



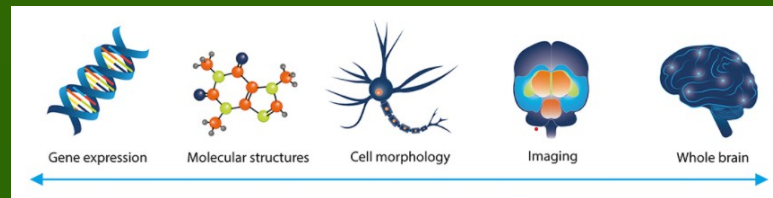
# Wyzwania i perspektywy neuroinformatyki

Włodzisław Duch

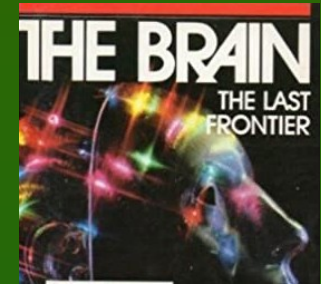
Katedra Informatyki Stosowanej, INT, WFAiIS  
Neuroinformatyka i Sztuczna Inteligencja, CD DAMSI UMK  
Laboratorium Neurokognitywne, ICNT UMK  
Google: Wlodzislaw Duch

Zebranie Plenarne Komitetu Informatyki PAN 21/04/2021

# Plan



- Neuroinformatyka: co to jest i dlaczego jest ważna.
- Mózg: ostateczne wyzwanie.
- Interpretacja sygnałów, czyli jak działają mózgi.
- Symulacje biologicznie inspirowanych sieci neuronowych.
- Perspektywy neurotechnologii.



Zespół w ramach **Uniwersyteckiego Centrum Doskonałości** (2020) IDUB  
“Dynamika, analiza matematyczna i sztuczna inteligencja”.  
Zrozumienie procesów w mózgu i inspiracje dla algorytmów AI.

Komitet Informatyki PAN: **Sekcja Nauk Obliczeniowych, Bio- i Neuroinformatyki.**  
Neuroinformatyka to chyba jedyna specjalność informatyki, w której można dostać Nagrodę Nobla (A. Cormack, G.Hounsfield, 1979 Computer Tomography)

# Neuroinformatyka

Jak psują się mózgi?

Jak naprawiać mózgi?

Sieci funkcjonalne

Jak zmieniają się mózgi?

Jak mózgi podejmują decyzje?

Symulacje neurodynamiki

Neurotechnologie

Perspektywy Neuroinformatyki



# Neuro Informatics 2019

[International Neuroinformatics Coordination Facility](http://INCF.org) (INCF.org):

integracja i analiza danych zbieranych na każdym poziomie, wszystkimi technikami, dla wszystkich organizmów, zrozumienie jak funkcjonują mózgi i jak wpłynąć na ich zdrowie i dobrostan ludzi.

Centrum INCF jest w Karolinska Institutet, Sztokholm: 18 krajów, 120 instytucji. Polski węzeł INCF powstał w IBD PAN im. Nenckiego, od 2017 na UMK w Toruniu.

[12th INCF Congress on Neuroinformatics](#) and INCF Assembly, Warsaw 9/2019.

Neuroobrazowanie, neuronauki obliczeniowe, sztuczna inteligencja.

Mieliśmy nadzieję przystąpić jako kraj do INCF przed kongresem.



Polska Rada Mózgu została założona przy Fundacji Neuropozytywni w 2013, miał powstać “Brain Plan dla Polski” zwalczania chorób mózgu.



# Mózgi 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

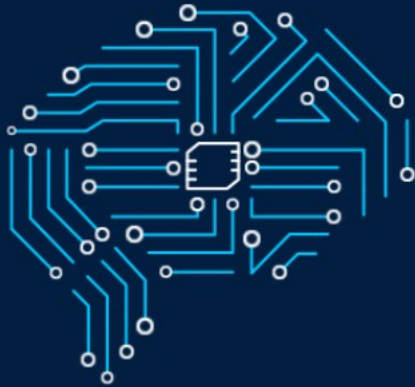


### MOOD DISORDERS



### PSYCHOTIC DISORDERS





## Advance Neurotechnologies

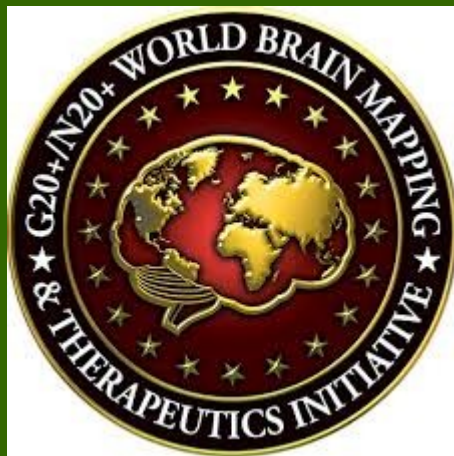
Accelerate the development and  
application of new neurotechnologies.

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

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

Cel: “Opracowanie nowych technologii, aby zbadać, w jaki sposób komórki i obwody mózgu oddziałują na siebie, ostatecznie odkrywając złożone powiązania między funkcjonowaniem a zachowaniem mózgu, jak mózg rejestruje, przetwarza, wykorzystuje, przechowuje i pobiera ogromne ilości informacji.”

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



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

W IEEE Brain zaangażowało się 20 towarzystw:

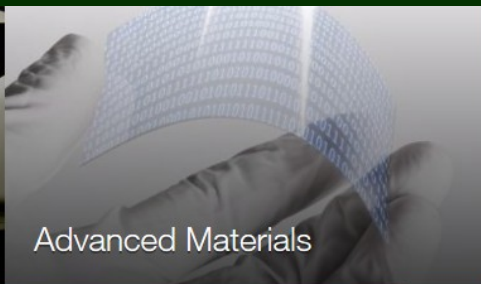
**IEEE Computational Intelligence Society**; Computer Society;  
Consumer Electronics Society; Digital Senses Initiative;  
Robotics and Automation Society; Sensors Council;  
**Signal Processing Society**; **Systems, Man, and Cybernetics Society**,  
Society on Social Implications of Technology; International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

Większość z tych towarzystw jest też związana ze inteligencją obliczeniową.

# WEF: czwarta rewolucja przemysłowa dzięki AI/neuro



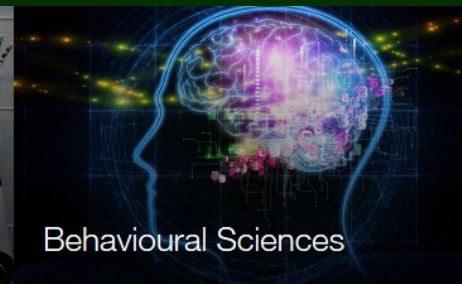
3D Printing



Advanced Materials



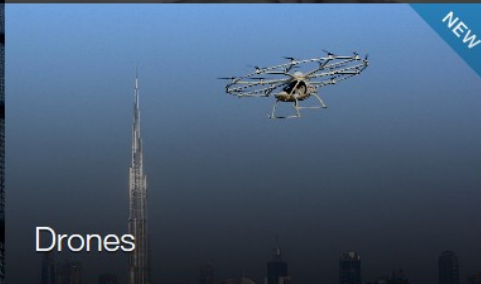
Artificial Intelligence and Robotics



Behavioural Sciences



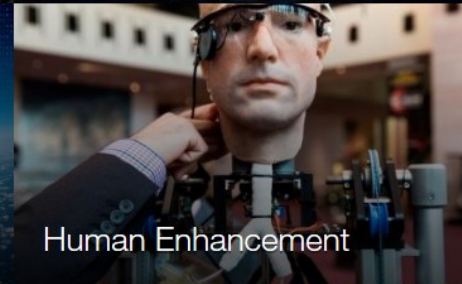
Blockchain



Drones



Fourth Industrial Revolution



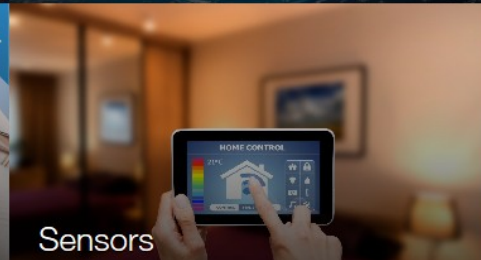
Human Enhancement



Neuroscience



Precision Medicine



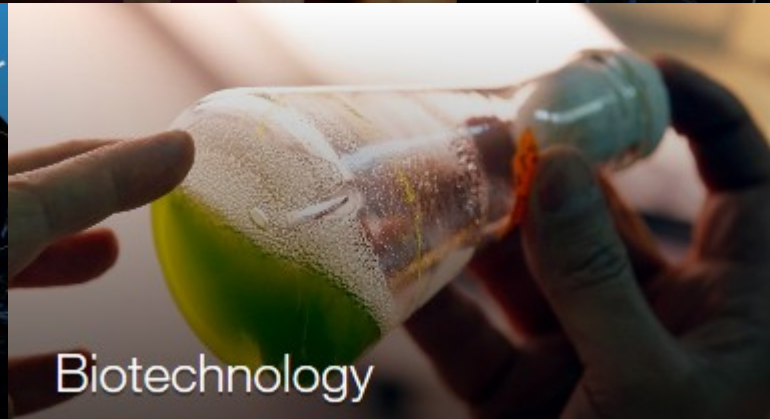
Sensors



Virtual and Augmented Reality



Internet of Things



Biotechnology



# Kogni Nauki kognitywne



Biohybrydy



Bio

Lab  
neuro-  
kognitywne

Nano  
Fizyka  
Kwantowa



Info

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

# Info/neuro+nano: AI/DNN

1997 – szachy, Deep Blue wygrywa z Kasparowem.

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

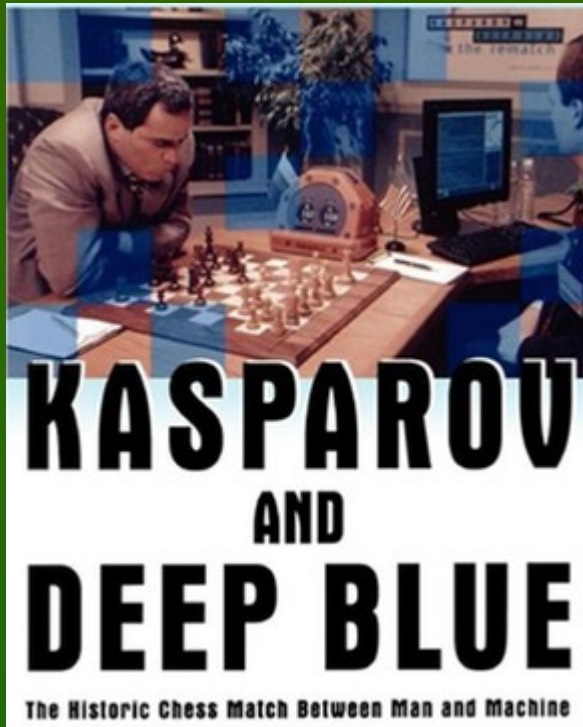
2015 – zrobotyzowane laboratorium + AI odkrywa ścieżki genetyczne/sygnałowe regeneracji płazińców

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?



# Głębokie sieci neuronowe

Sieci neuronowe rozpoznają wzorce, realizują nieliniowe transformacje uczą się dobierając parametry, ale nie tworzą dobrych modeli przyczynowych i nie mają realistycznych biologicznych podstaw.

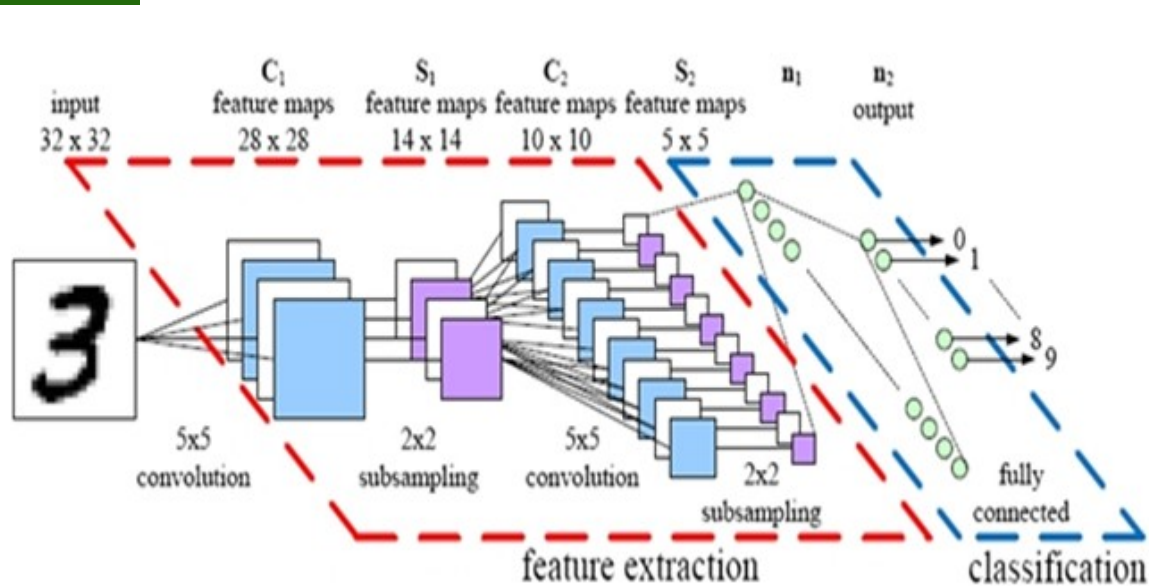
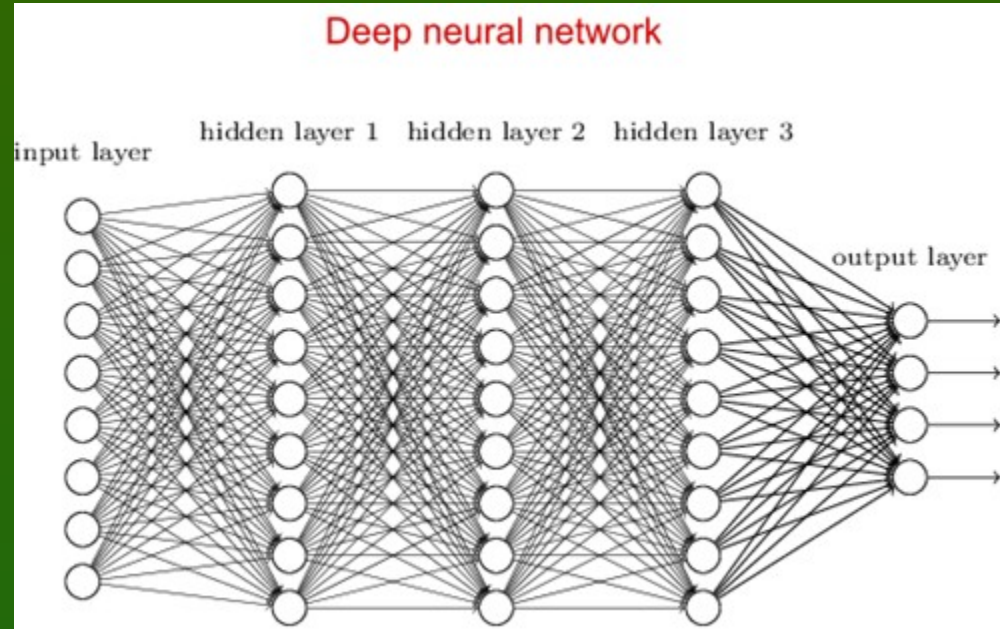
Np: tensor networks

Cichocki Lab, RIKEN BSI

WD: Meta-learning (2000-2014)

**Wyzwanie:** jak zrobić modele działające podobnie do mózgu?  
Jak działają mózgi?

2008, Memphis, AGI:  
Artificial General Intelligence.



