ...
Zobaczmy bakterie w UV, przyda się dobry zoom.

Widzenie

Co możemy dodatkowo zobaczyć? Podczerwień i nadfiolet. Ale nie rentgena.

<http://cyborgproject.com>

<https://www.cyborgarts.com>

Nanocząsteczki w oku!

IDEA

VISUALIZATION

The sound of colors

In his talk at TEDGlobal 2012, colorblind artist Neil Harbisson delighted the audience with his brightly colored outfit, his quirky personality, and his eyeborg — a device implanted in Harbisson's head that lets him hear a rainbow of color. Instead of seeing a world in grayscale, he can listen to the audible frequencies transmitted by the colors in faces, paintings, even the weather. Step inside the mind of Neil's symphony of color.

IN COLLABORATION WITH

TED

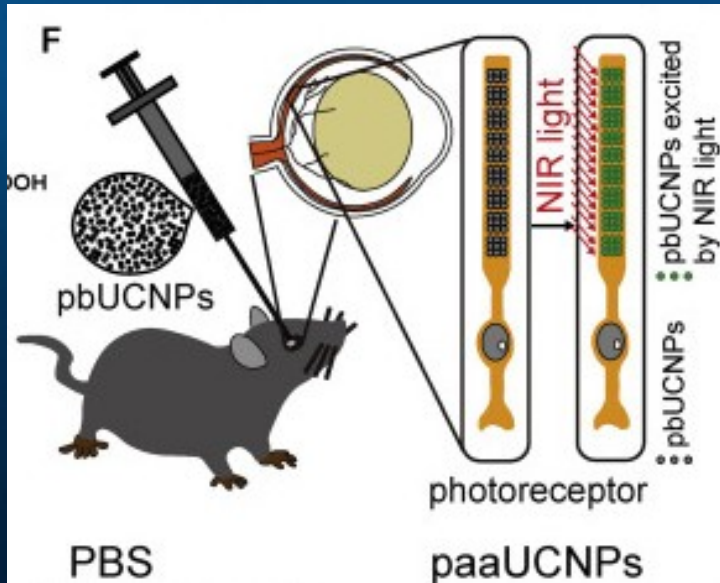
Visualization by Cristine Kist and Ricardo Davino of Superinteressante magazine

See more talks at: TED.com

THE EYEBORG

Understand how the device implanted in Neil's head transforms color into sound.

- 1 A sensor detects the frequency of the color in front of Harbisson and transmits it through a chip installed on the back of his head.
- 2 The chip converts the colors into sound waves. Each color corresponds to a musical note.
- 3 These sound waves travel through the skull using bone conduction and arrive at Harbisson's auditory system.



Bdyhax

Bodyhacking, czyli wszelkie rodzaje modyfikacji i rozwoju człowieka.

Protezy, cyborgizacja, wzmacniacze kognitywnych zdolności, biometryczne trackery i wszczepione biochipy.

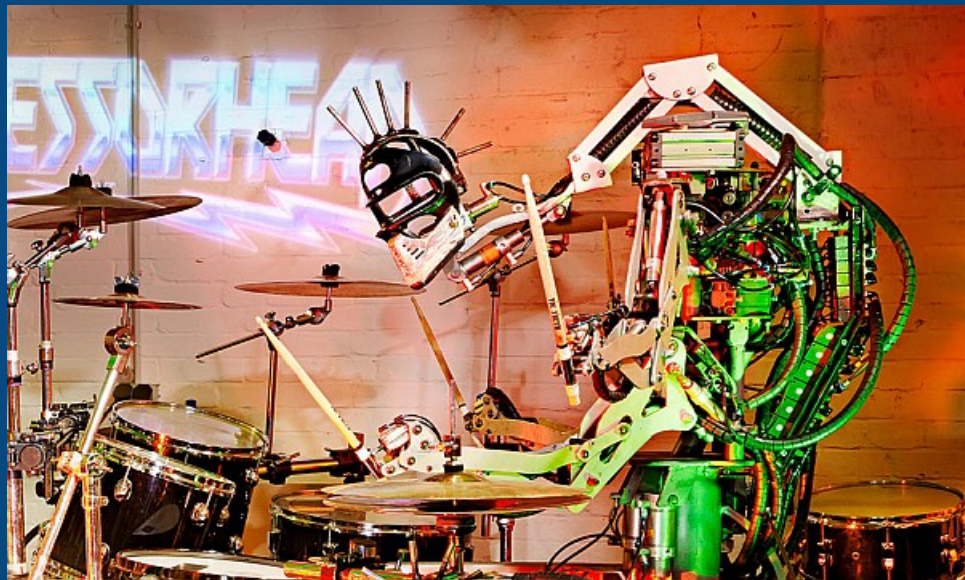
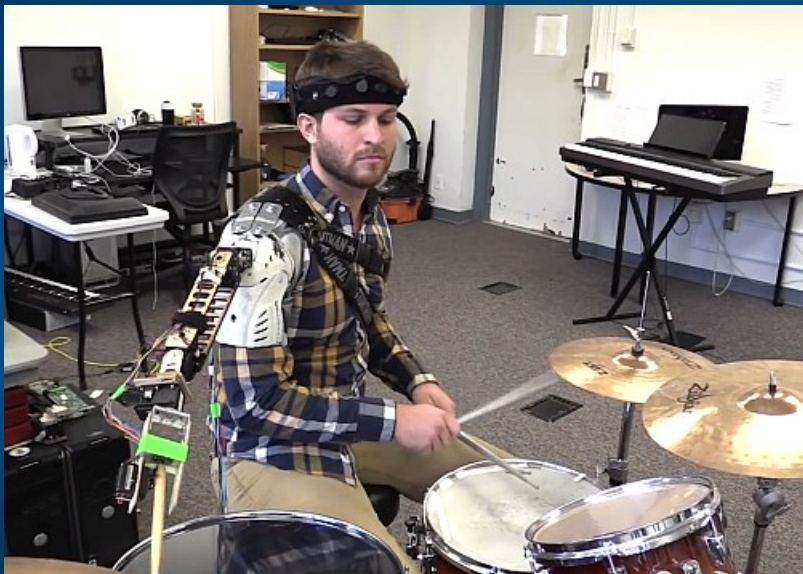
Ostatnia konferencja była w lutym 2019 w Austin, Tx.

Praktyczny transhumanizm. Do 2025 roku rynek ma mieć wartość 2.3 mld \$.



Co tu zrobić z dodatkową ręką?

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



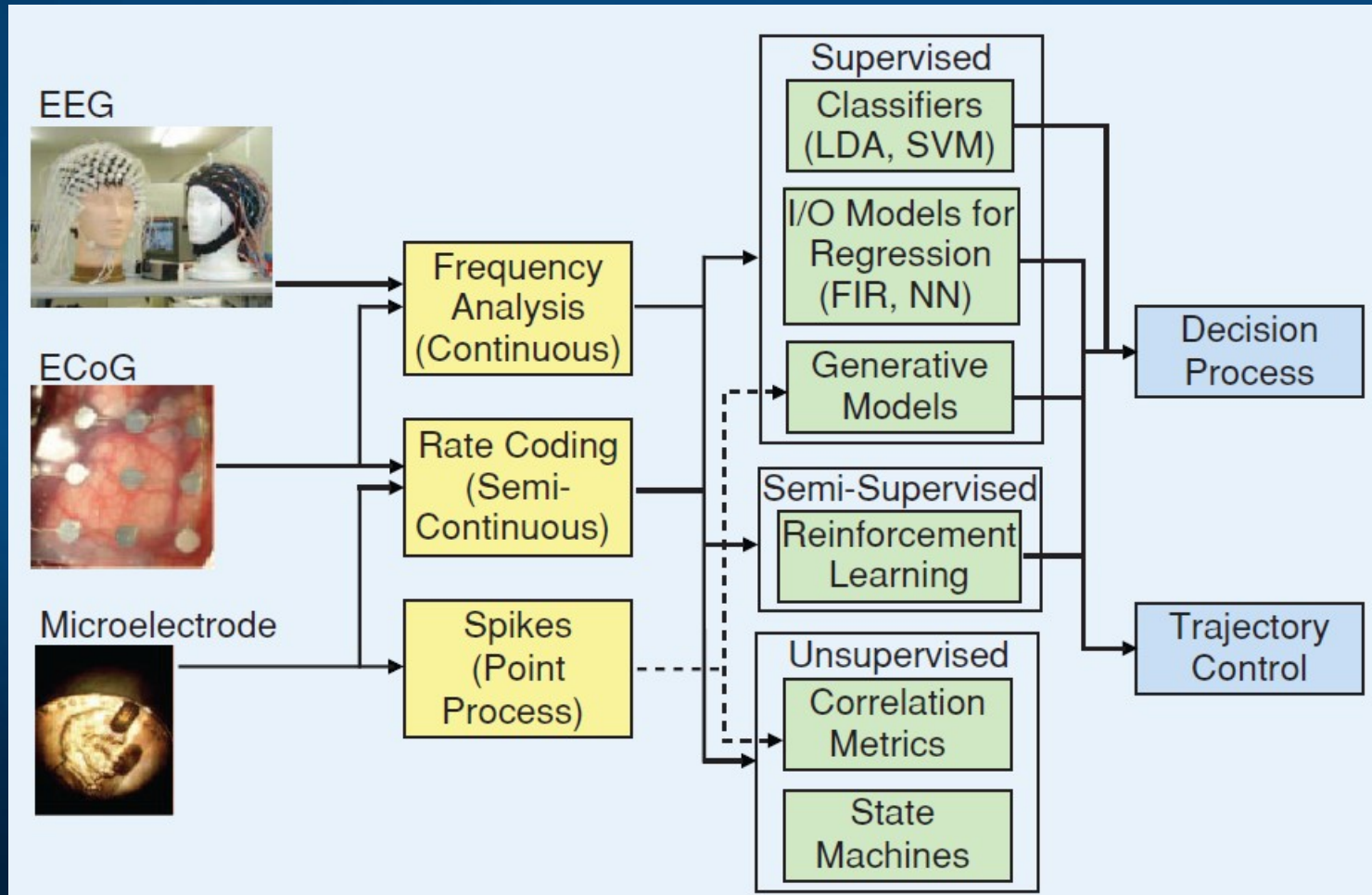
A gdybym był robotem to bym dopiero zagrał ...

Grupa robotów Compressorhead jeździ na tourne po świecie.

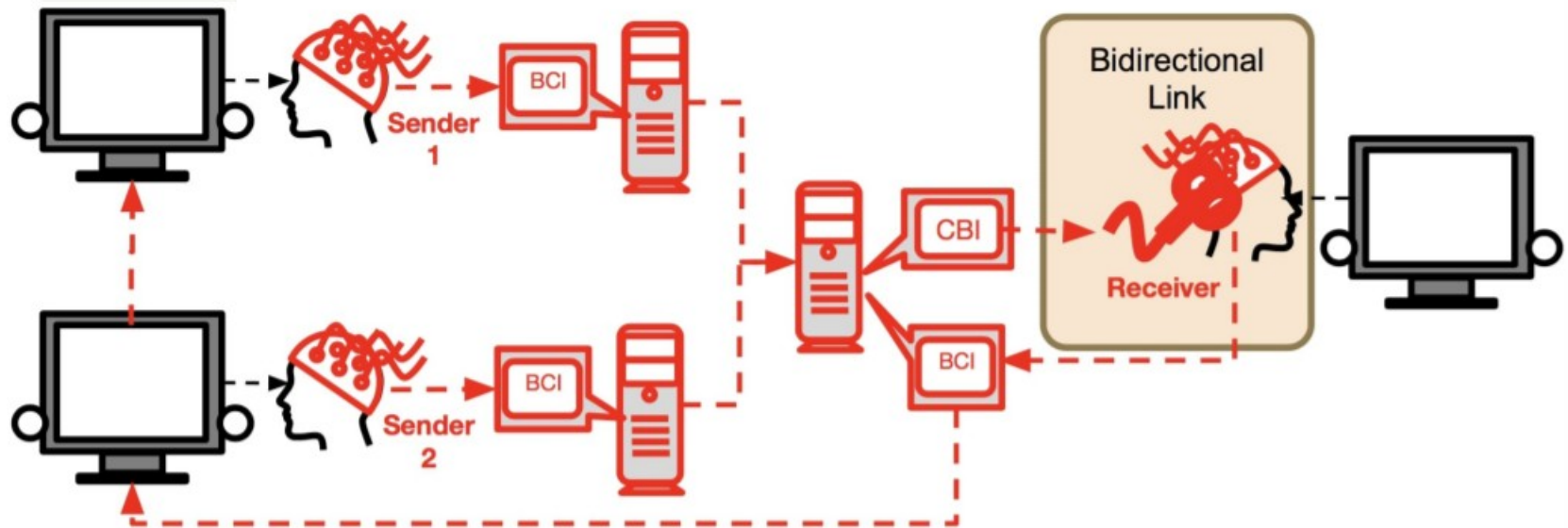
Odczytywanie stanów mózgu

BCI – Interfejsy Mózg-Komputer

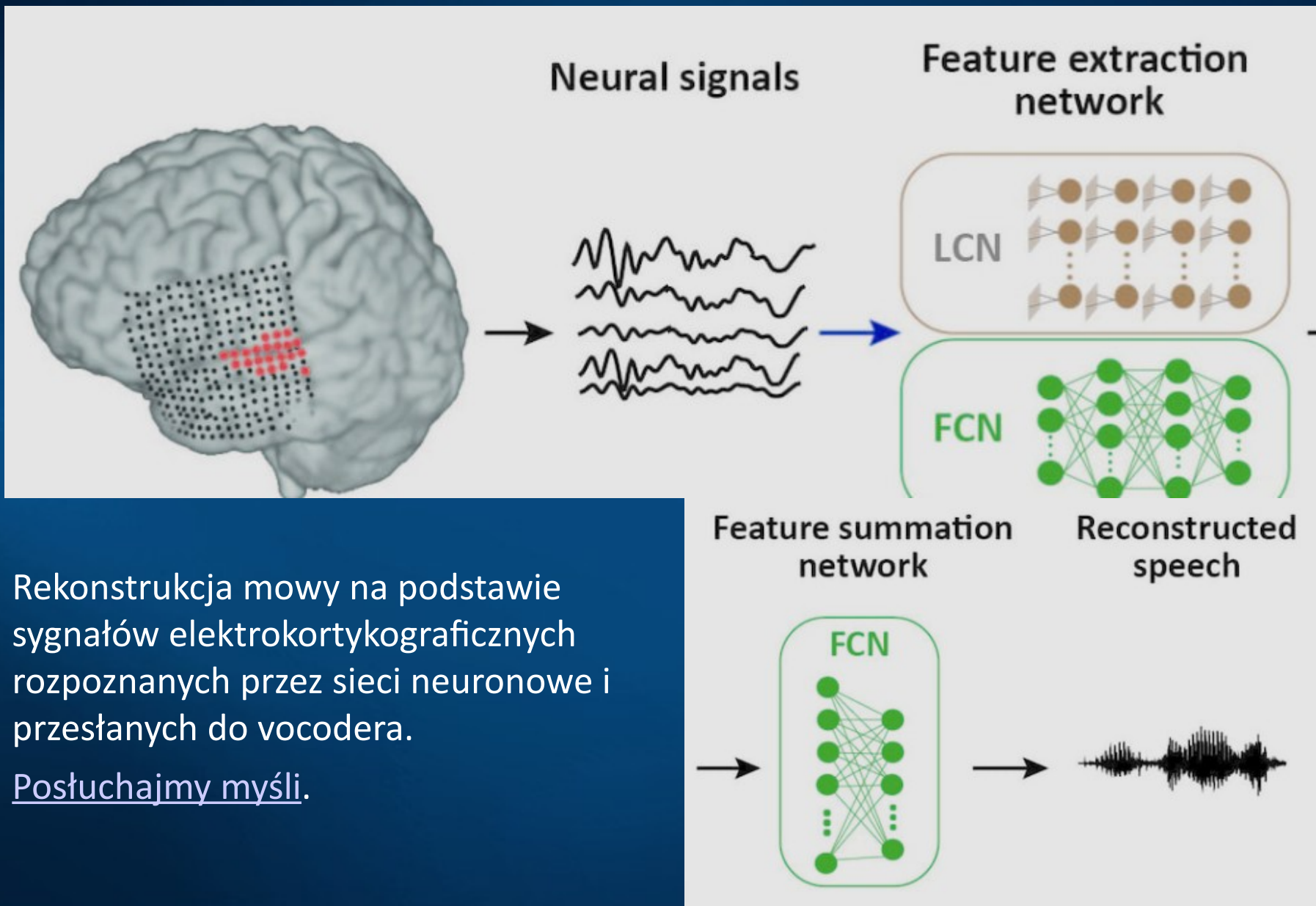
Mózg przygotowuje się do działania, a „ja” czeka na sygnał by sobie przypisać intencję. Możemy plany działania mózgu zobaczyć badając aktywność kory.



Przekazywanie myśli?



To mówi Twój mózg ...



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

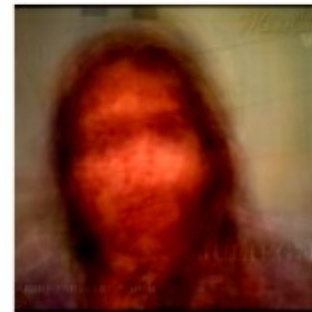
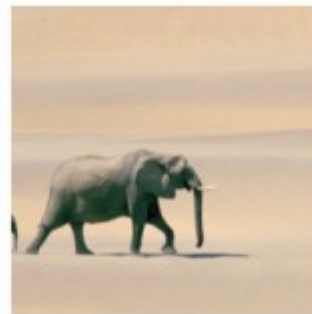
Posłuchajmy myśli.

Widziane w mózgu

Skaner fMRI umożliwia rekonstrukcję widzianych obrazów.