Studies in Computational Intelligence 63

Włodzisław Duch  
Jacek Mańdziuk (Eds.)

## Challenges for Computational Intelligence

 Springer

Studies in Computational Intelligence 358

Norbert Jankowski  
Włodzisław Duch  
Krzysztof Grąbczewski (Eds.)

## Meta-Learning in Computational Intelligence

 Springer

Studies in Computational Intelligence 498

Krzysztof Grąbczewski

## Meta-Learning in Decision Tree Induction

 Springer

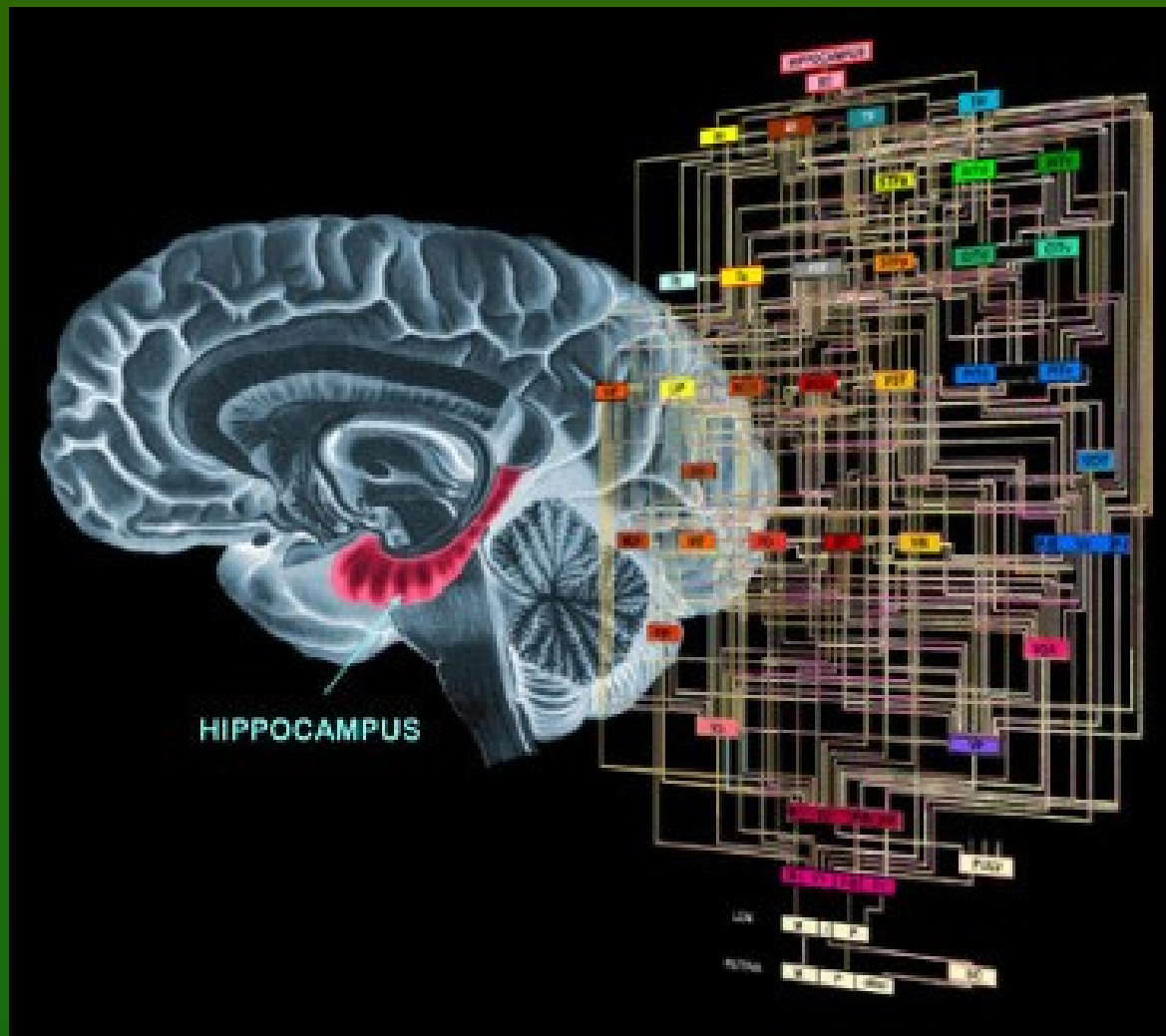
Meta-uczenie, czyli jak się uczyć by się móc uczyć, odkrywanie nowych modeli. Transformation-based learning, Support Feature Machines, Universal Learning Machines i wiele innych ciekawych pomysłów – prace od 2000 roku [na tej stronie](#).

# BICA, Brain-Inspired Cognitive Architecture

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

BICA, mózgo-podobne architektury komputerowe wzorowane na ogólnej strukturze przetwarzania informacji przez mózgi. Nadal dość prymitywne.

Duch W, Oentaryo R.J, Pasquier M, Cognitive architectures: where do we go from here? 2008



# Neuronauki $\Leftrightarrow$ AI



Hassabis, D., Kumaran, D., Summerfield, C., Botvinick, M. (2017). **Neuroscience-Inspired Artificial Intelligence**. *Neuron*, 95(2), 245  
Afilacje: Google DeepMind, Gatsby Neuroscience, UCL, Oxford Uni.

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

Tomaso Poggio (2/2020) wykład na UMK: neuronauki to droga do AI.

Algorytmy ML inspirowane przez neuronowe modele zachowania, np: **uwaga** w uczenie sekwencji NLP, **komplementarne systemy uczenia się**, **modele pamięci roboczej** i algorytmy Neural Turing Machine, **systemy wieloagentowe**.

- Uczenie maszynowe używane jest do analizy danych, pomaga zrozumieć zachodzące w mózgu procesy.

Badania zachowania zwierząt => reinforcement learning. Mózgi używają wariantu algorytmu **temporal difference-learning!** Dopamina = nagroda.

Sieci CNN  $\Rightarrow$  interpretacja sygnałów w układzie wzrokowym. Z impulsów 205 neuronów układu wzrokowego makaka odczytano kierunki projekcji obrazu.

**Architektura LSTM**  $\Rightarrow$  model pamięci roboczej w korze przedczołowej.

Neuroinformatyka

Jak psują się mózgi?

Jak naprawiać mózgi?

Sieci funkcjonalne

Jak zmieniają się mózgi?

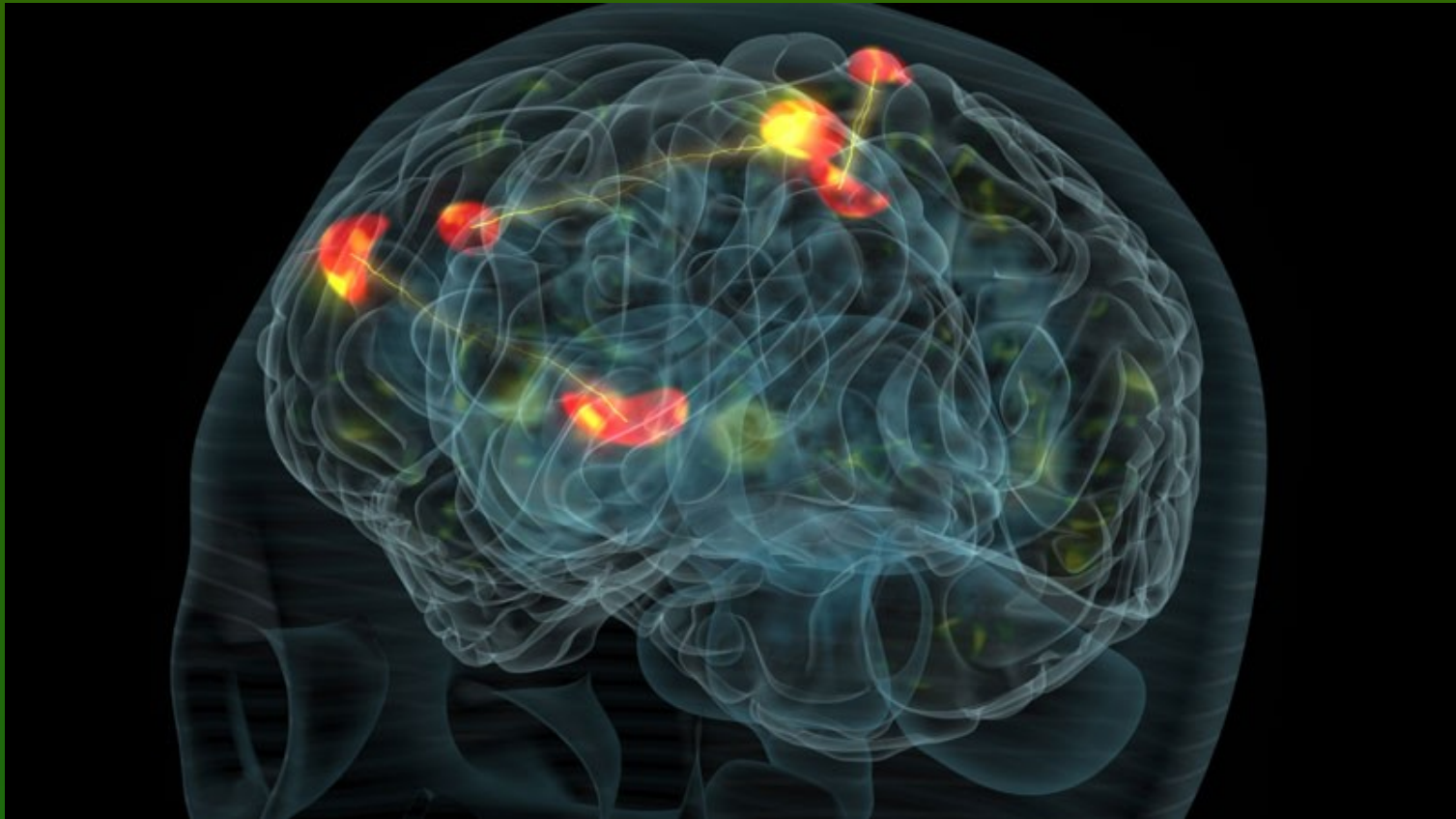
Jak mózgi podejmują decyzje?

Symulacje neurodynamiki

Neurotechnologie

Perspektywy Neuroinformatyki

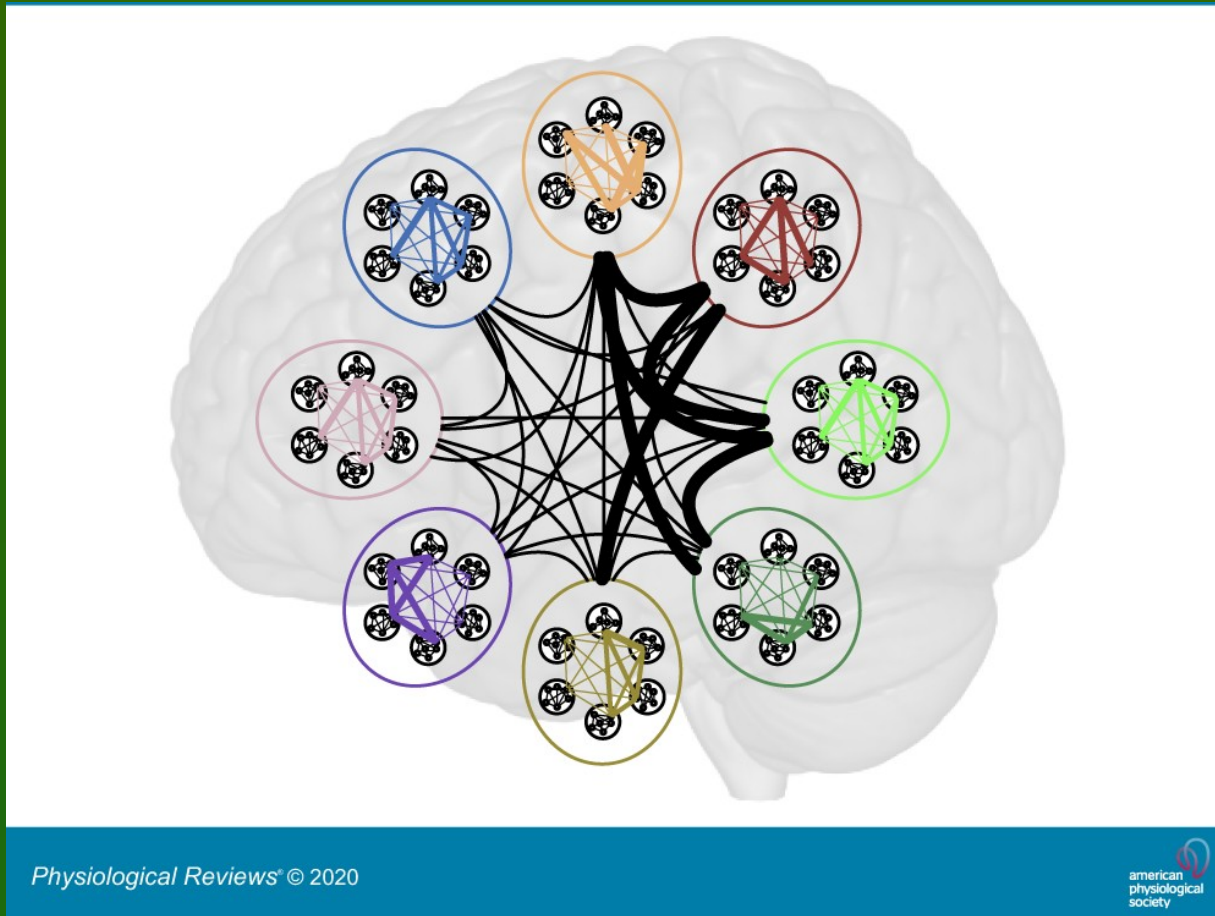
# Stany umysłu=silne, spójne aktywacje



Liczne podsieci neuronowe wzbudzają się i konkurują ze sobą o dostęp do najwyższego poziomu kontroli - świadomości. Tylko te procesy które wybiją się ponad szum – zgodnie z **teorią detekcji sygnałów** – mózg może świadomie wykorzystać. Czy potrafimy je rozpoznać?