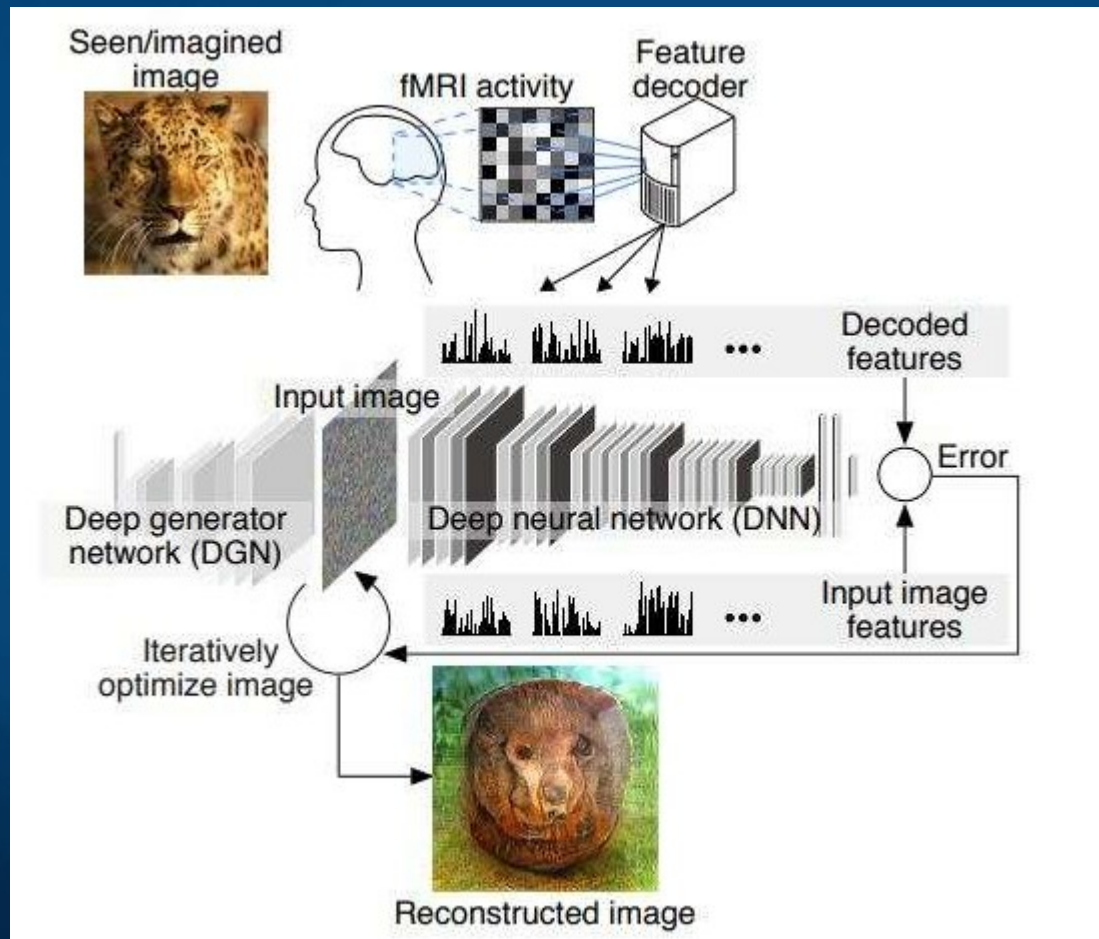
S. Nishimoto et al. 2011

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



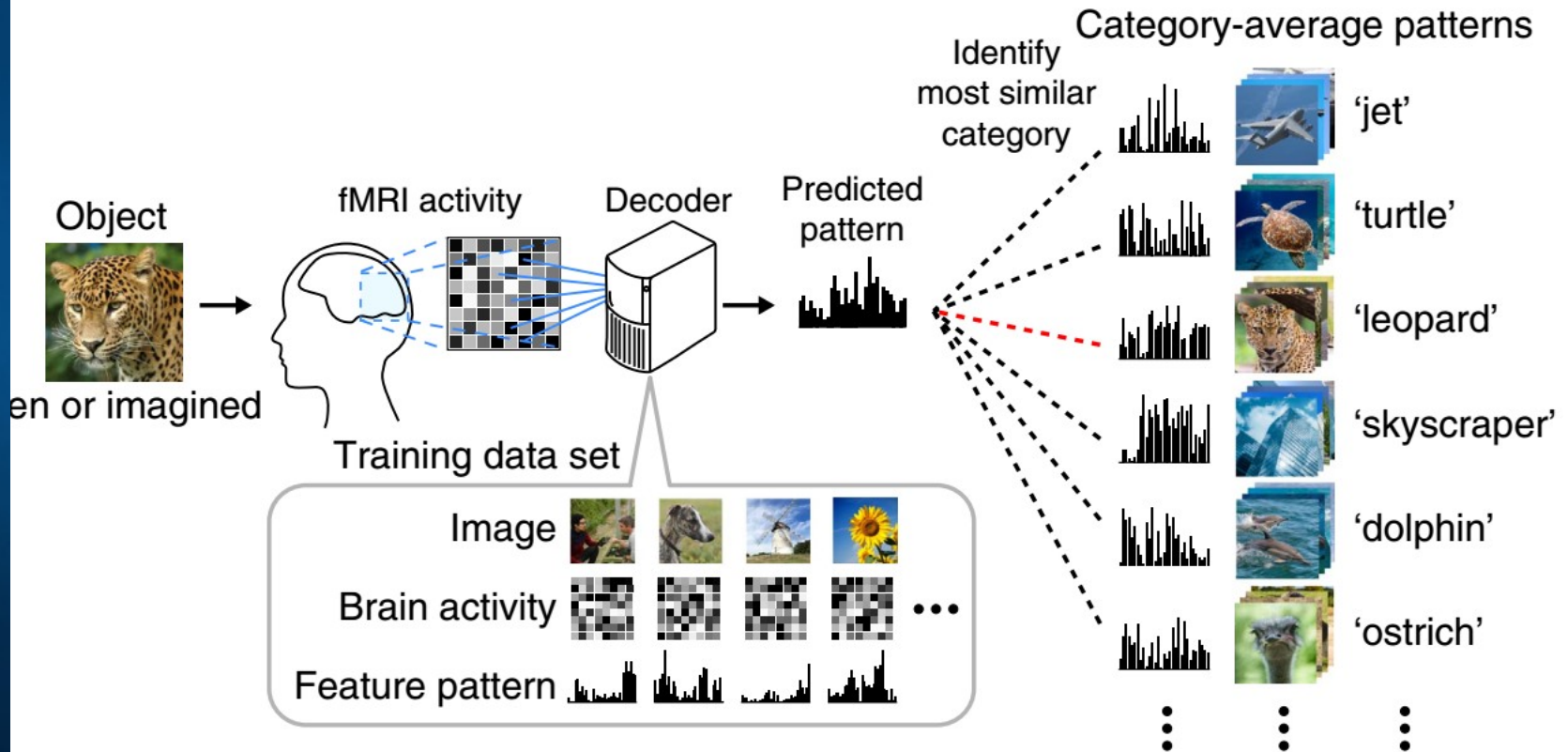
fMRI \leftrightarrow CNN

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?

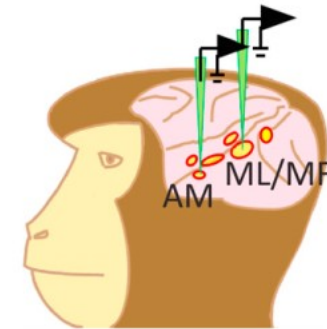
Neuronalne obrazy

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

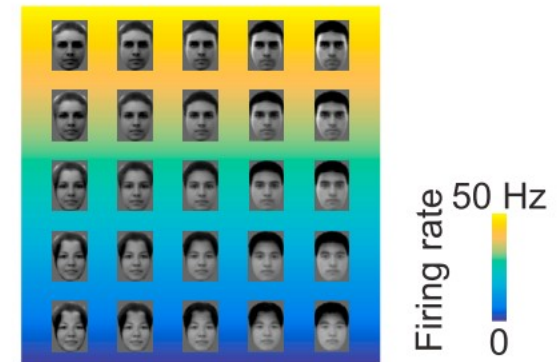
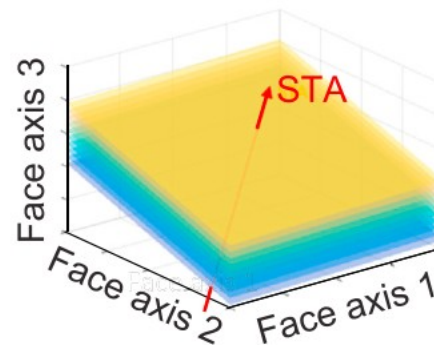
L. Chang and D.Y. Tsao, "The code for facial identity in the primate brain," *Cell*, doi:10.1016/j.cell.2017.05.011, 2017

Wkrótce na ludziach?

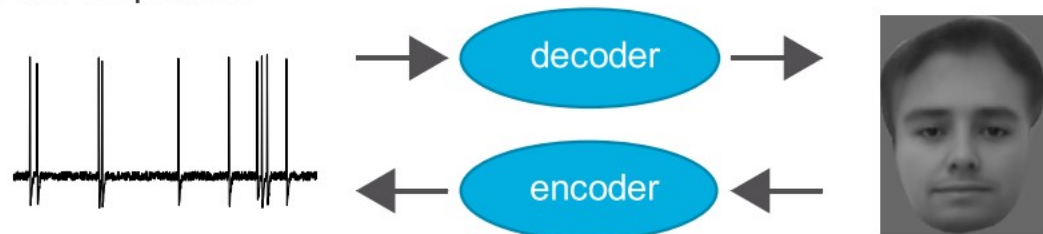
1. We recorded responses to parameterized faces from macaque face patches



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

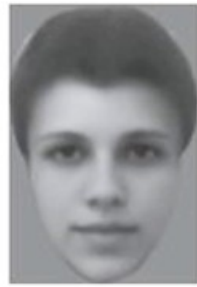


3. We found that an axis model allows precise encoding and decoding of neural responses



Co mała zakodowała?

205 neuronów wystarczy by odtworzyć widziane twarze z taką dokładnością.



Actual
face

Predicted
face

Actual
face

Predicted
face

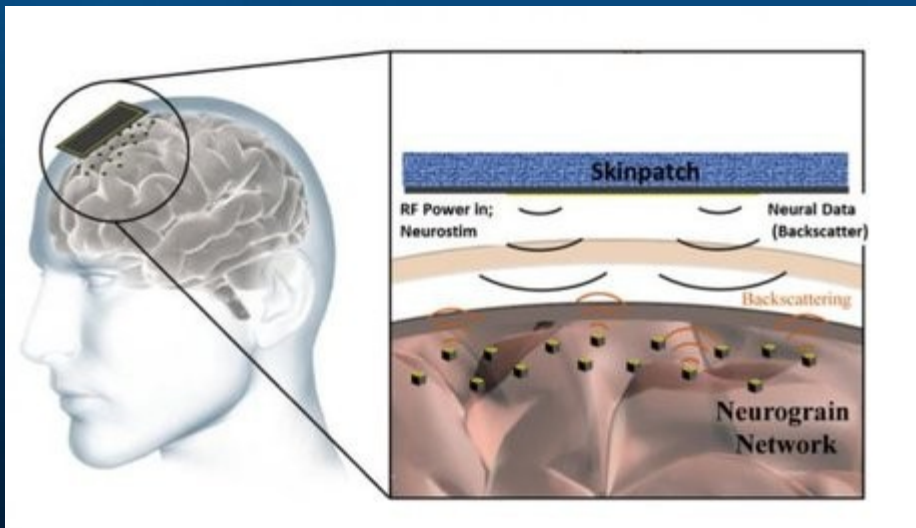
Milion elektrod w mózgu?

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 -

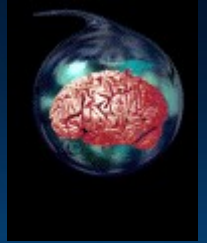


neural
lace
*ultra-thin
mesh*



Naprawianie mózgu

Inżynieria mózgu?



Dobry Bóg już zrobił co mógł, teraz trzeba zawołać fachowca ...

Doskonalenie mózgów to wielkie wyzwanie
dla nauki i techniki!

Wyzwanie: zapobieganie zaburzeniom,
optymalizacja normalnego rozwoju.

Ogólna zasada: dorastanie to specjalizacja
= zmniejszają się możliwości, zmniejsza się neuroplastyczność.

Design yourself - zaprojektuj siebie!

<http://www.cyborgfoundation.com/>

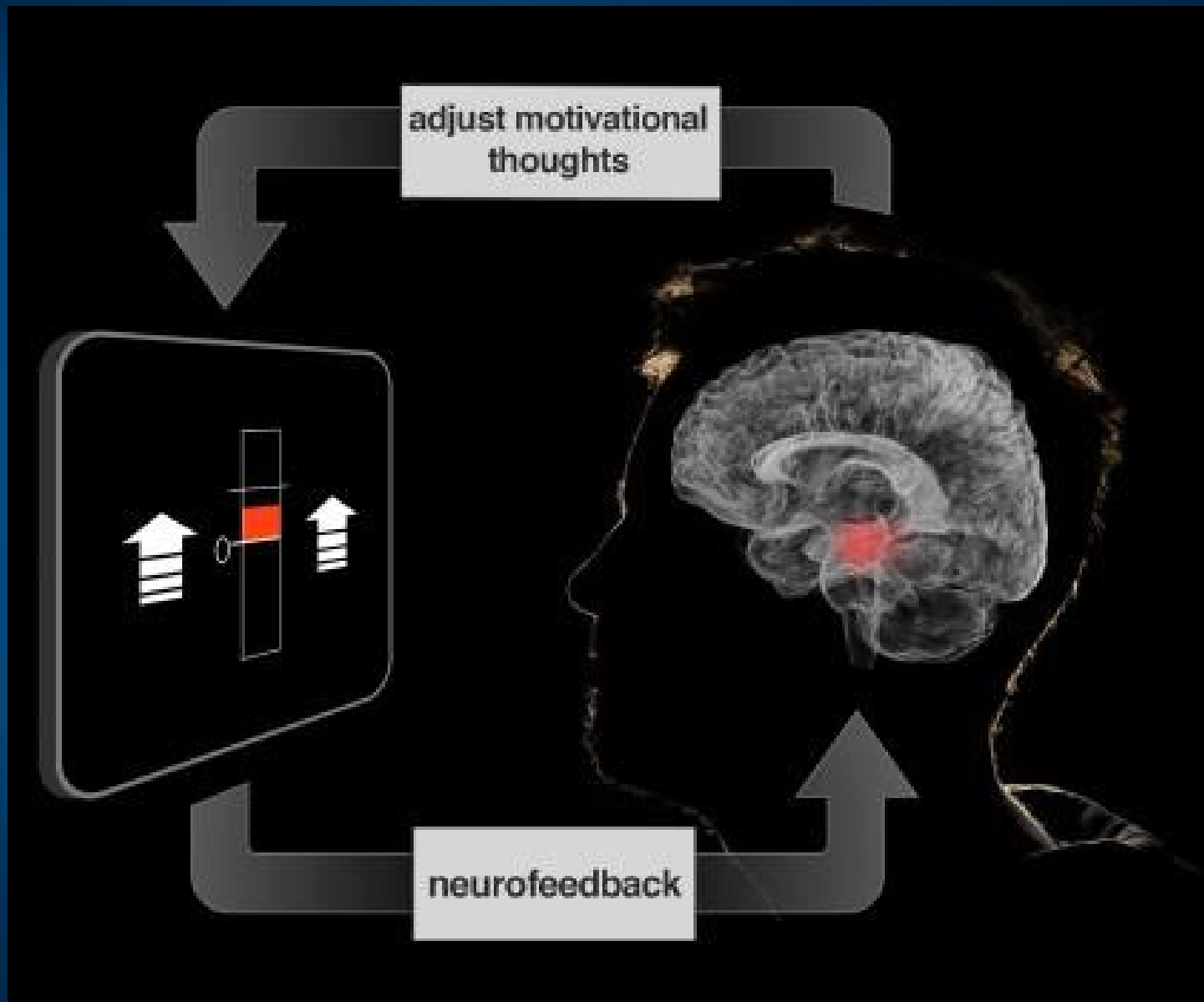
Neurofeedback: pierwsze BCI

Początkowo
głównie do
relaksu,
wzmacniając
oscylacje α/θ .

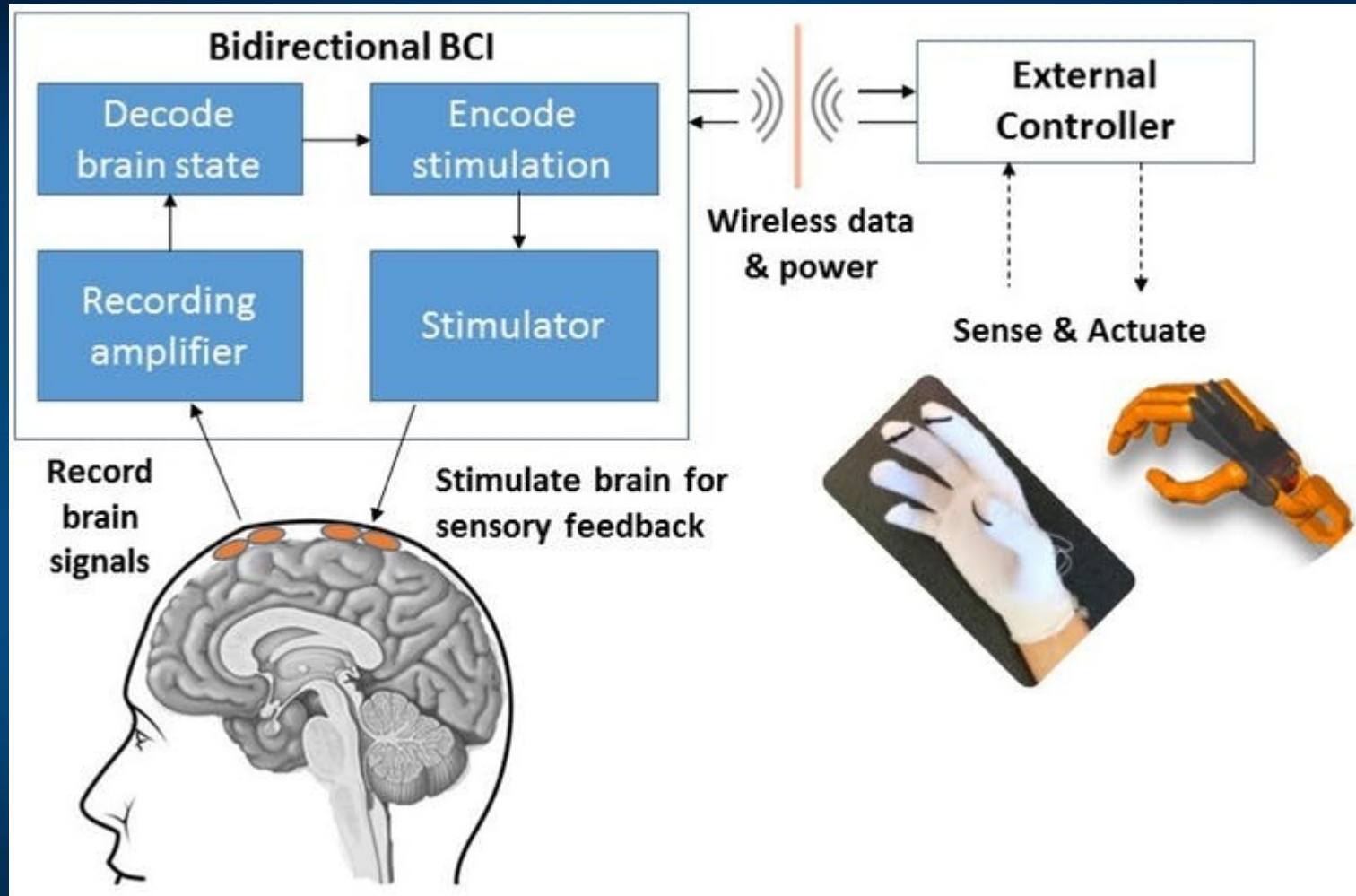
Duch, Elektronika
i stresy, 1978!

Nie zawsze
efektywne.

Nowe formy
neurofeedback
nadchodzą.

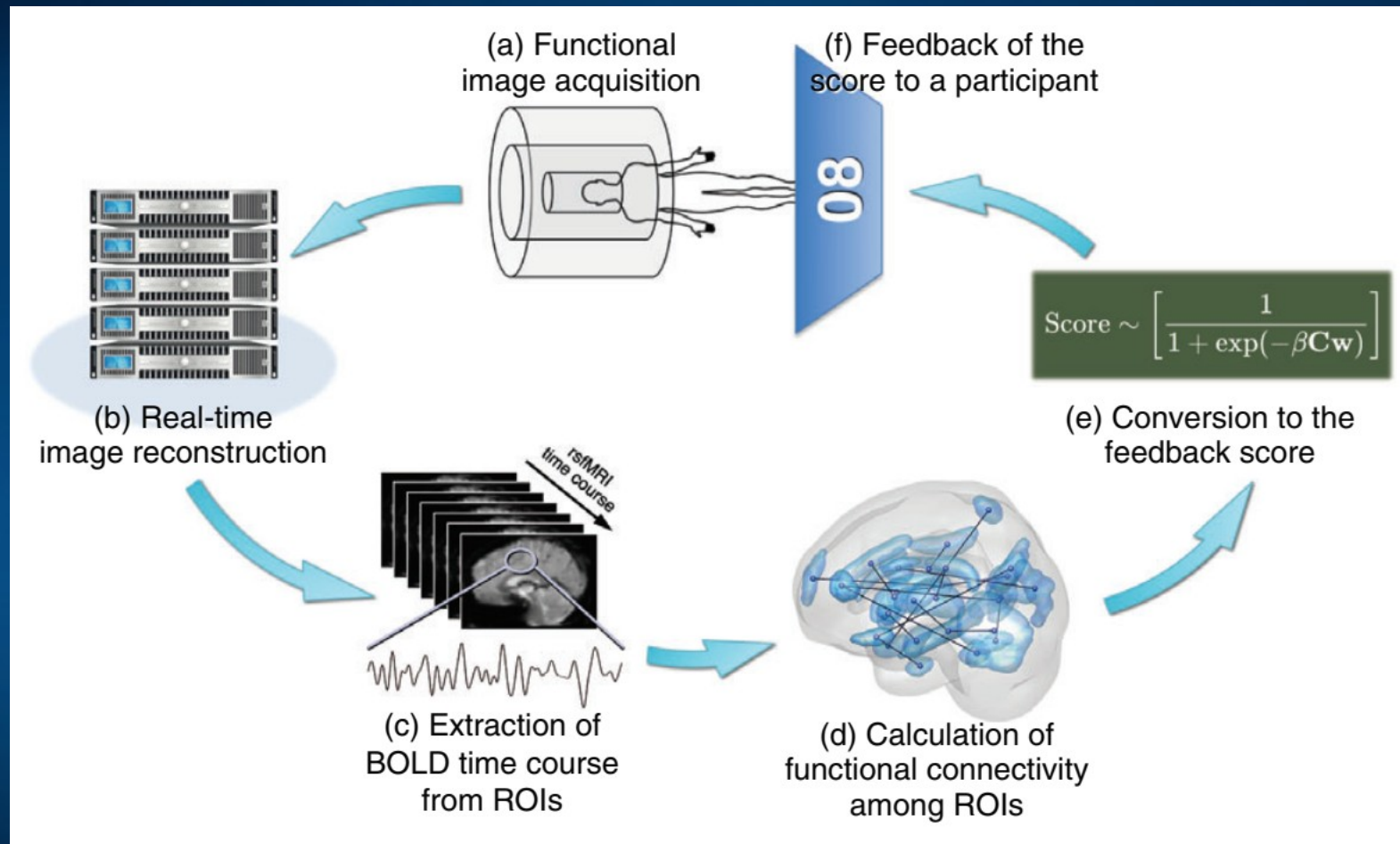


BCBI: Mózg-Komputer-Mózg



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

Neurofeedback naprawi?



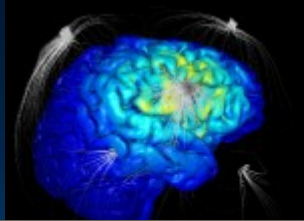
Megumi F, Yamashita A, Kawato M, Imamizu H. Functional MRI neurofeedback training on connectivity between two regions induces long-lasting changes in intrinsic functional network. *Front. Hum. Neurosci.* 2015; **9**: 160.

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!



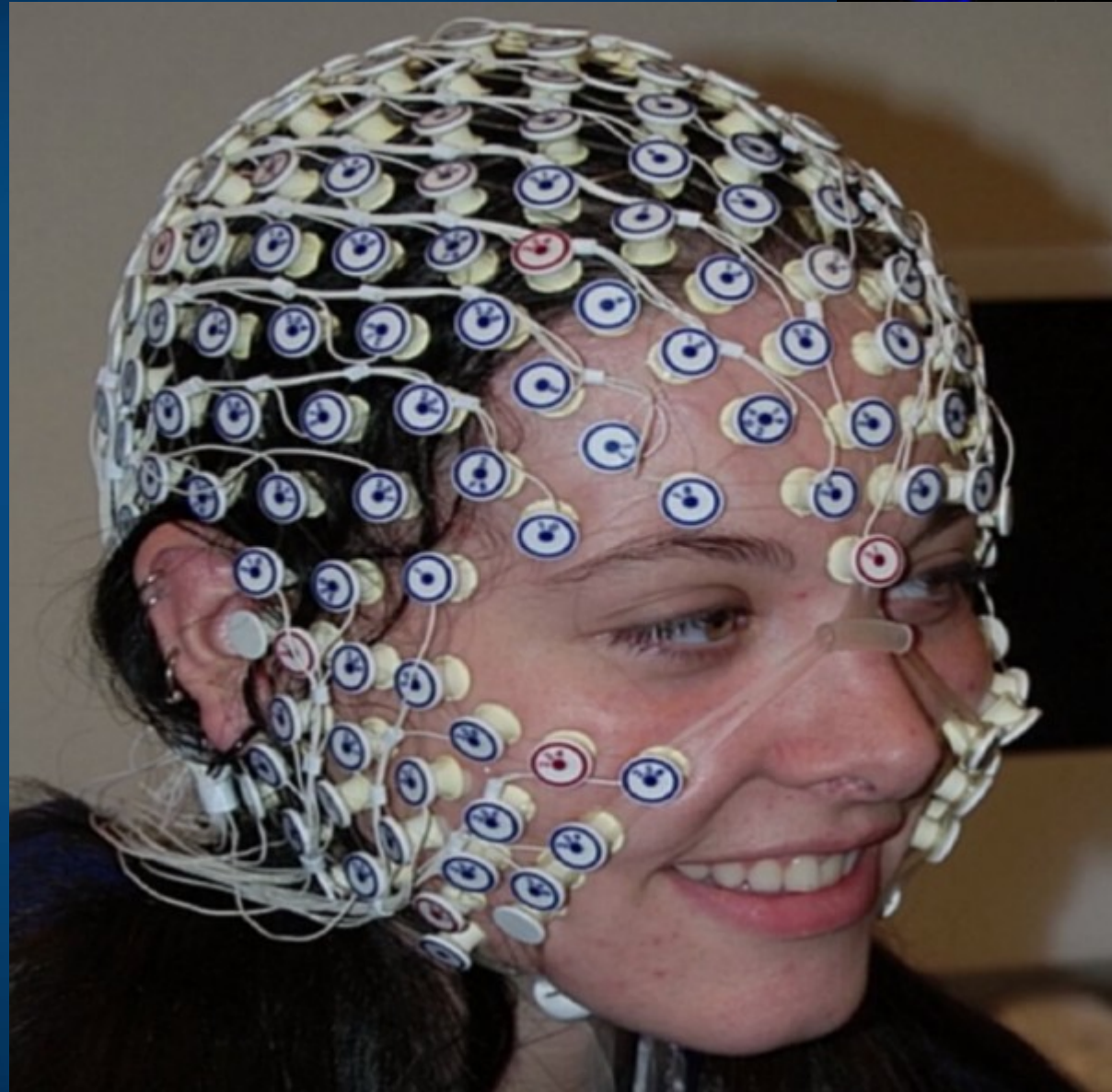
HD EEG/DCS?