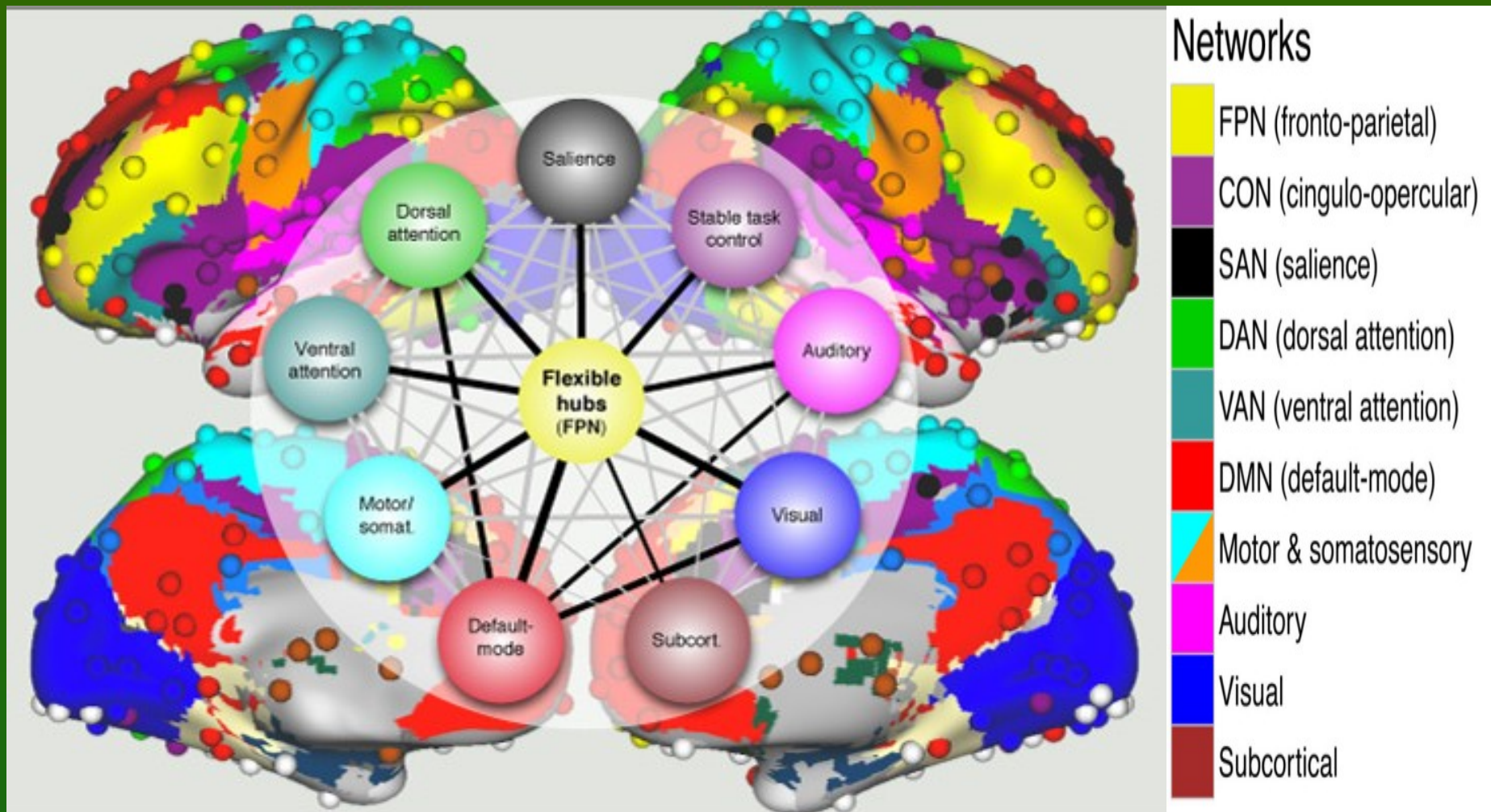


# ~ Architektura małych światów



Złożone funkcje wymagają współpracy wielu wyspecjalizowanych obszarów mózgu, z których każdy dostarcza częściowych informacji. Pamięć, osobowość, tożsamość czy świadomość to procesy składające się z wielu elementów, podobnie jak modele wieloagentowe w „społeczeństwie umysłu” Minsky’ego. Konstrukty psychologiczne nie oddają specyfiki procesów neurodynamicznych.

# FPN: centrum zarządzające



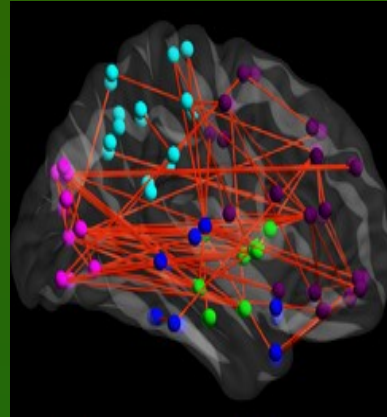
Centralna rola sieci czołowo-ciemiennych (FPN) pozwala na kontrolę przepływu informacji pomiędzy sieciami odpowiedzialnymi za różne funkcje. Czarne linie pokazują silne korelacje, większość przechodzi przez FPN. (Cole et al. 2013).

# Konektomy z MRI/fMRI

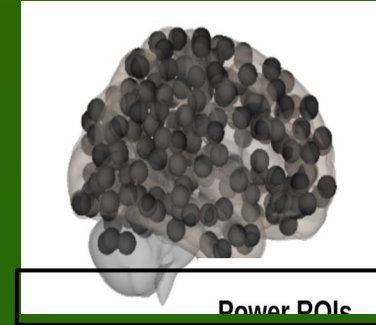
Structural connectivity



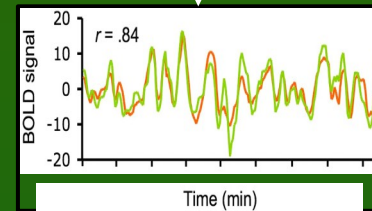
Functional connectivity



Node definition (parcellation)

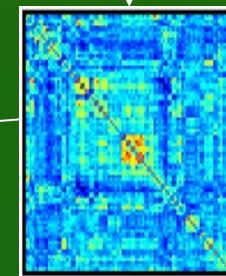


Signal extraction



Correlation calculation

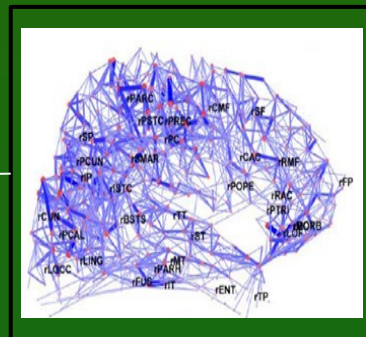
Correlation matrix



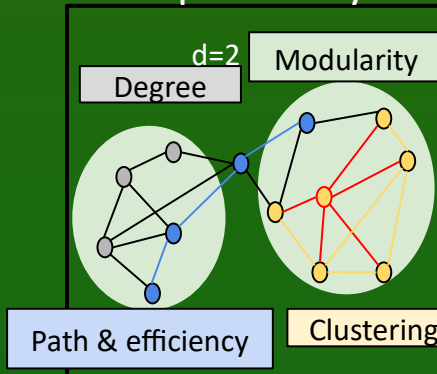
Binary matrix



Whole-brain graph



Graph theory



Network neuroscience.

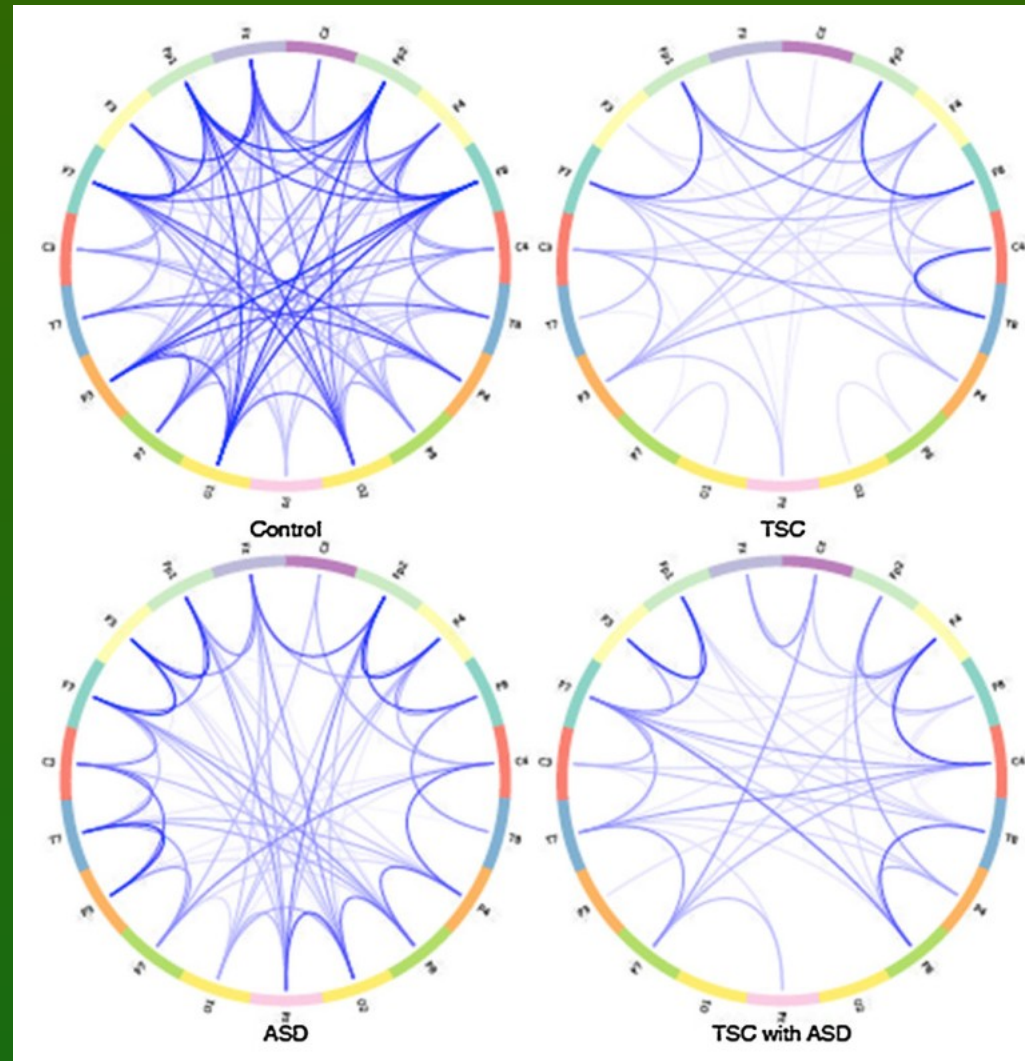
Bullmore & Sporns (2009)

# ASD: patologie połączeń

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

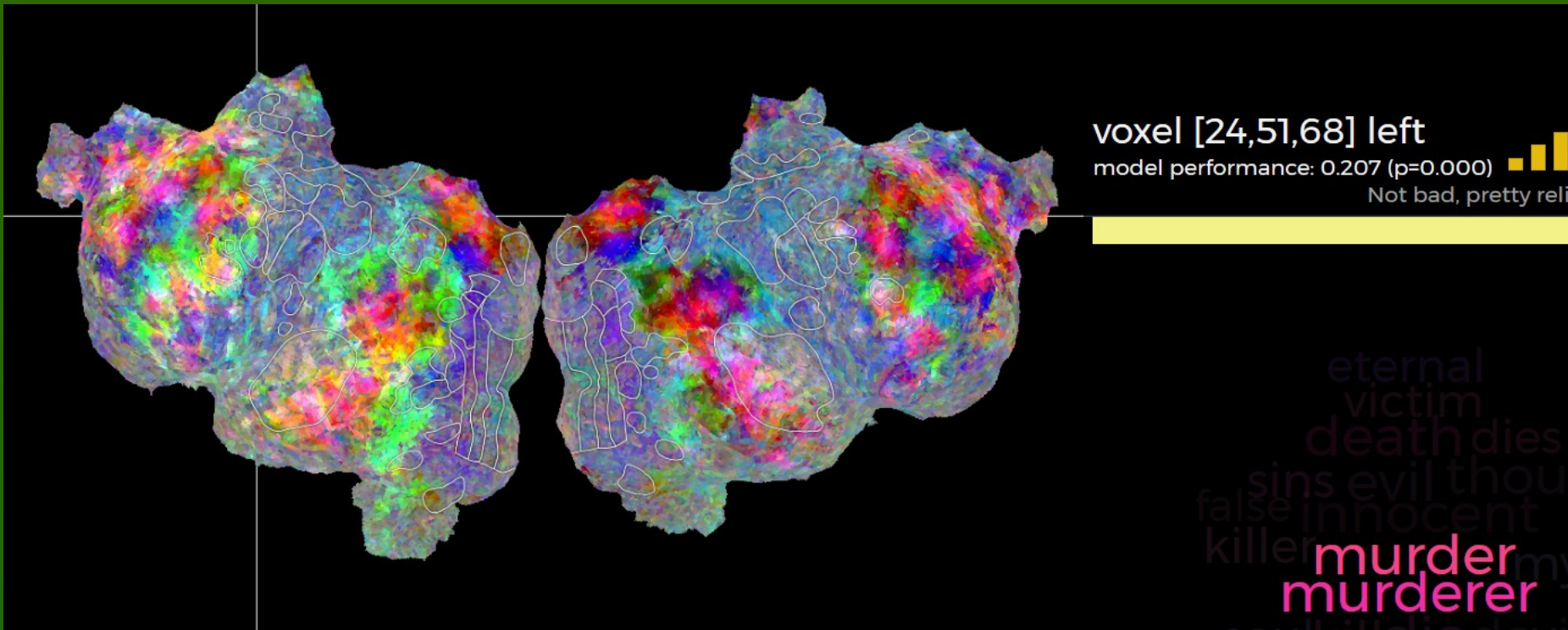
Widać słabe lub całkiem brakujące połączenia pomiędzy odległymi od siebie obszarami.

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

# Jak wyglądają pojęcia w mózgu?



Badani oglądają film. Z każdym pojęciem związany jest rozkład aktywacji wielu struktur mózgu uczestniczących w semantycznej interpretacji pojęć, odwołujący się do percepcji (kora zmysłowa), emocji, ruchu, form działania.