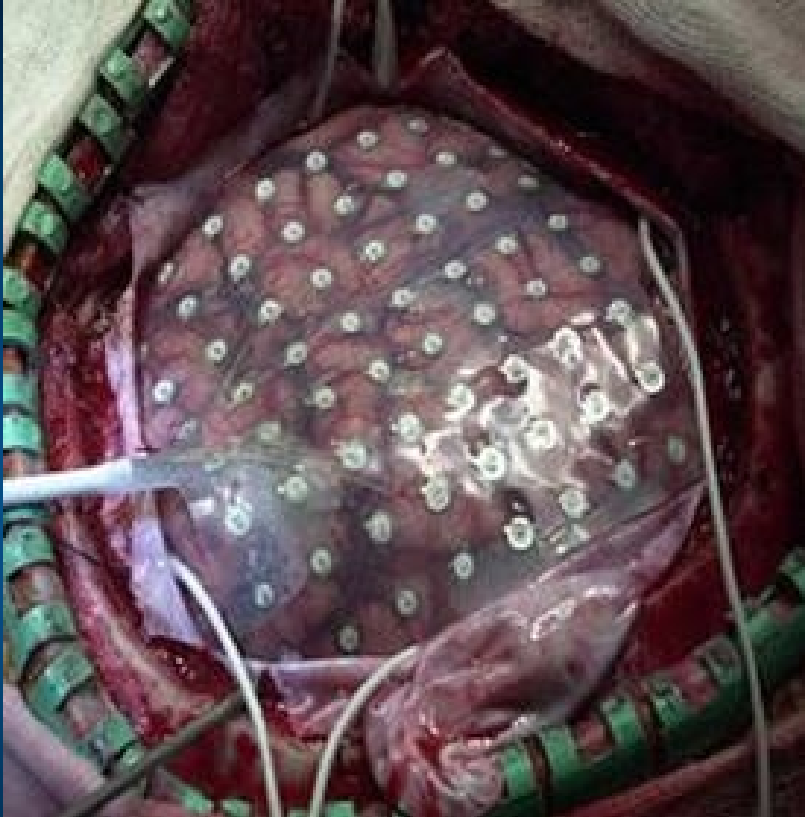
EEG + DCS
wielokanałowe.

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.



Interfejsy mózg-komputer

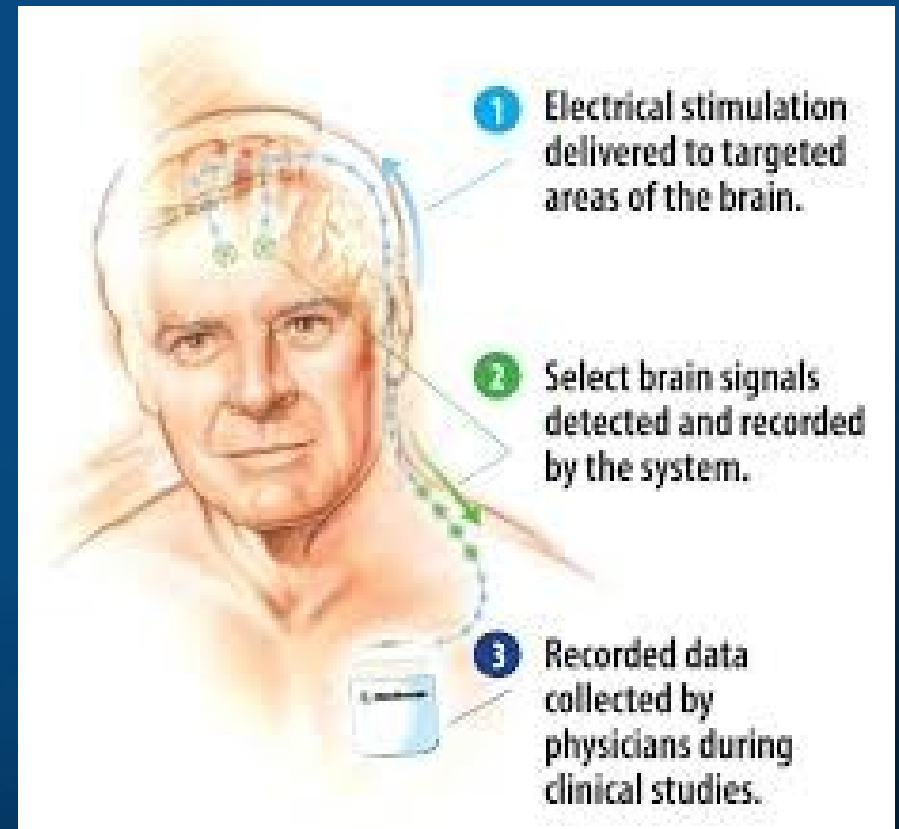


Osoby cierpiące na chorobę Parkinsona lub zaburzenia kompulsywno-obsesyjne, które mają wszczepione stymulatory w mózgu, mogą regulować swoje zachowanie za pomocą zewnętrznego kontrolera.

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.

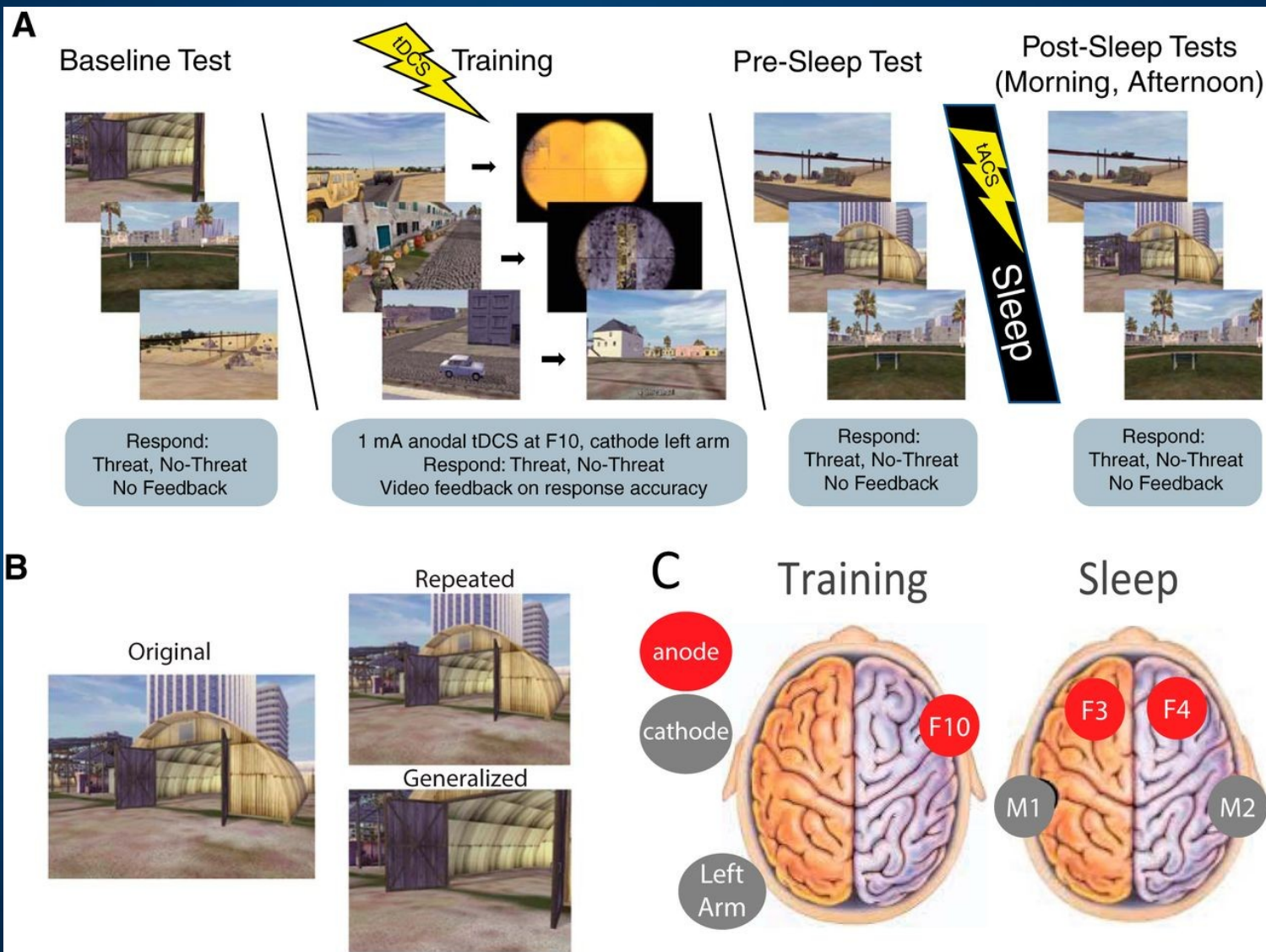
Podkręćmy sobie mózg ... czy będzie można siebie zaprogramować?



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
wyuczone
informacje.



Implanty pamięci

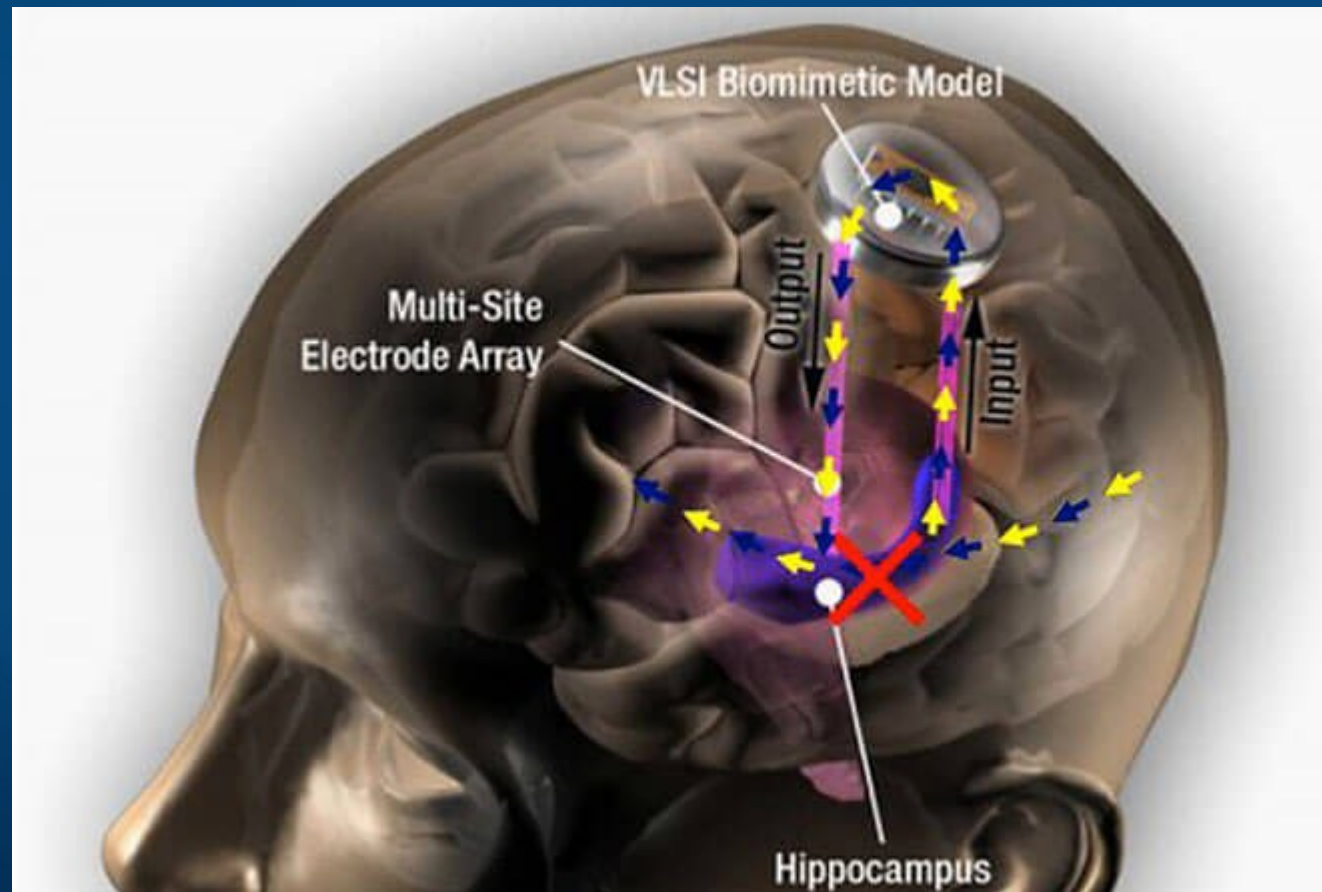
Obszary mózgu odpowiedzialne za pamięć mogą zostać zastąpione przez elektronikę. Ted Berger, Center for Neural Engineering, University of Southern California, założył firmę Kernel, która się tym zajmuje.