<http://gallantlab.org/huth2016/>

[krótki film](#)

Zrozumienie wymaga szybkiej synchronizacji odległych obszarów, mikrostanu.

Neuroinformatyka

Jak psują się mózgi?

**Jak naprawiać mózgi?**

Sieci funkcjonalne

Jak zmieniają się mózgi?

Jak mózgi podejmują decyzje?

Symulacje neurodynamiki

Neurotechnologie

Perspektywy Neuroinformatyki

# On the threshold of a dream ...

Cel: optymalizacja procesów mózgu!

Naprawa mózgów chorych i optymalizacja zdrowych wymaga zrozumienia procesów przetwarzania informacji. Jak sterować neuroplastycznością?

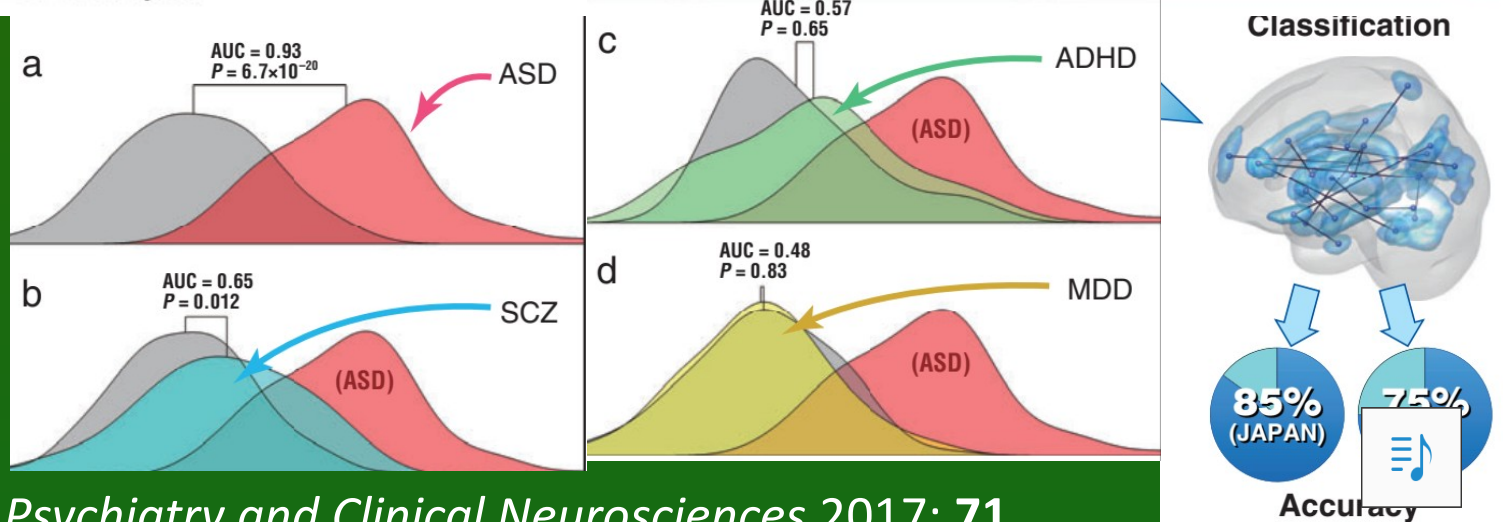
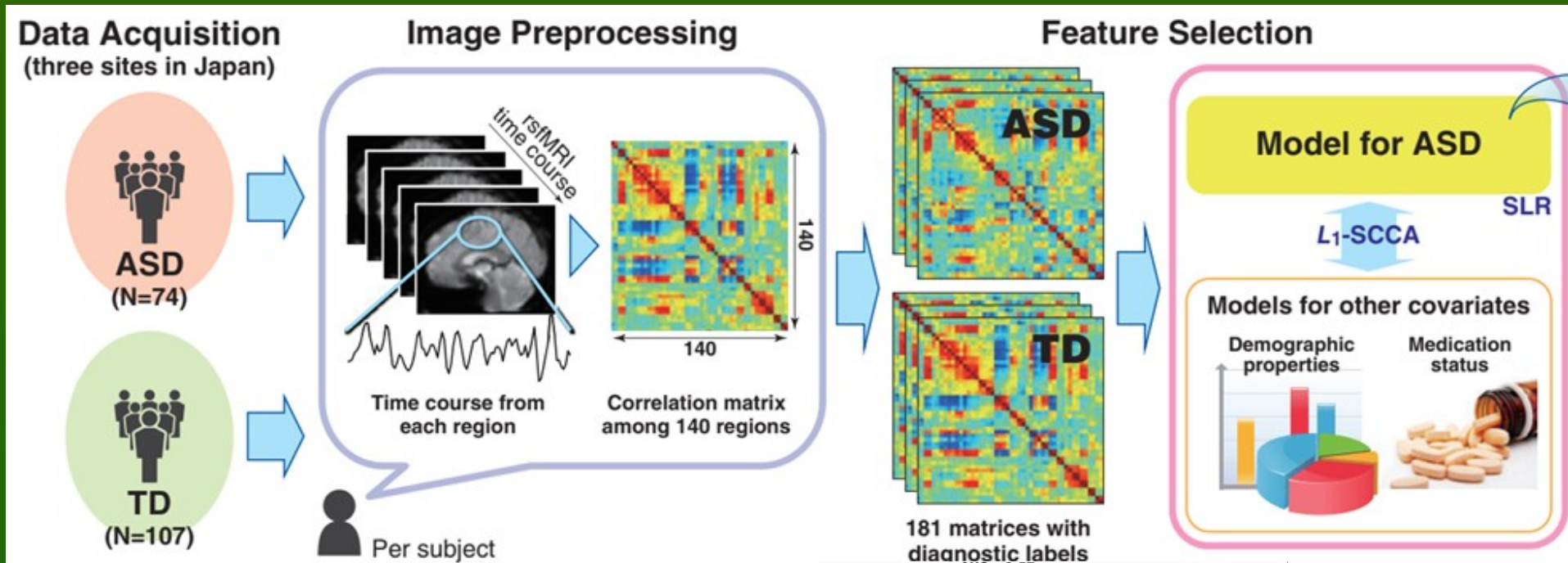
1. Szukamy źródeł (fingerprintów) specyficznej aktywności regionów i podsięci mózgu analizując dane z neuroobrazowania.
2. Wykorzystujemy procedury neurofeedback oparte o dekodowanie i zmiany siły połączeń w systemach stymulacji mózgu.
3. Opracowujemy nowe diagnostyczne i terapeutyczne procedury wykorzystując neuromodulację.
4. Budujemy architektury systemów kognitywnych, które działają podobnie do mózgów.



G-tec wireless NIRS/EEG na mojej głowie.

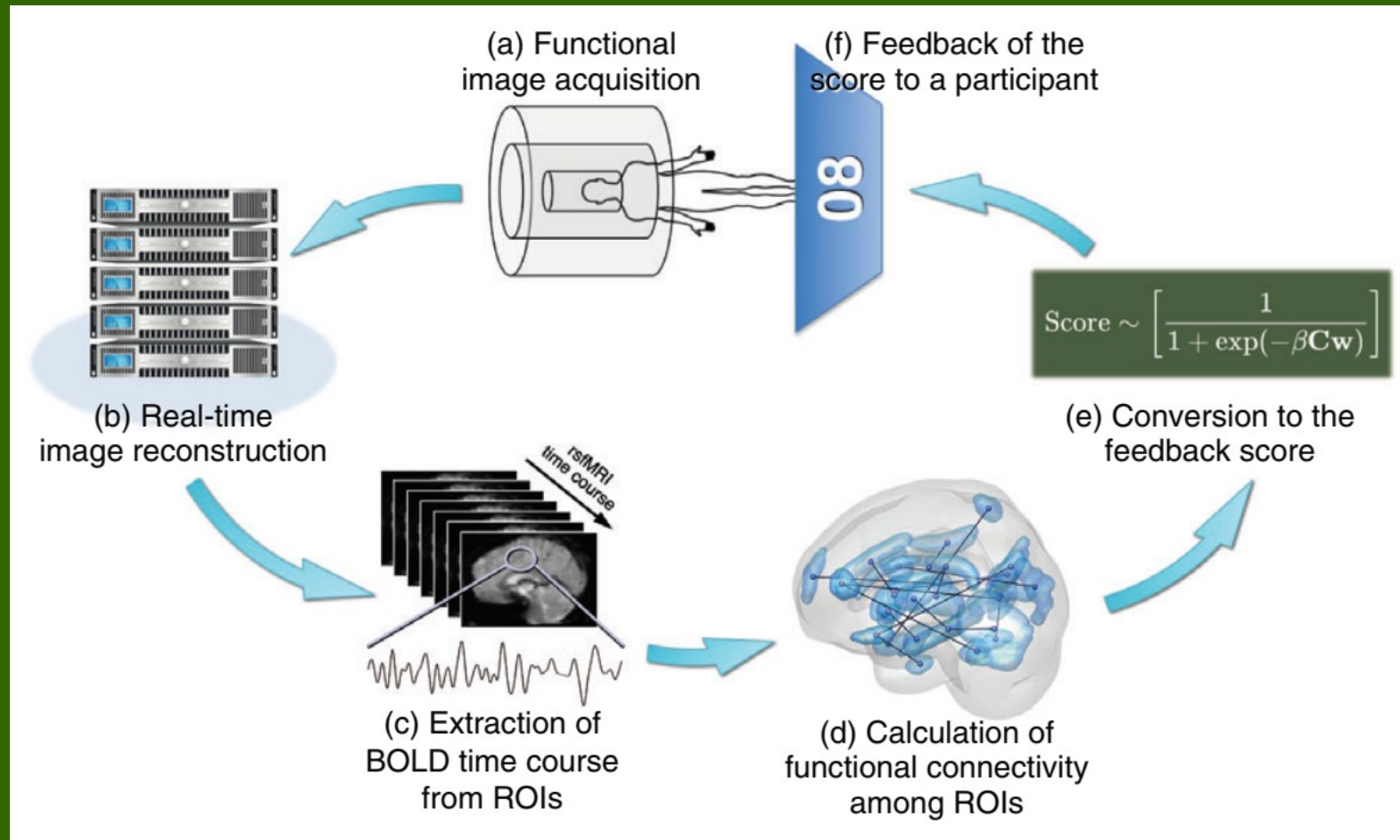
Duch W, Neurocognitive Informatics Manifesto, 2009.

# Biomarkers from neuroimaging





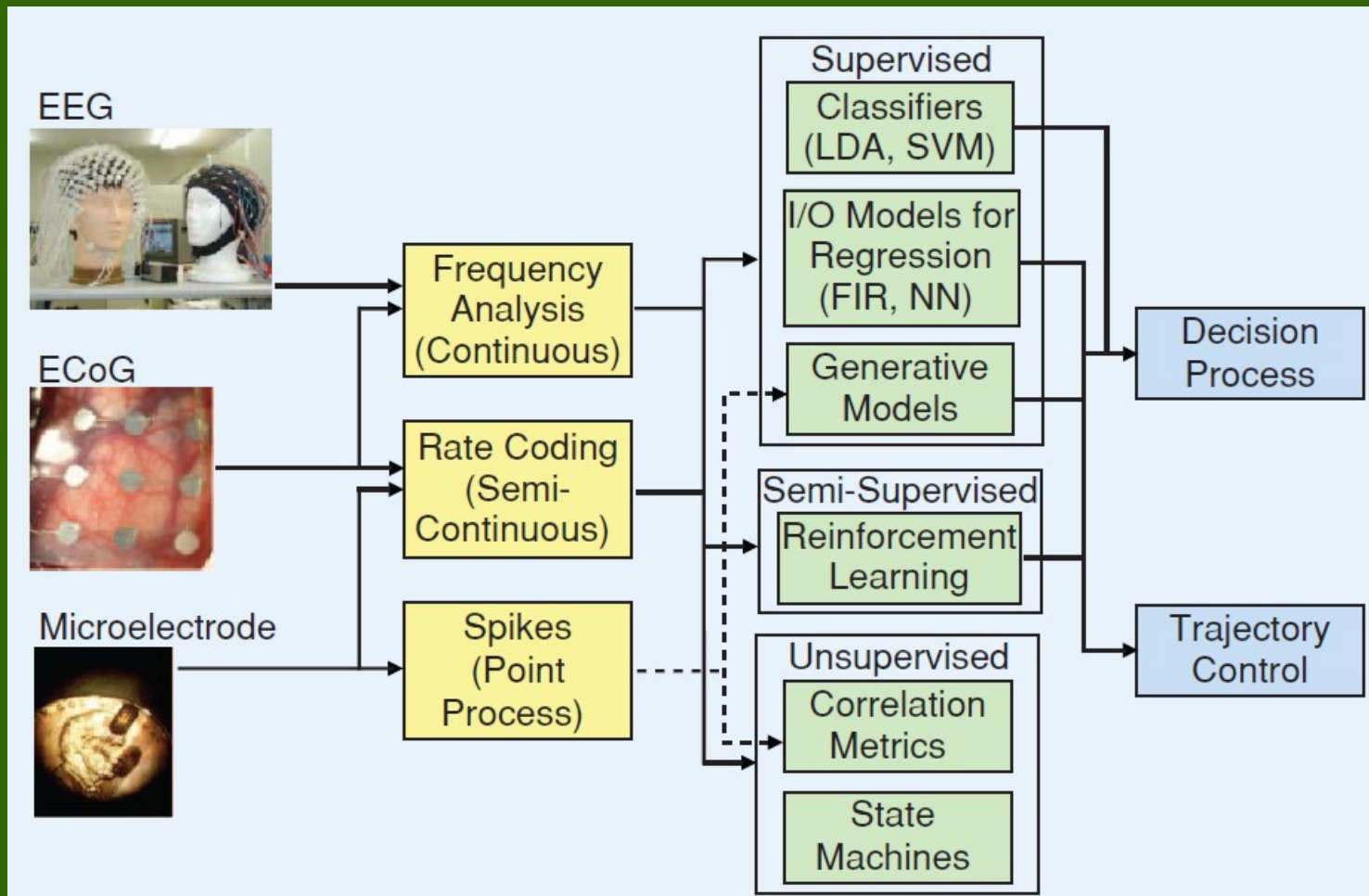
# Neurofeedback may repair network?