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 + neurostymulacja w zamkniętej pętli.



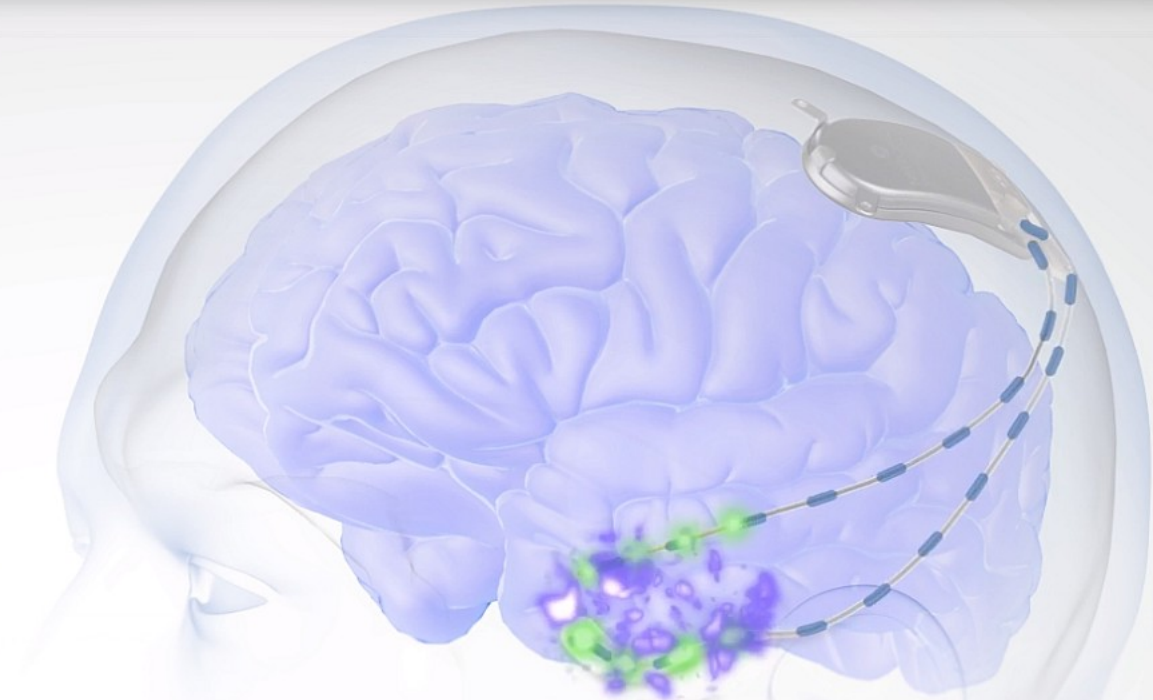
Padaczka

The RNS[®] System

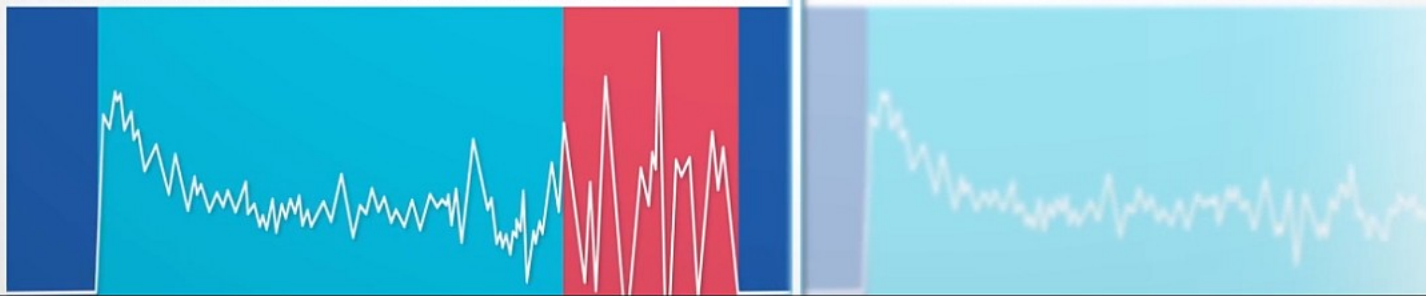
Monitors brainwaves

Detects unusual activity

Responds in real time



1 SEC 2 SEC 3 SEC 4 SEC 5 SEC 6 SEC



Neurostimulator i detektor powstrzymuje ataki padaczki lekoopornej zanim pojawią się skurcze. Około 1% ludzi na świecie ma padaczkę.

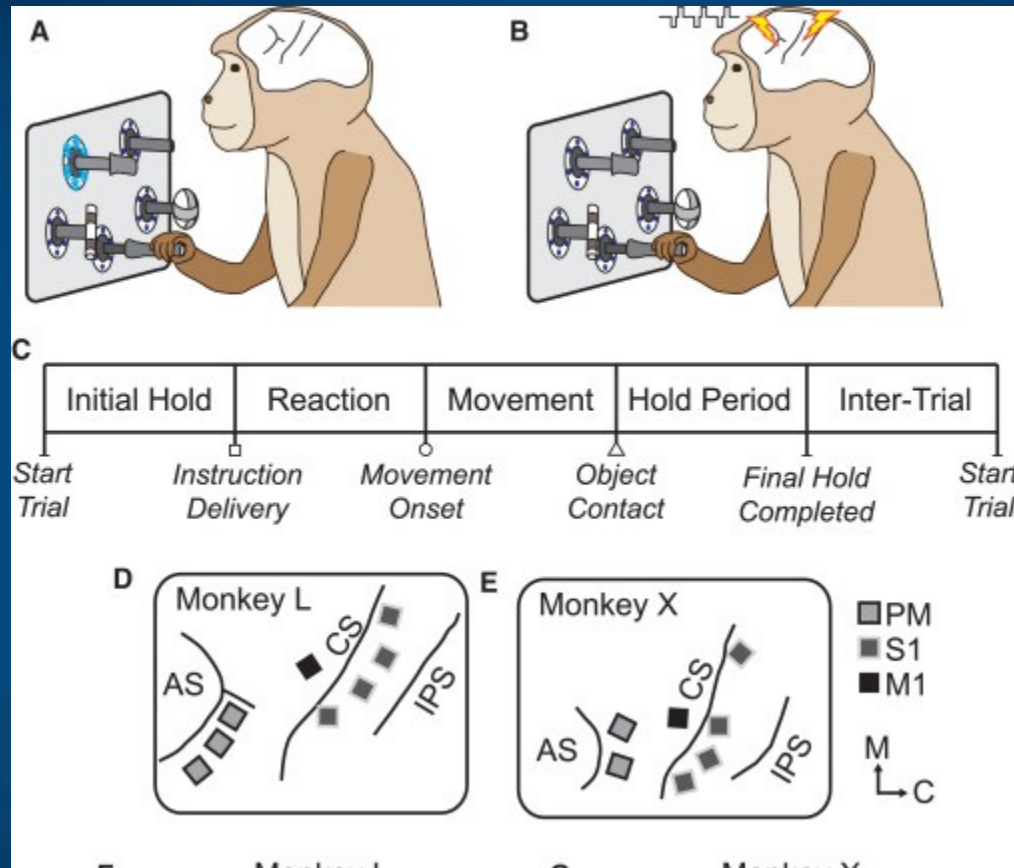
Trenowanie mózgu

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.