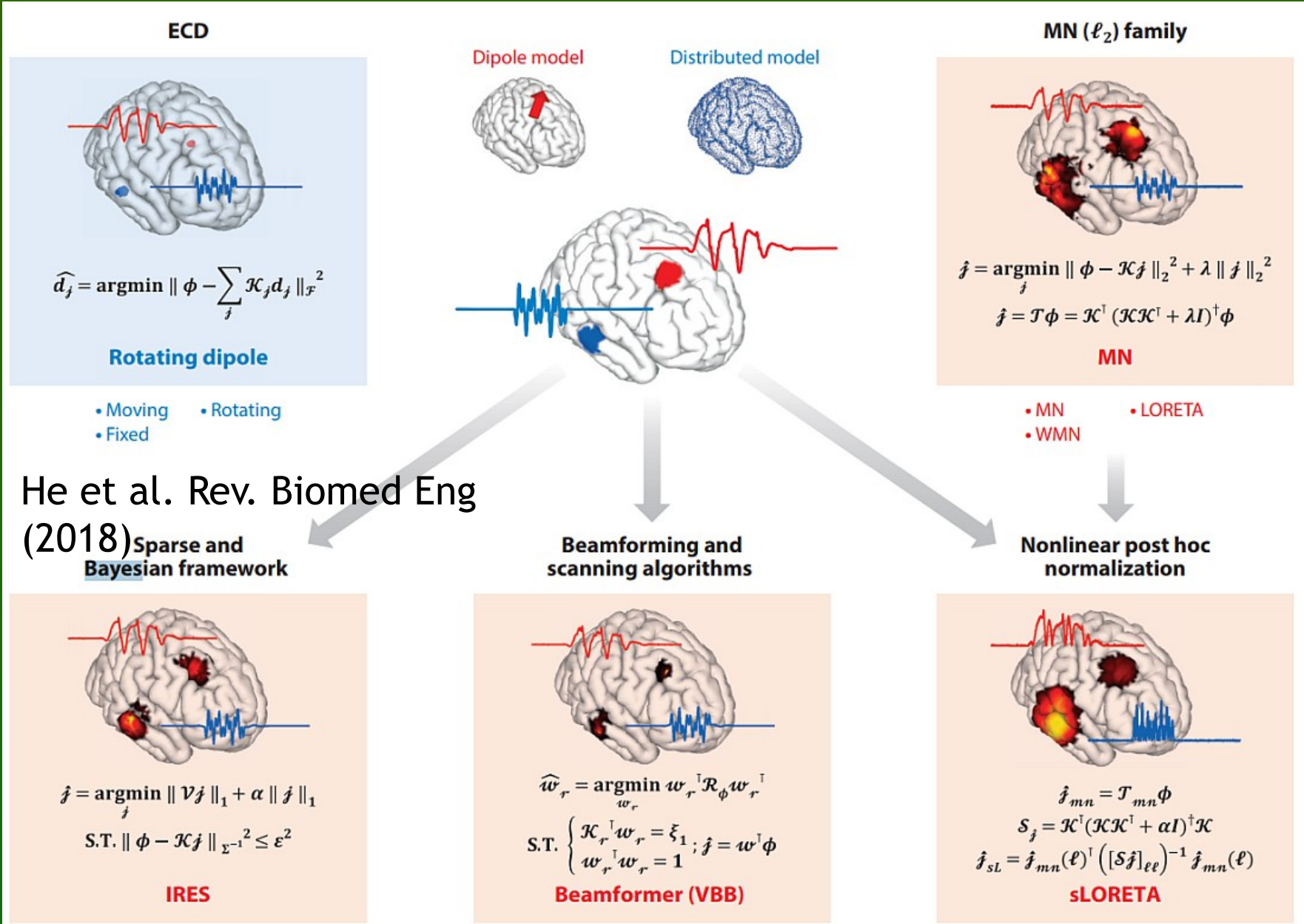
Megumi F, Yamashita A, Kawato M, Imamizu H. Functional MRI neurofeedback training on connectivity between two regions induces long-lasting changes in intrinsic functional network. *Front. Hum. Neurosci.* 2015; 9: 160.

# BCI – Interfejsy Mózg-Komputer

Nieinwazyjne, częściowo inwazyjne i inwazyjne metody zbierania sygnałów niosą coraz więcej informacji, ale trudno je stosować. EEG nadal króluje!



# Rekonstrukcja i lokalizacja EEG



# SupFunSim

SupFunSim: nasza biblioteka/toolbox, do modelowania sygnałów EEG/MEG.

Dostarcza wielu filtrów przestrzennych do rekonstrukcji źródeł EEG: klasyczne filtry liniowe LCMV, eigenspace LCMV, nulling (NL), oraz minimum-variance pseudo-unbiased reduced-rank (MV-PURE, T. Piotrowski), dwie rodziny indeksów aktywności neuronalnej pozwalające na większą rozdzielczość źródeł, unikanie interferencji. Umożliwia kierunkową analizę połączeń na poziomie źródeł wskaźnikami: partial directed coherence (PDC), directed transfer function (DTF).

Współpracuje z pakietami FieldTrip EEG/ MEG. Modularne, zorientowane obiektowo, wykorzystuje notesy Jupyter, pozwalające na notację w LaTeXu.

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

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

```
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
```

Neuroinformatyka

Jak psują się mózgi?

Jak naprawiać mózgi?

**Sieci funkcjonalne**

Jak zmieniają się mózgi?

Jak mózgi podejmują decyzje?

Symulacje neurodynamiki

Neurotechnologie

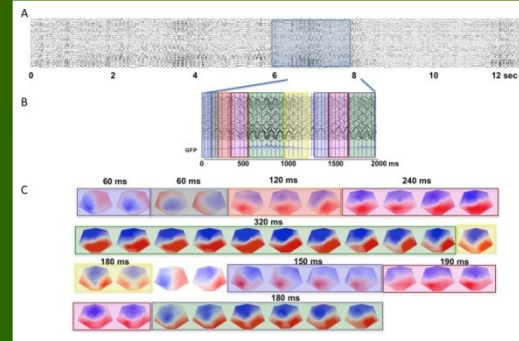
Perspektywy Neuroinformatyki

# Brain Fingerprinting

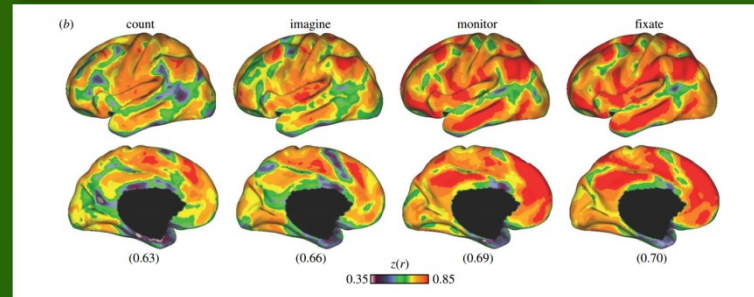
Znajdywanie unikalnych wzorców aktywności elektrofizjologicznej:

- obszarów mózgu (ROI)
- sieci neuronowych w mózgu
- stanów mentalnych i zadań.

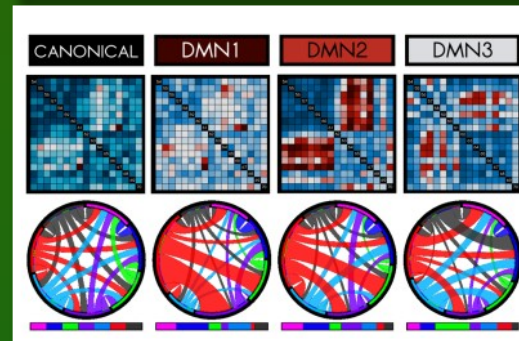
1



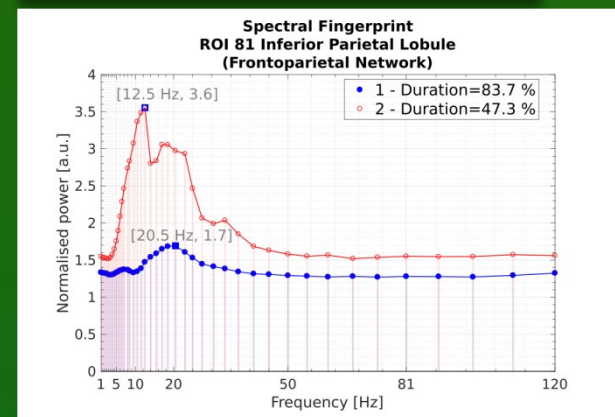
2



3

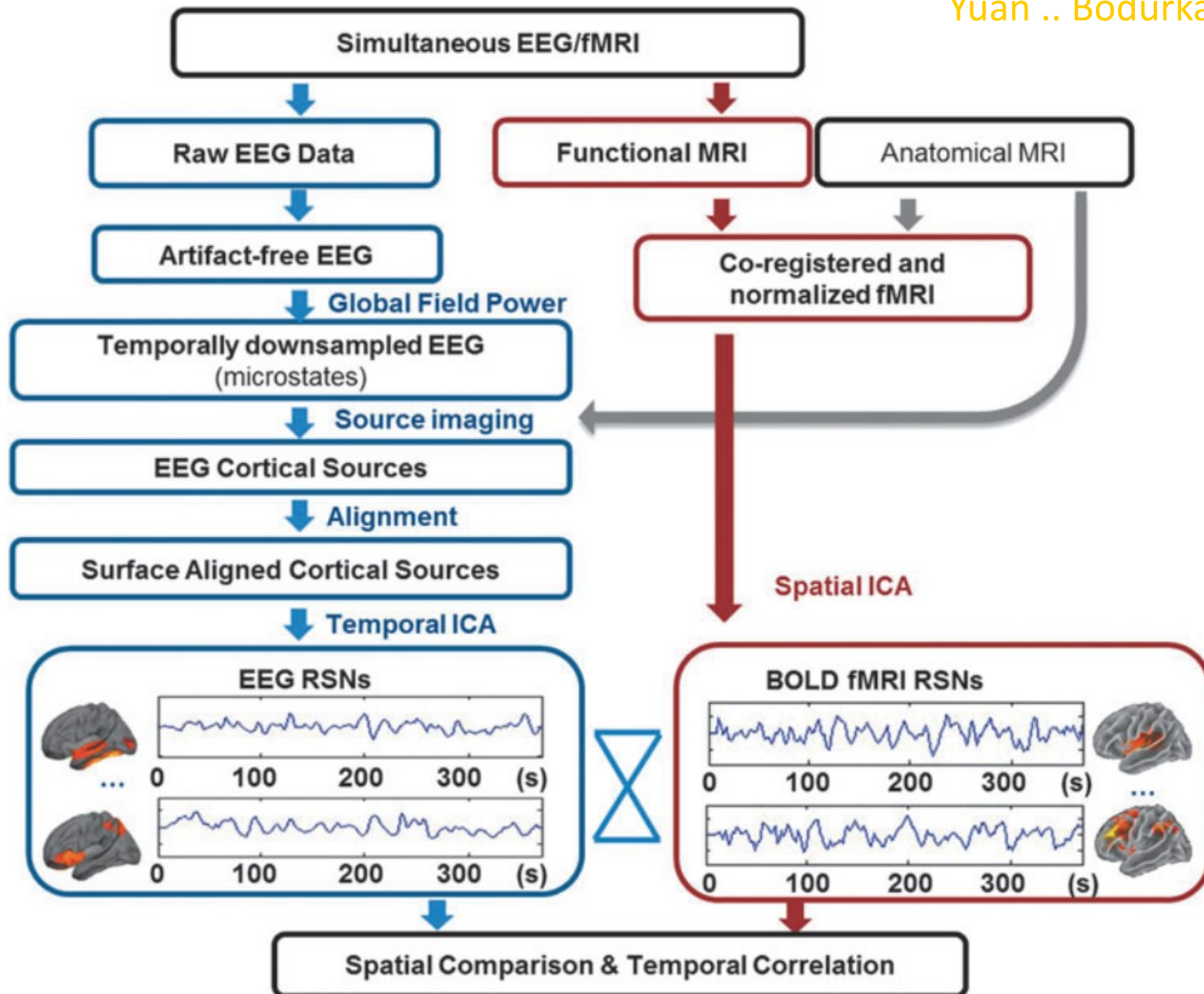


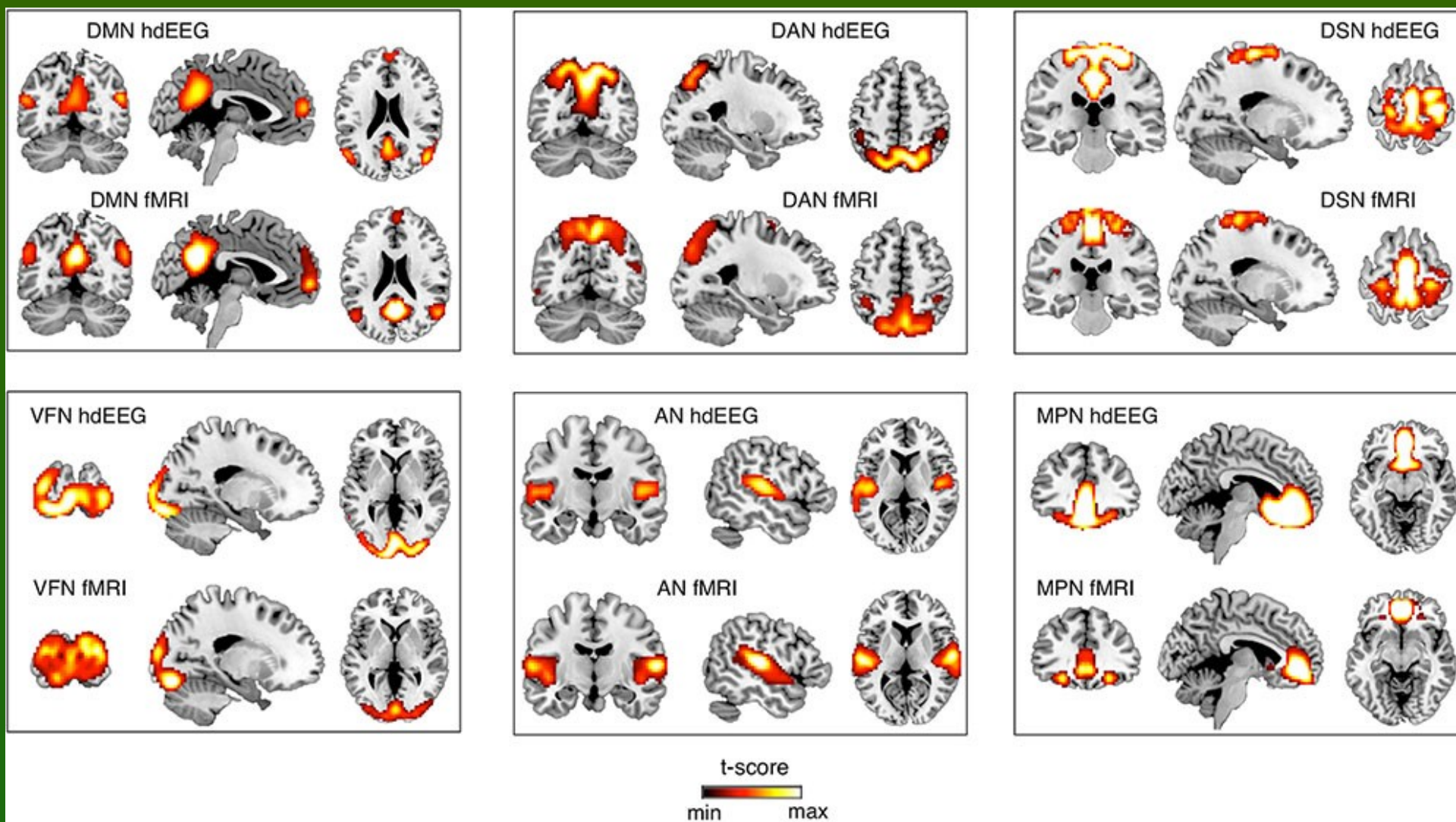
4



Różne podejścia:

1. Mikrostan i ich przejścia (Michel & Koenig 2018)
2. Reconfigurable task-dependent modes (Krienen et al. 2014)
3. Contextual Connectivity (Ciric et al. 2018)
4. Spektralny Fingerprint (Keitel & Gross 2016)
5. Inne ...



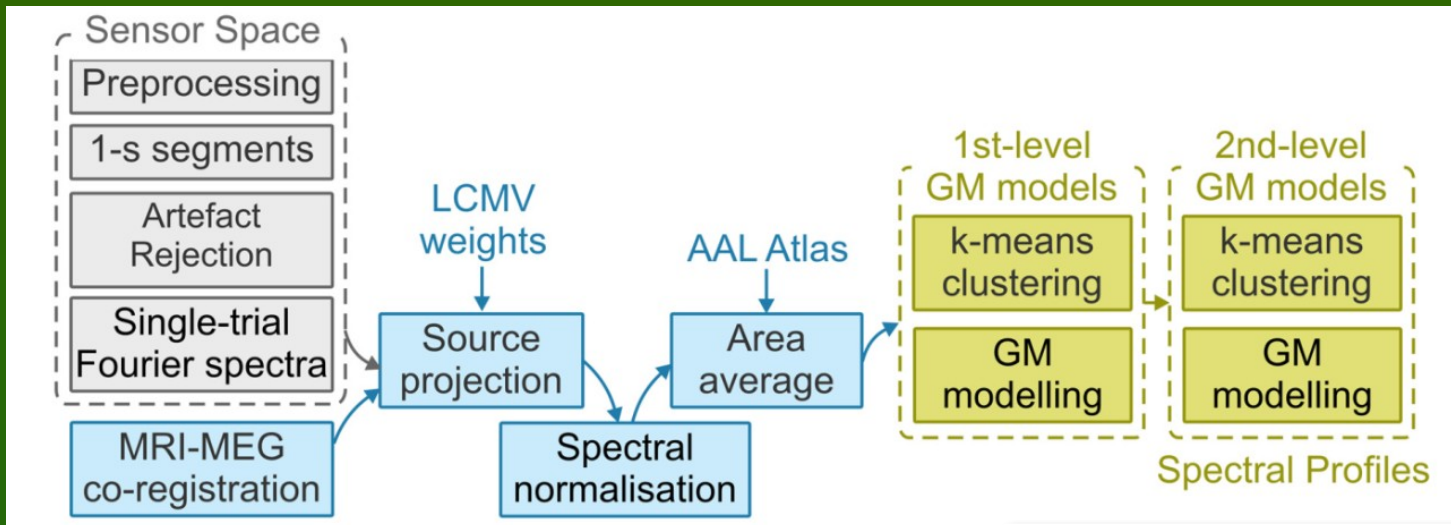


SICA, dane 10-min fMRI ( $N = 24$ ). Sieci: DMN, default mode network; DAN, dorsal attention network; DSN, dorsal somatomotor network; VFN, visual foveal network; AN, auditory network; MPN, medial prefrontal network.

Liu et al. Detecting large-scale networks in the human brain. HBM (2017; 2018).



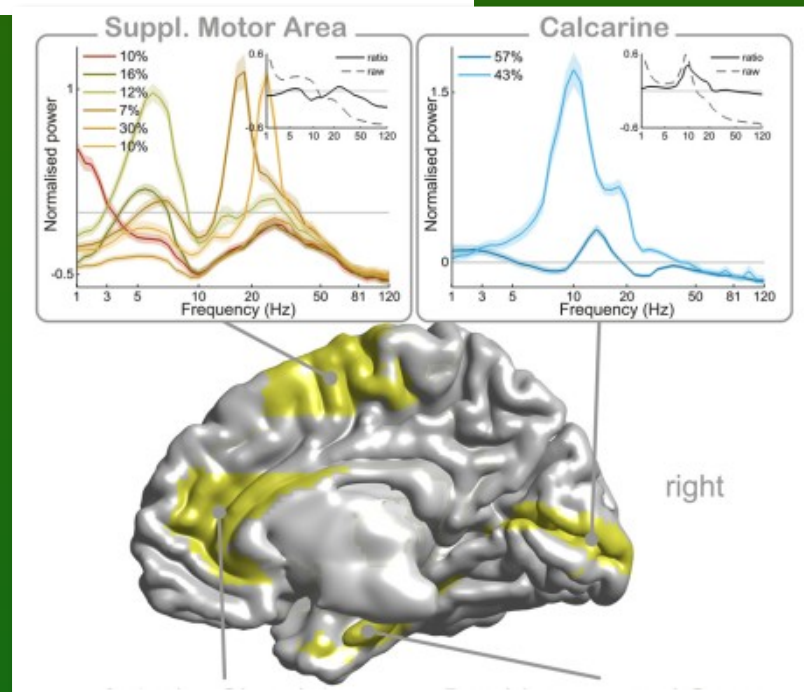
# Analiza spektralna



## Spektralny Fingerprint

Modelowanie zrekonstruowanych aktywności obszarów mózgu jako zbiór widm obecnych w określonym procencie czasu nagrania

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

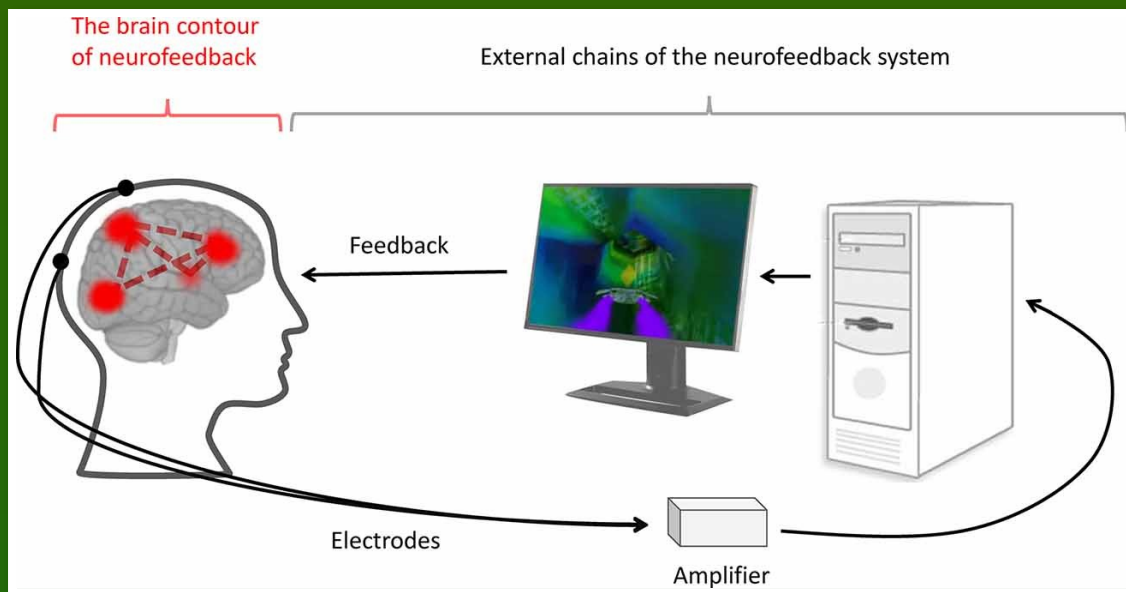


# Wyzwania Spectral Fingerprints



Michał Komorowski

Spektralny Fingerprint działa dobrze na MEG. Jak to dobrze zrobić na EEG?



Źródło: O. R. Dobrushina *et al.* *Front. Hum. Neurosci.* 14, 2020

Jak modelować spektralny fingerprint w czasie rzeczywistym? (neurofeedback)

Jakie cechy spektralnych fingerprintów mogą stanowić dobre biomarkery?

Neuroinformatyka

Jak psują się mózgi?

Jak naprawiać mózgi?

Sieci funkcjonalne

**Jak zmieniają się mózgi?**

Jak mózgi podejmują decyzje?

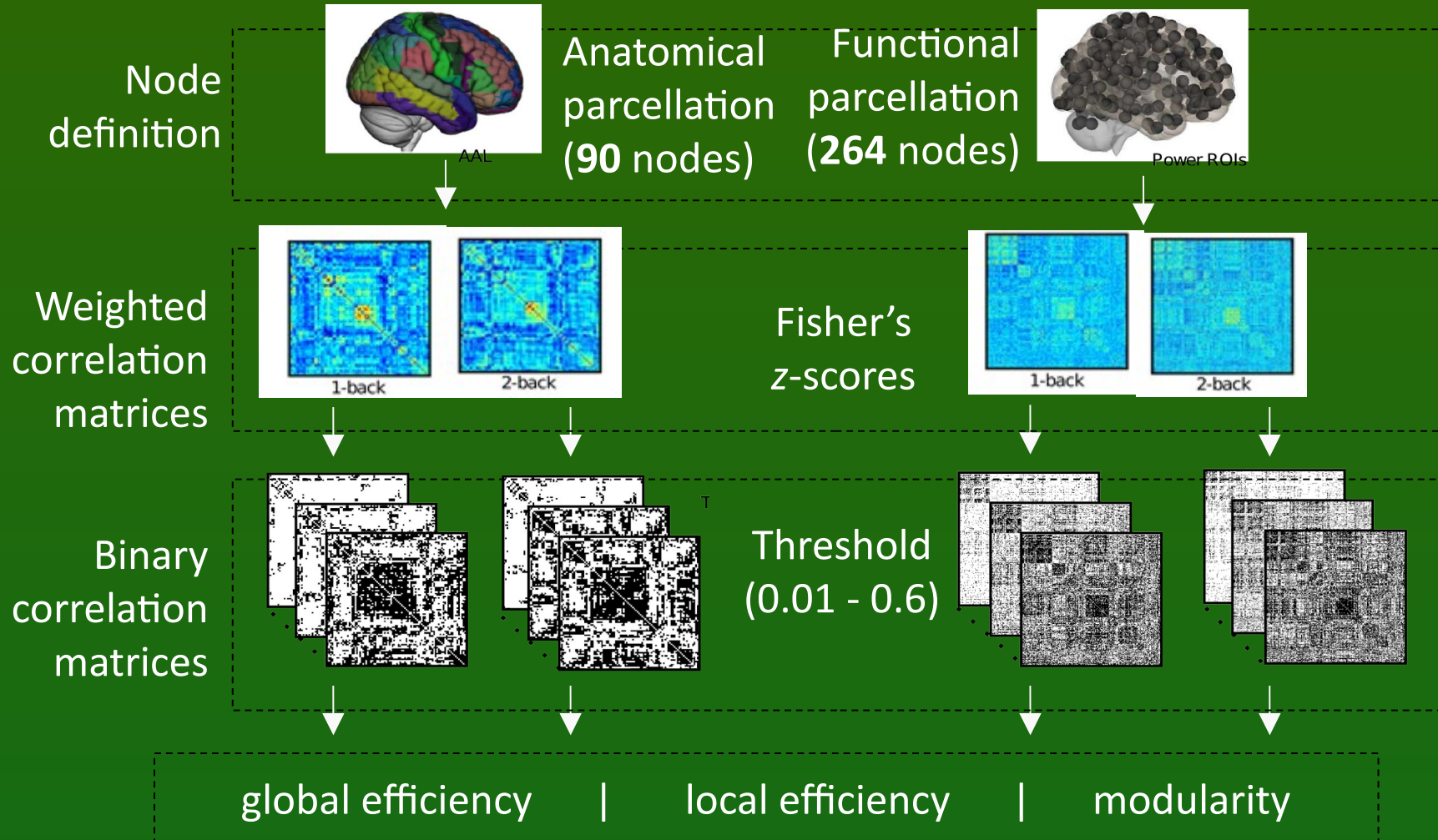
Symulacje neurodynamiki

Neurotechnologie

Perspektywy Neuroinformatyki

# Wpływ obciążenia poznawczego

Two experimental conditions: 1-back, 2-back (Karolina Finc)



# Modularność i procesy poznawcze

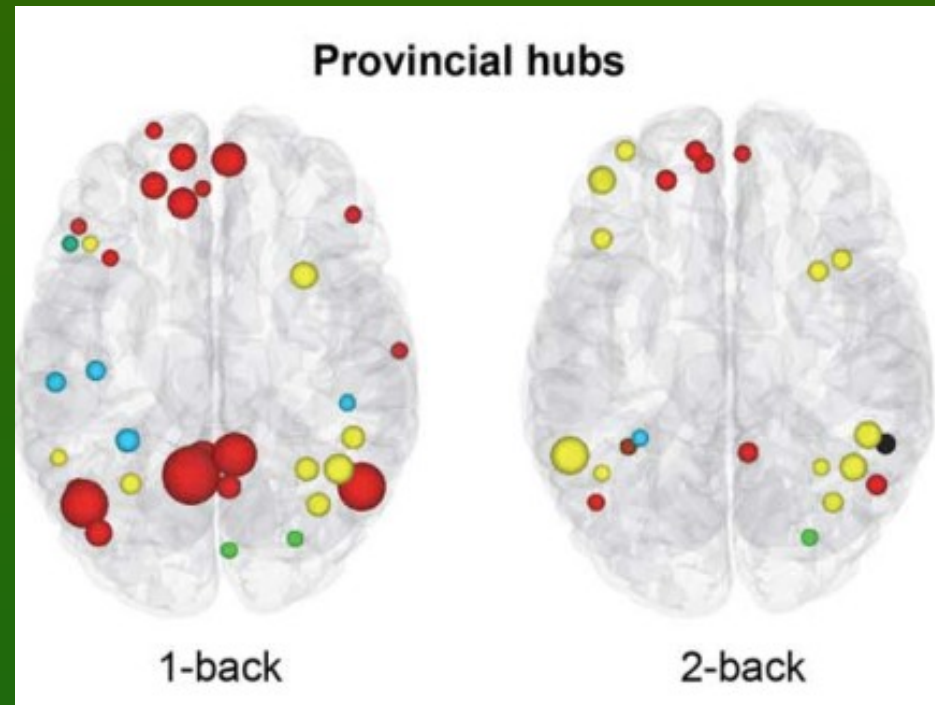
Proste i trudniejsze zadanie pokazuje jak zachodzi reorganizacja sieci całego mózgu, globalnych hubów.