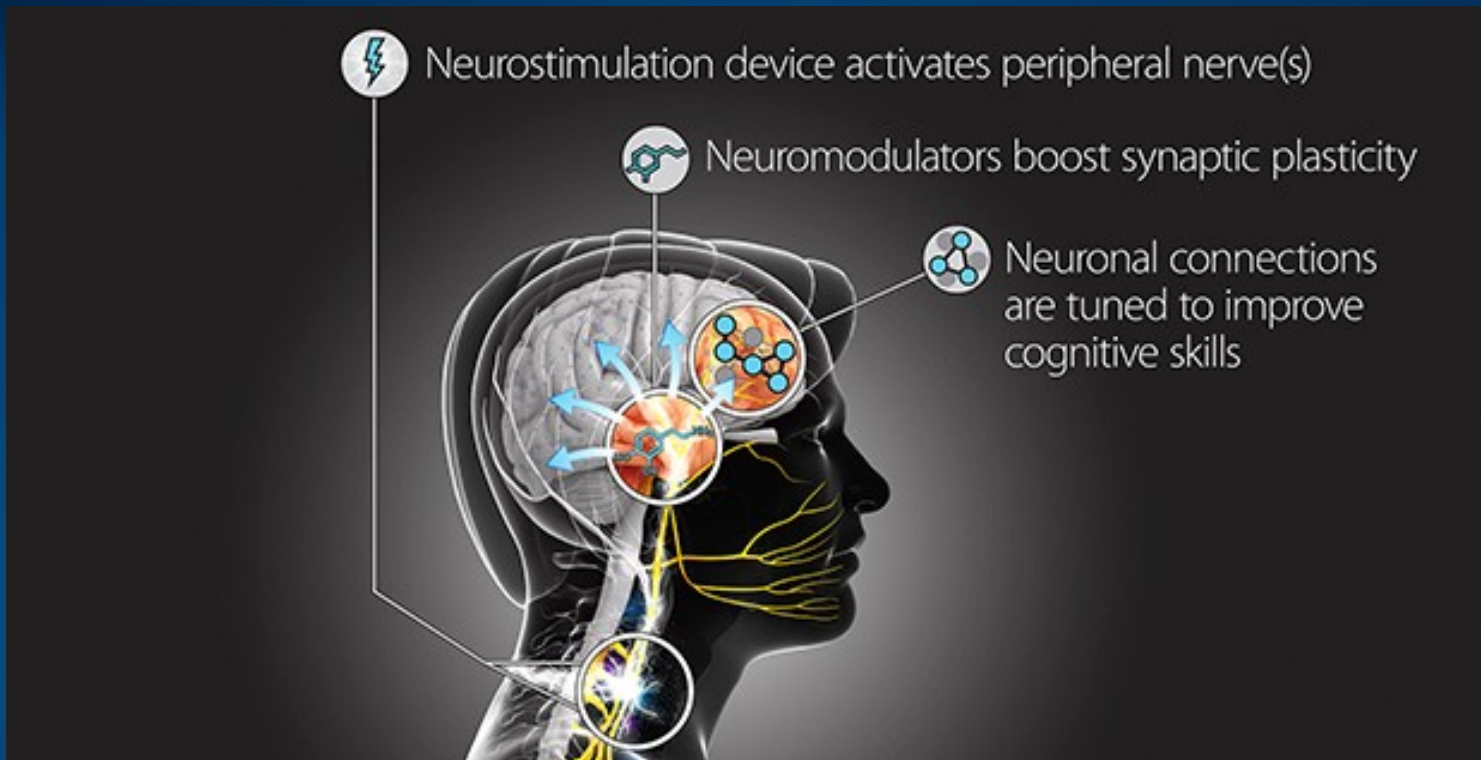


Mikrostymulacje



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

Targeted Neuroplasticity Training

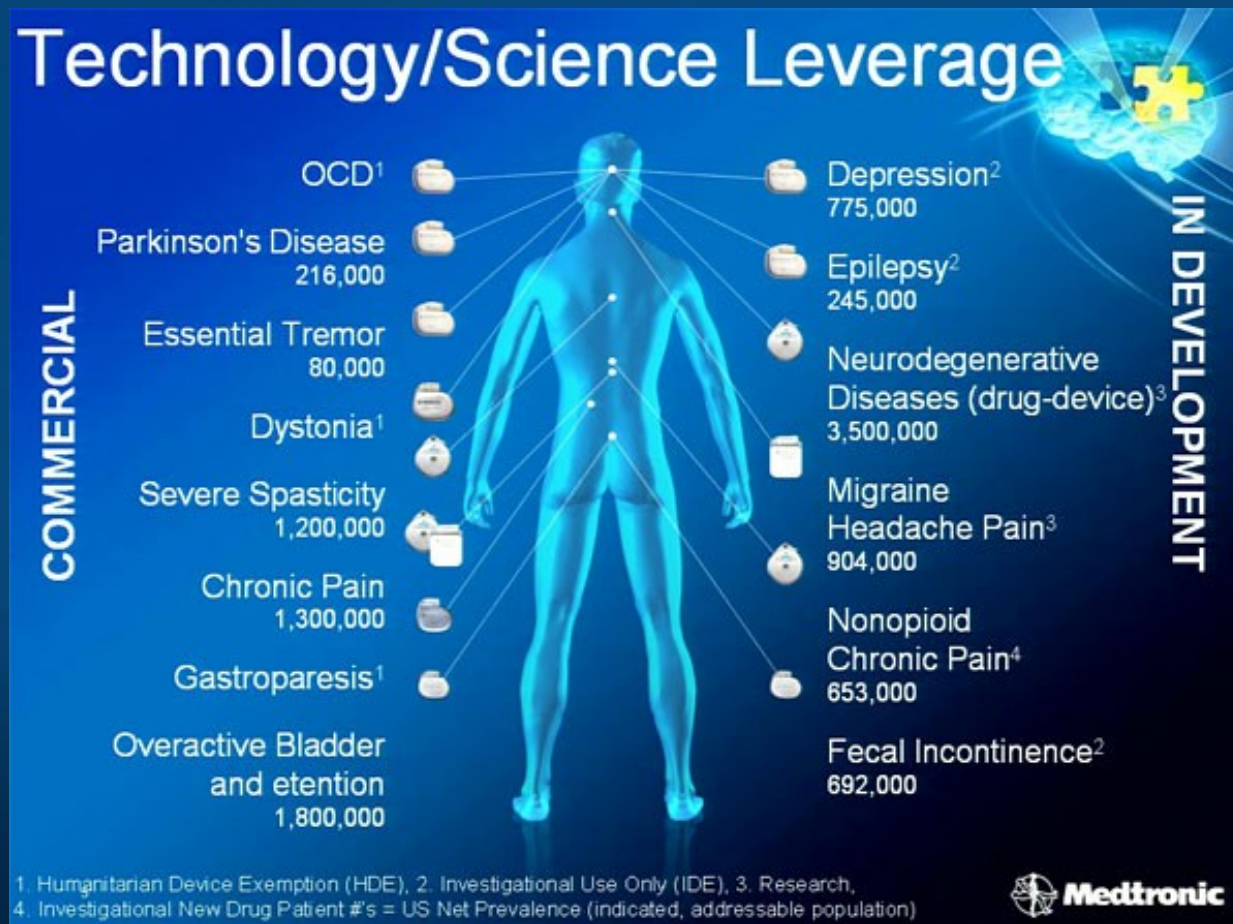


DARPA (2017): Projekt TNT powinien umożliwić naukę wielu kognitywnych umiejętności, zmniejszając koszty i czas trwania treningów prowadzonych przez Ministerstwo Obrony. Oprócz zachowań na polu walki projekt TNT powinien skrócić czas uczenia się obcych języków, przygotowania analityków wywiadu, kryptografów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

Kontrowersje

Cyborgizacja: nasza przyszłość

Stymulacja pomaga w przypadku wielu chorób ale powoli narządy zmysłów a nawet obszary mózgu odpowiedzialne za pamięć mogą zostać zastąpione przez elektronikę.




Bina48 i Projekt LifeNaut



Rekonstrukcja umysłu z informacji w mindfiles, tworzenie mindclones: samoświadomych istot cyfrowych, pamiętających, myślących, czujących.

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.

Homo Sapiens Digital – transhuman?

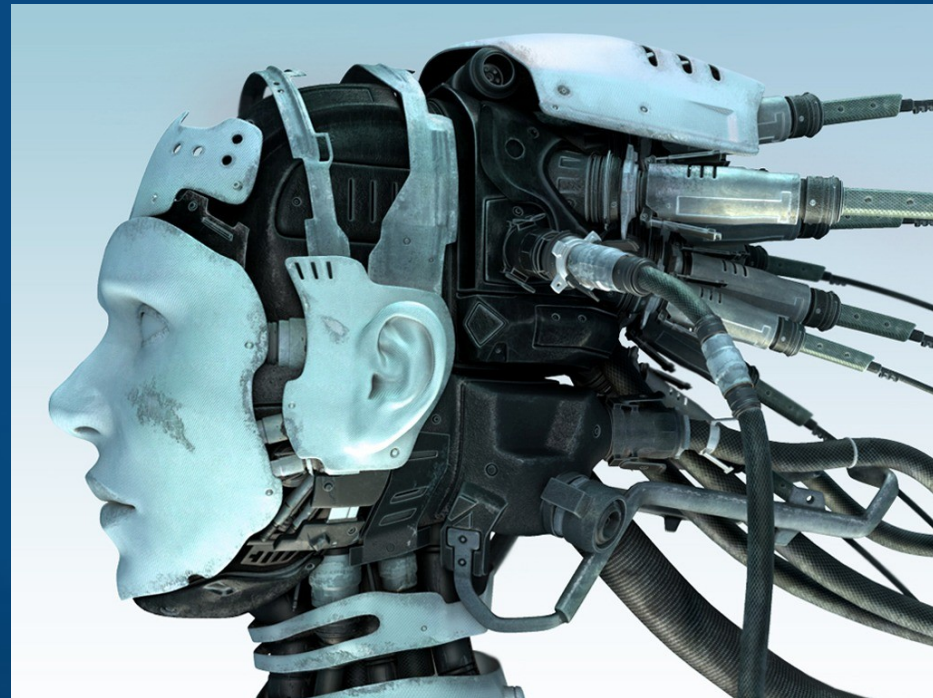
Czy powstanie nowy gatunek **Homo Sapiens Digital** (HSD), cyfrowy transhuman? Dla HSD cyfrowe wzmocnienie zmysłów i funkcji mózgu stanie się częścią naturalnego środowiska.

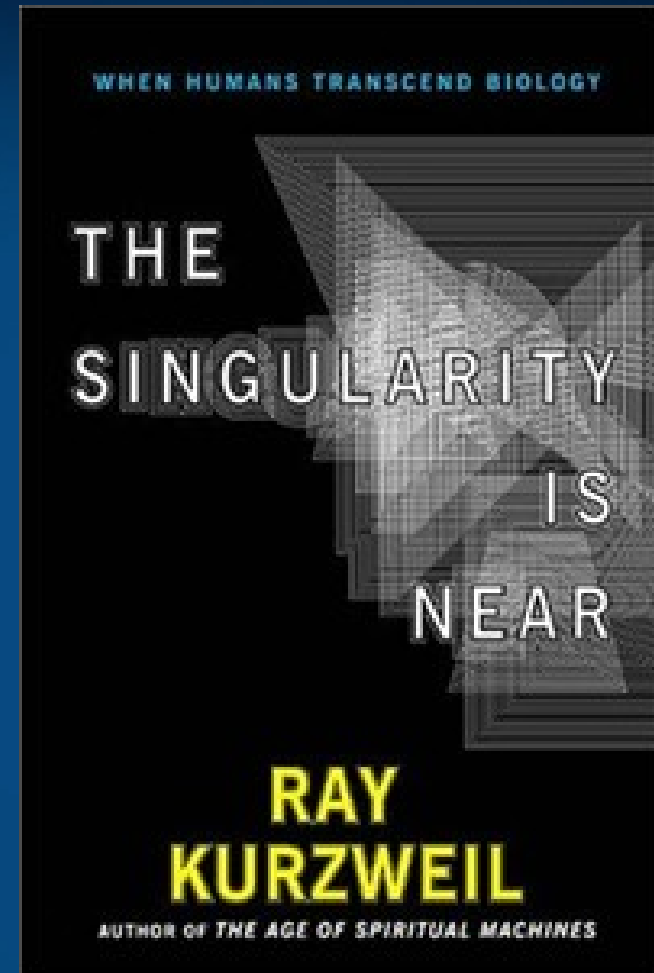
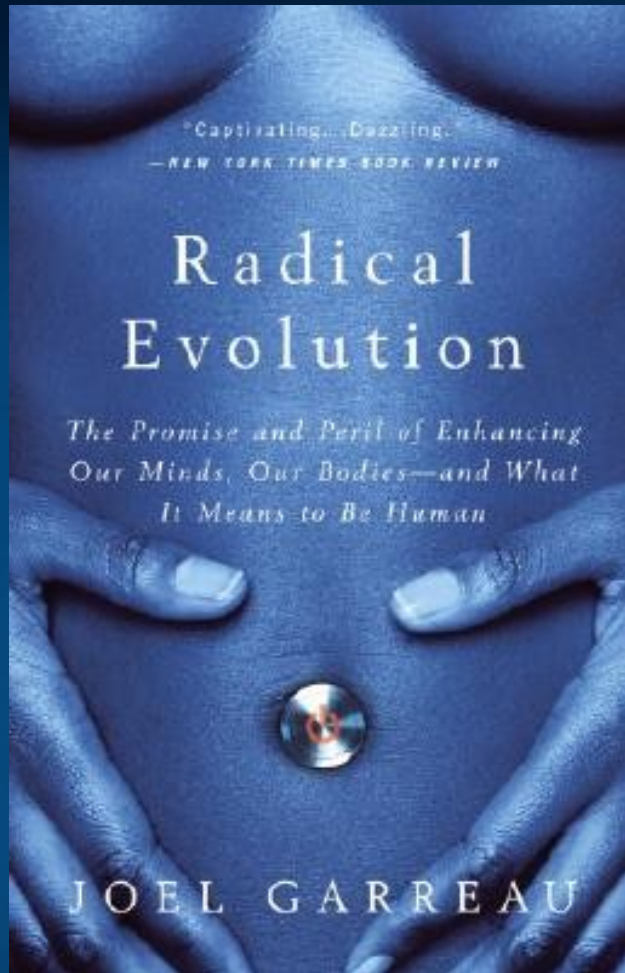
W dalszej przyszłości pełne sprzężenie z robotami-surogatkami ludzi?

Mądrość to nie spryt, cyfrowe wzmocnienie powinno dopełniać wrodzone zdolności i pomagać w mądrym podejmowaniu decyzji korzystnych dla człowieka w dłuższym okresie czasu, pomimo braku natychmiastowej gratyfikacji.