Lewa: 1-back, łatwe zadanie

Prawa: 2-back, trudniejsze zadanie

Średnia dla 35 badanych.

Lokalne 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.



Finc K, Bonna K, Lewandowska M, Wolak T, Nikadon J, Dreszer J, Duch W, Kühn S. (2017)  
Transition of the functional brain network related to increasing cognitive demands.  
Human Brain Mapping 38(7), 3659–3674

# Modularność i procesy poznawcze

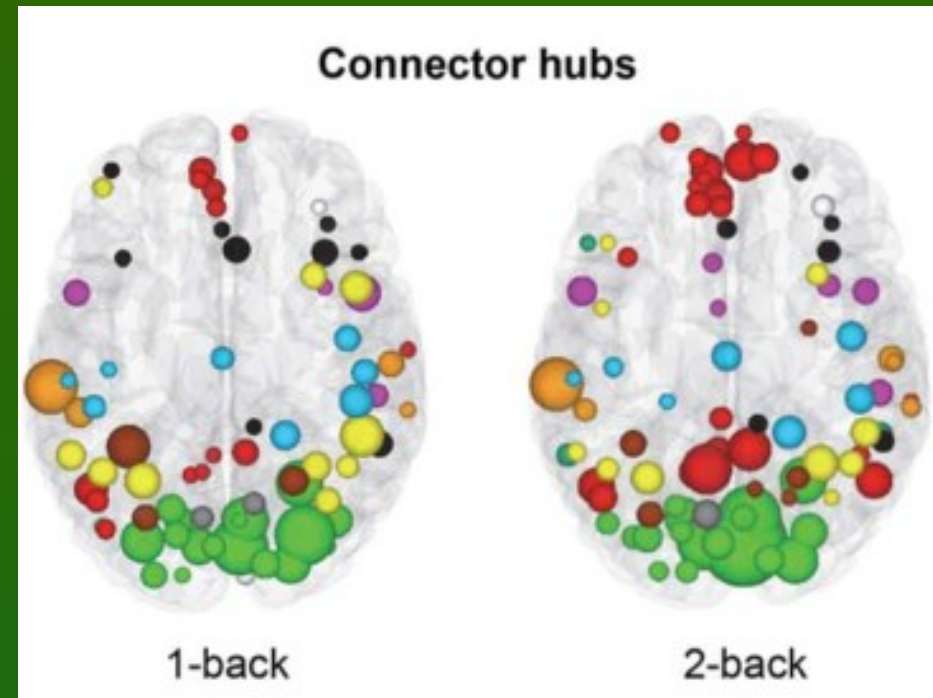
Proste i trudniejsze zadanie pokazuje jak zachodzi reorganizacja sieci całego mózgu, globalnych hubów.

Lewa: 1-back, łatwe zadanie

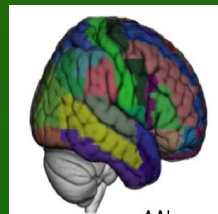
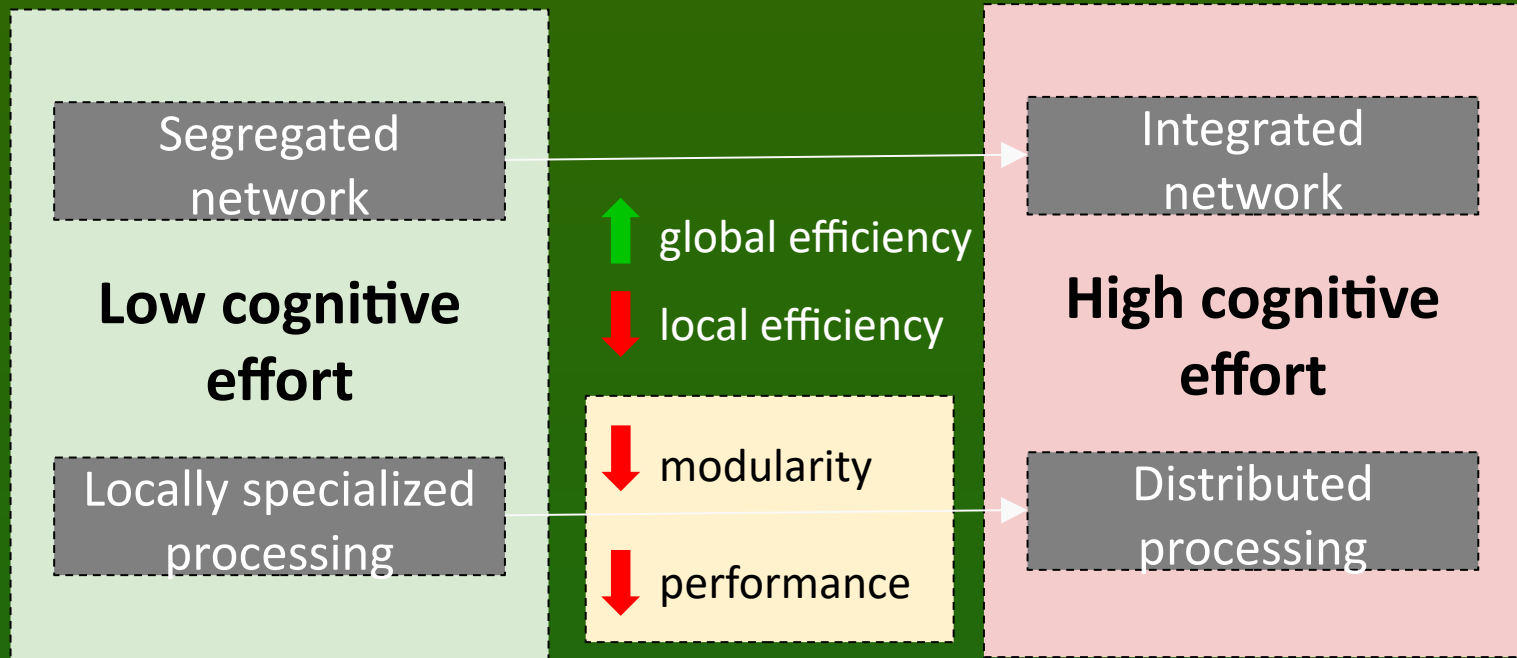
Prawa: 2-back, trudniejsze zadanie

Średnia dla 35 badanych.

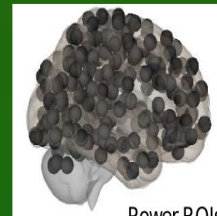
Globalne huby w DMN i PFC stają się bardziej aktywne gdy zadanie robi się trudne, część neuronów w tych obszarach tworzy nowe rozległe podsieci integrujące pracę mózgu.



# Trudność zadania

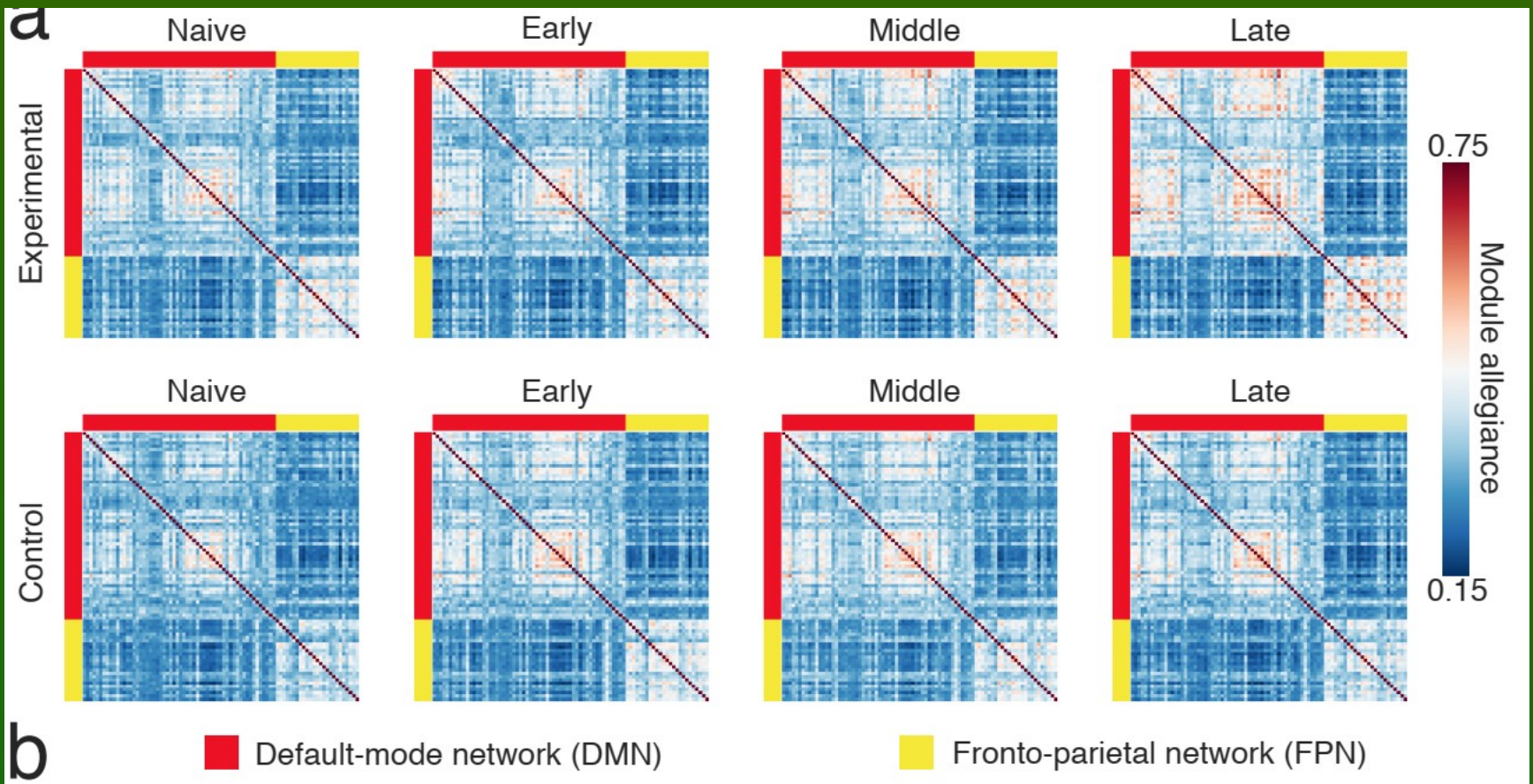


≠



Parcelacja na 264 regiony (sfery 10 mm) pokazuje sieci I zmiany bardziej precyzyjnie niż parcelacja na 90 regionów; tylko mała podgrupa neuronów w każdym ROI jest silnie skorelowana. Większy obszar = więcej szumu.

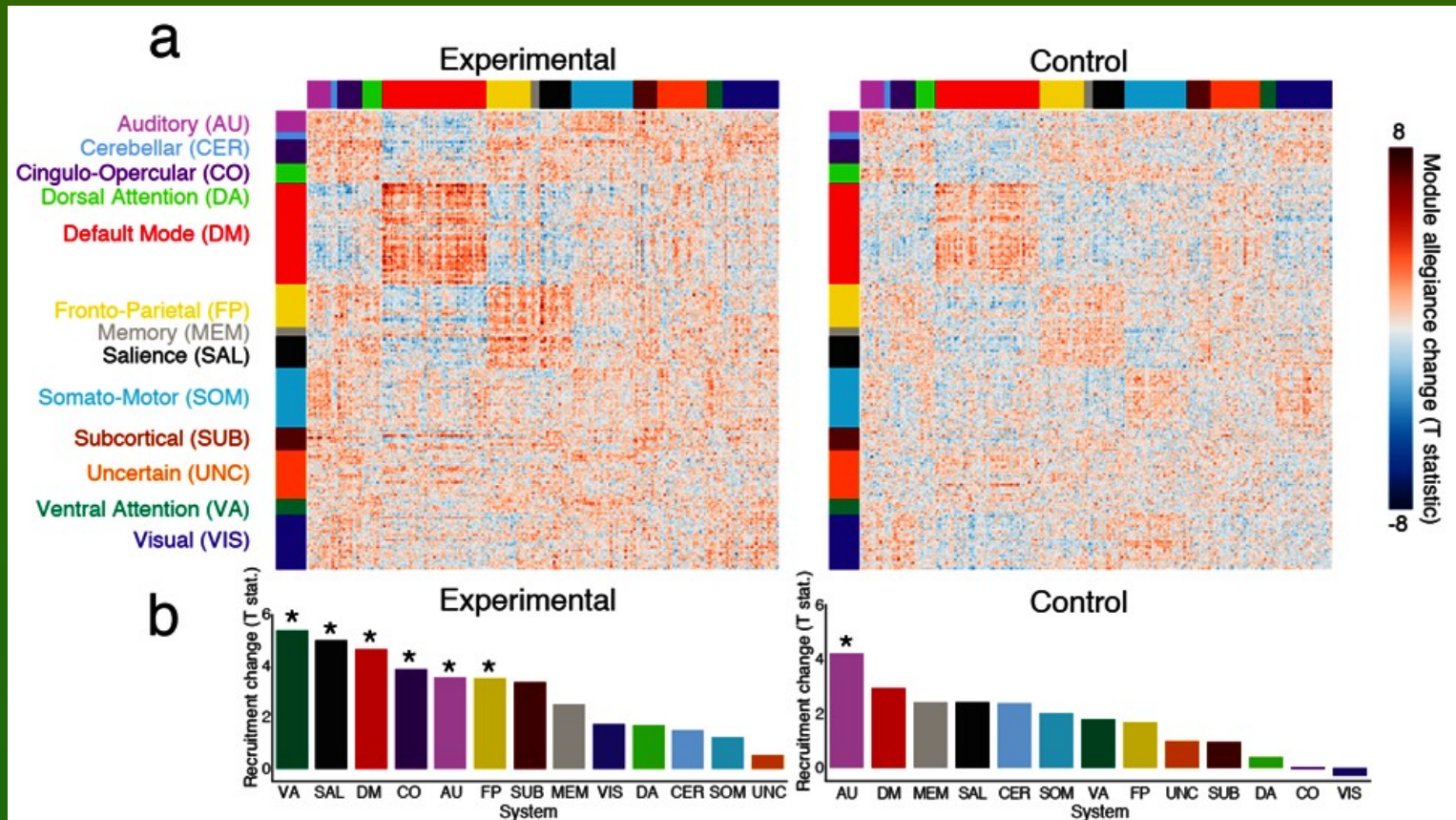
# Trening pamięci roboczej



Trening trwał 6 tygodni, podwójne zadanie n-back, na wykresach zmiany współczynnika przypisania do sieci FP i DMN, czyli prawdopodobieństwa, że para ROI (atlas Powera, 264 ROI) zostanie przypisana do tej samej sieci. Automatyzacja od świadomej do automatycznie wykonywanej czynności. Finc, Bonna, He, Lydon-Staley, Kühn, Duch, Bassett, Nature Communications (2020).