Ale czy to się uda?

We want the world and we want it
Now! (The Doors, 1967)





Singularitarianizm: Nadchodzi Osobliwość.

Technologiczny twór o inteligencji przekraczającej ludzką spowoduje zmiany tak szybkie, że powstaną nieskończone nowe możliwości.



Cele transhumanizmu

Wbry Bóg już zrobił co mógł,
teraz trzeba zawołać fachowca ...

Czas wstać z kolan i wziąć sprawy w swoje ręce.

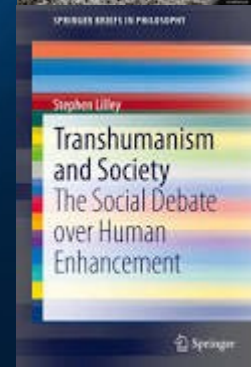
- Zwiększyć długość i jakość życia.
- Zwiększyć możliwości intelektualne i fizyczne człowieka.
- Kontrolować swoje stany mentalne i afektywne.

Czy rozumiemy co robimy? Jest się czego bać?

Ostrożnie!

Wyzwania: zapobieganie zaburzeniom rozwojowym,
osiągnięcie optymalnego poziomu rozwoju.

Humanity+, Inc, do 2008 World Transhumanist Association

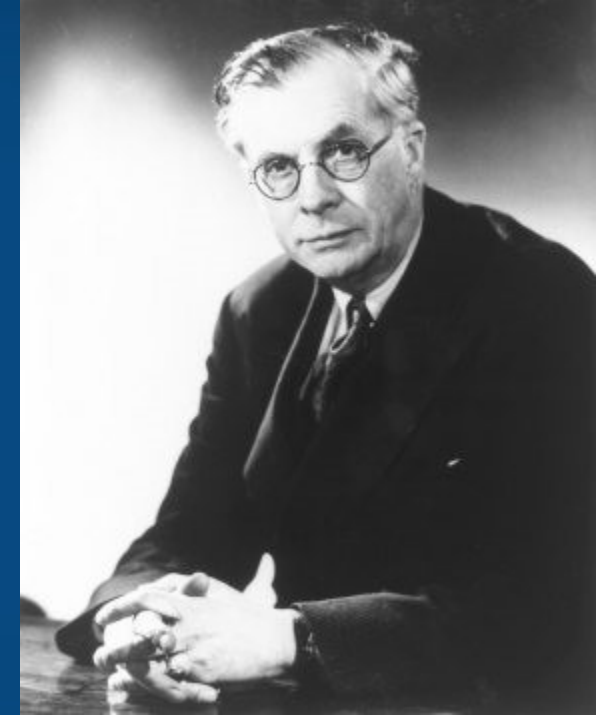


Prekursorzy transhumanizmu

Sir Julian Huxley, biolog, pierwszy dyrektor UNESCO, założyciel WWF, napisał w 1957 r:

„Wierzę w transhumanizm: ... Kiedy będzie dostatecznie wielu ludzi podobnie myślących, ludzkość znajdzie się na progu nowej formy egzystencji, tak różnej od obecnej jak różni się nasza od praczłowieka.

W końcu w świadomy sposób wypełnimy nasze prawdziwe przeznaczenie“.



Kończy się era zwierzęcego rozwoju.
Zaczyna świadomego projektowania ...

Czy powstanie nowy gatunek **Homo Sapiens Digital (HSD)**?

Obrońcy ludzkiej natury

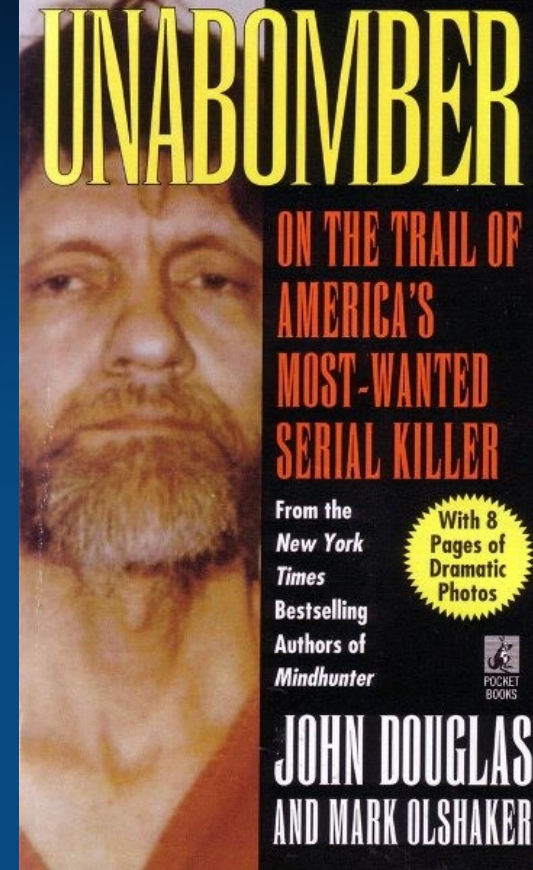
USA, Unabomber, 1978-1995.

Trzeba zniszczyć społeczeństwo przemysłowe!

“**Human nature** has in the past put certain limits on the development of societies. But ... technology is developing ways of modifying human beings....

Getting rid of industrial society ... will remove the capacity of ... control over **human nature**”

Ted Kaczynski, “Unabomber Manifesto”, opublikowane w Washington Post, oraz NY Times (1995).



Czy da się zatrzymać postępy neurotechnologii?

Na to się nie zanosi, widać raczej wielkie przyspieszenie.

Wiele projektów pojawi się w wyniku wsparcia sztucznej inteligencji przez Komisję Europejską, Chiny, USA, Global Brain Initiative itd.

WIRED

WHY YOU WILL ONE DAY HAVE A CHIP IN YOUR BRAIN

The Economist

DO HUMAN BEINGS NEED TO EMBRACE BRAIN IMPLANTS TO STAY RELEVANT?

MIT Technology Review

THE ENTREPRENEUR WITH THE \$100 MILLION PLAN TO LINK BRAINS TO COMPUTERS

VICE

MEMORY EDITING TECHNOLOGY WILL GIVE US PERFECT RECALL AND LET US ALTER MEMORIES AT WILL

Medium

FOUNDER BRYAN JOHNSON INVESTS \$100M IN KERNEL TO ENHANCE HUMAN INTELLIGENCE.

The Washington Post

OUR MISSION IS TO DRAMATICALLY INCREASE OUR QUALITY OF LIFE AS WE INCREASINGLY EXTEND HEALTHY LIFESPANS.

Wnioski



- Zaczynamy rozumieć związki pomiędzy stanami mózgu i wyobrażeniami oraz pojęciami na poziomie mentalnym ale to nadal wierzchołek góry lodowej.
- Neuroobrazowanie \Leftrightarrow modele całego mózgu (TVB) \Leftrightarrow grafy sieciowe \Leftrightarrow modele mentalne, pokazują jak powiązać $S(B) \Leftrightarrow S(M)$.
- Kluczem jest badanie neurodynamiki sieci funkcjonalnych na konektomach strukturalnych, biologicznie poprawne modele sieci neuronów i fenomika neurokognitywna na wielu poziomach.
- Nadchodzą liczne technologie neurokognitywne i systemy neuromorficzne pozwalające na zwiększanie możliwości mózgu: świadome sterowanie jego stanem i wykorzystanie neurofeedback i bezpośredniej stymulacji do wywołania pożądanych zmian neuroplastycznych.
- Pozwoli to na naprawianie uszkodzonych mózgów i pomoże w rozwoju pełnego potencjału człowieka.

Wielka zmiana

Zmiany nie są jeszcze radykalnie, nadal się częściowo rozumiemy. Co się jednak stanie gdy głębiej zmienimy mózg człowieka?



Soul or brain: what makes us human?

Interdisciplinary Workshop.

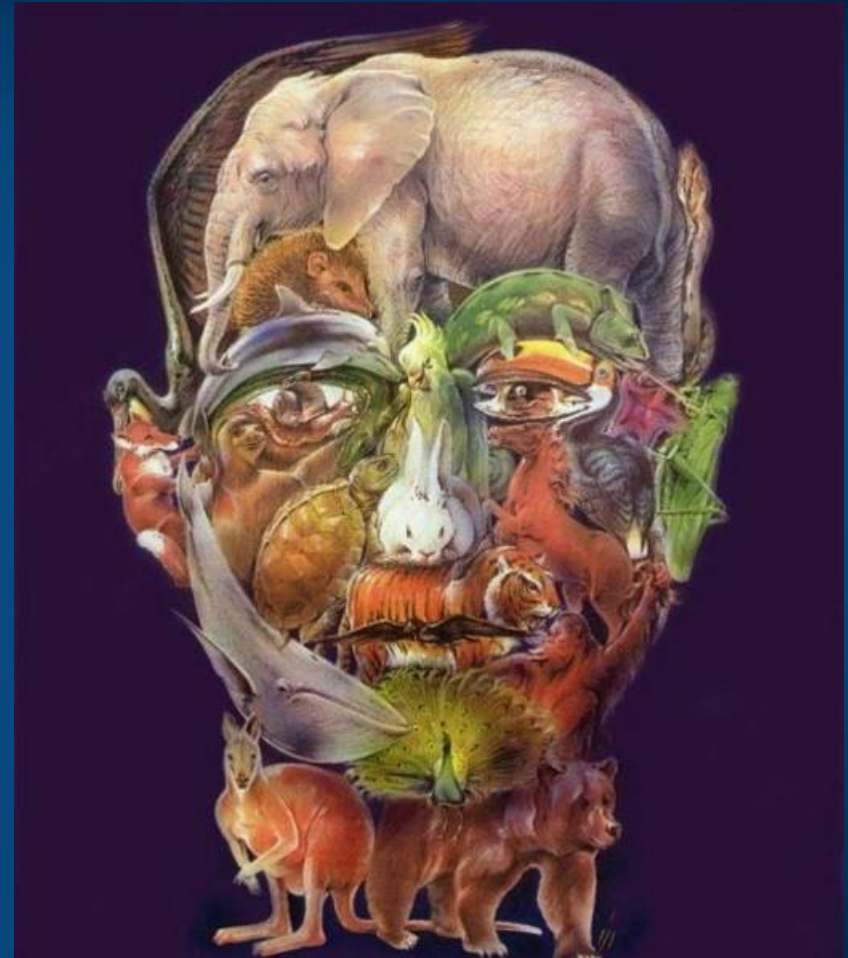
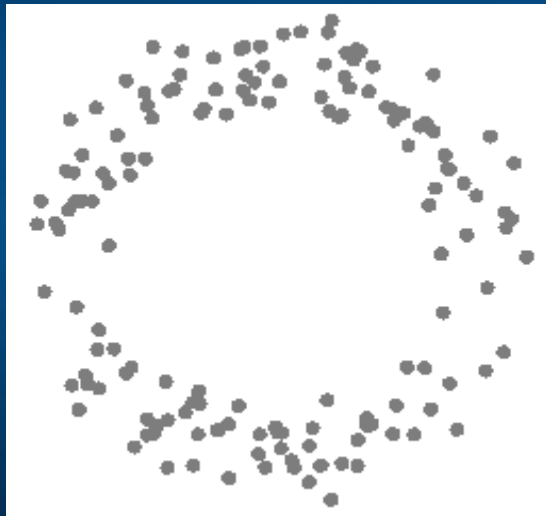


Seminaria
neurorozwojowe
co miesiąc 2016/2017

Interdoctor: Disorders
of consciousness.
2016/2017



Dziękuję za
synchronizację
neuronów!



Google: W. Duch
=> referaty, prace, wykłady ...