# Wpływ treningu na cały mózg



Zmiana rekrutacji ROI wewnątrz sieci i pomiędzy różnymi sieciami. Istotny wzrost rekrutacji modułów \* widać w sieciach DMN, FP, orientacji VA, istotności SAL, sieci obręczowo-wieczkowej (cingulo-opercular, CO) i sieci AU. K. Finc, K. Bonna, X. He, D. Lydon-Staley, S. Kühn, W. Duch & D.S. Bassett, Dynamic reconfiguration of functional brain network during working memory training. Nature Comm. 11, 2435, 2020

Neuroinformatyka

Jak psują się mózgi?

Jak naprawiać mózgi?

Sieci funkcjonalne

Jak zmieniają się mózgi?

**Jak mózgi podejmują decyzje?**

Symulacje neurodynamiki

Neurotechnologie

Perspektywy Neuroinformatyki

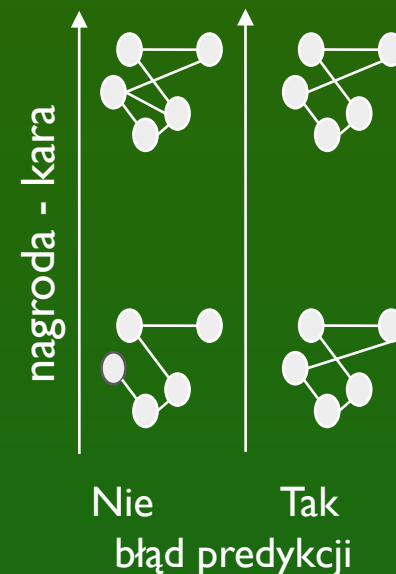
# DecideNet

Eksperyment (Kamil Bonna): w czasie sesji w skanerze fMRI (GE 3T) 32 osoby wykonywało zadanie znane jako *probabilistic reversal learning* (PRL), a po sesji testy Barratt Impulsiveness Scale BIS-11, oraz Specific Risk Taking Scale DOSPERT.

Maksymalizujemy zysk (nagroda, PE) lub minimalizujemy straty (kara)

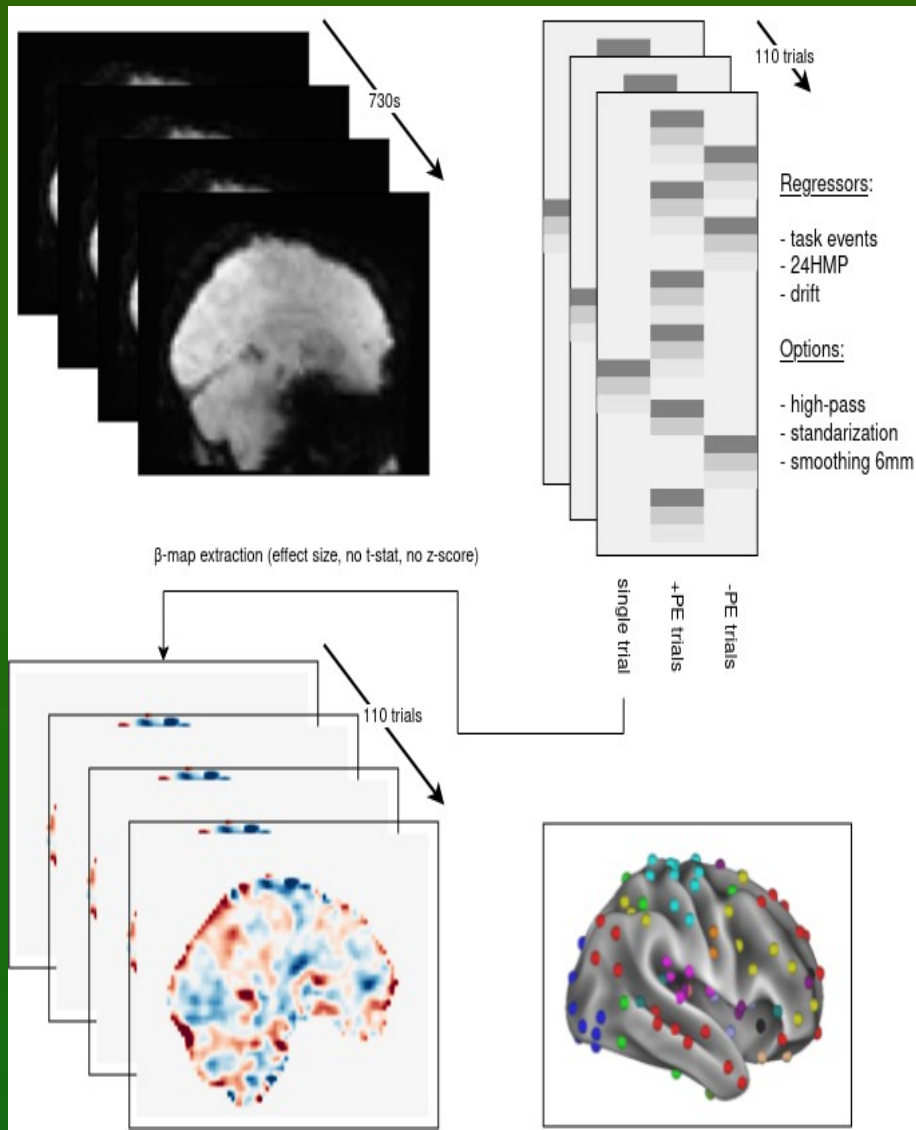
Pytania:

- 1) Czy organizacja funkcjonowania sieci w czasie uczenia się zależy od błędu predykcji w kontekście nagrody i kary?
- 2) Czy uda się w tym przypadku zauważyć zmiany w modularnej strukturze sieci?
- 3) Jakie sieci oddziałują z regionami należącymi do sieci predykcyjnych?

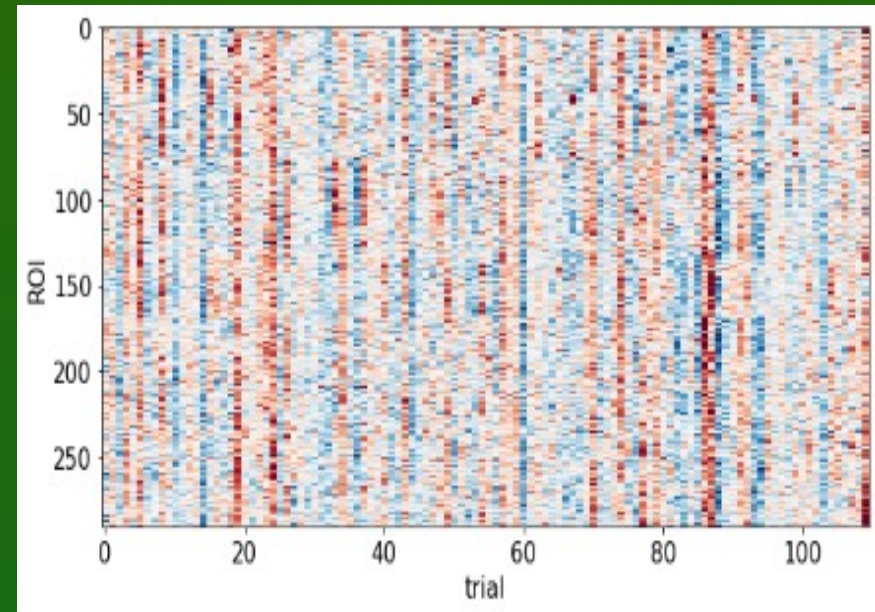


# Beta series correlation

Analiza funkcjonalnych połączeń powstających w czasie wykonywania zadań w skanerze fMRI w celu oceny wpływu zmiany funkcjonalnych połączeń na warunki eksperymentu.



Analiza wymaga wielu kroków:  
Atlas Powera z parcelacją na 264 ROI,  
dodano 30 nowych klastrów z meta-  
analizy, w sumie 272 ROI +15 sieci.  
Wiele korekt sygnału, progowanie i  
odszumianie, testy statystyczne.  
Wszystkie kroki są na Github.

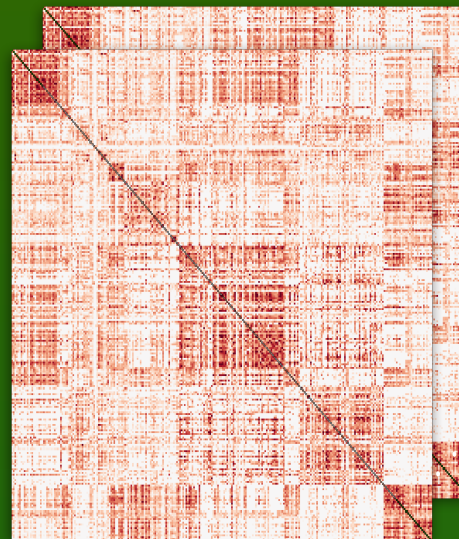
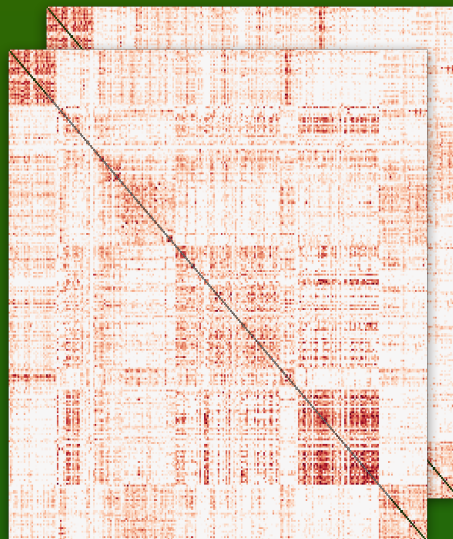


# 4 sytuacje

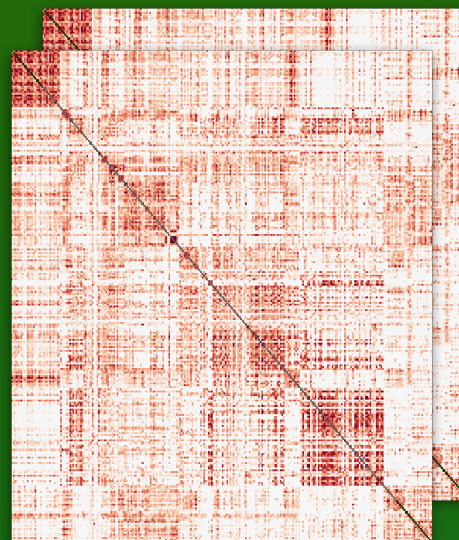
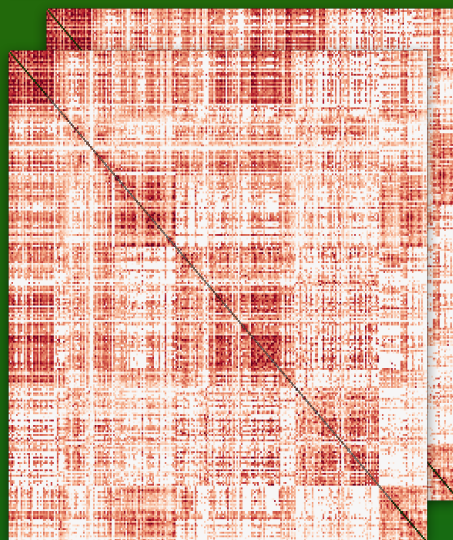
PE+

PE-

Zysk,  
Nagradzanie  
110 prób



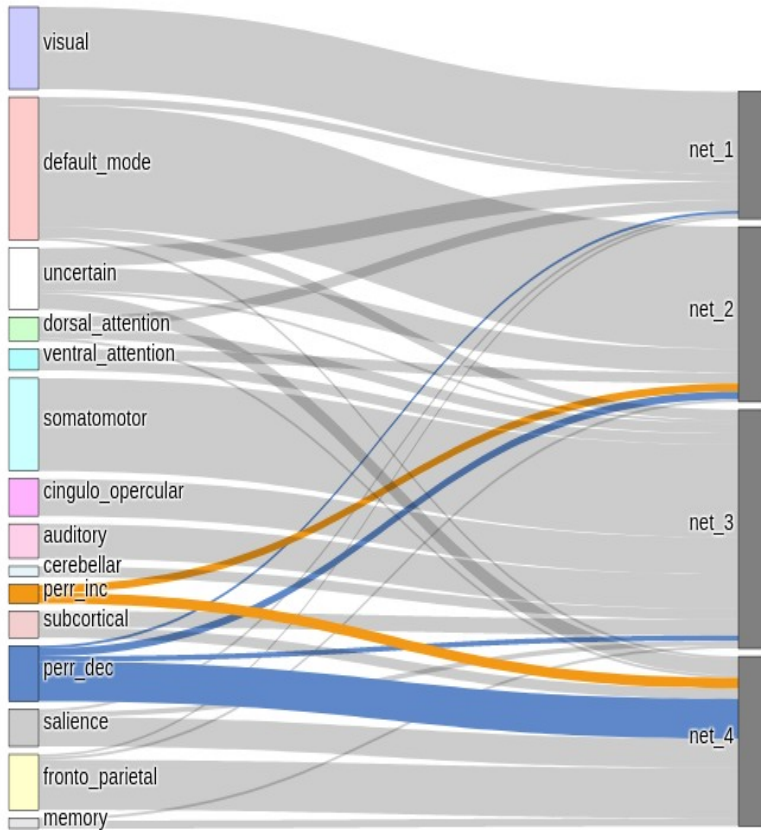
Strata,  
karanie



Badani  
(32)

# Sieci zaangażowane w decyzje

Networks



Cztery główne sieci rozległe LSNs:

- wzrokowa
- DMN
- somatosensoryczna
- zadaniowa
- ↗ PE network is part of
  - task network (57%)
  - DMN (43%)
- ↘ PE network is part of
  - task network (71%)
  - DMN (14%)

Neuroinformatyka

Jak psują się mózgi?

Jak naprawiać mózgi?

Sieci funkcjonalne

Jak zmieniają się mózgi?

Jak mózgi podejmują decyzje?

**Symulacje neurodynamiki**

Neurotechnologie

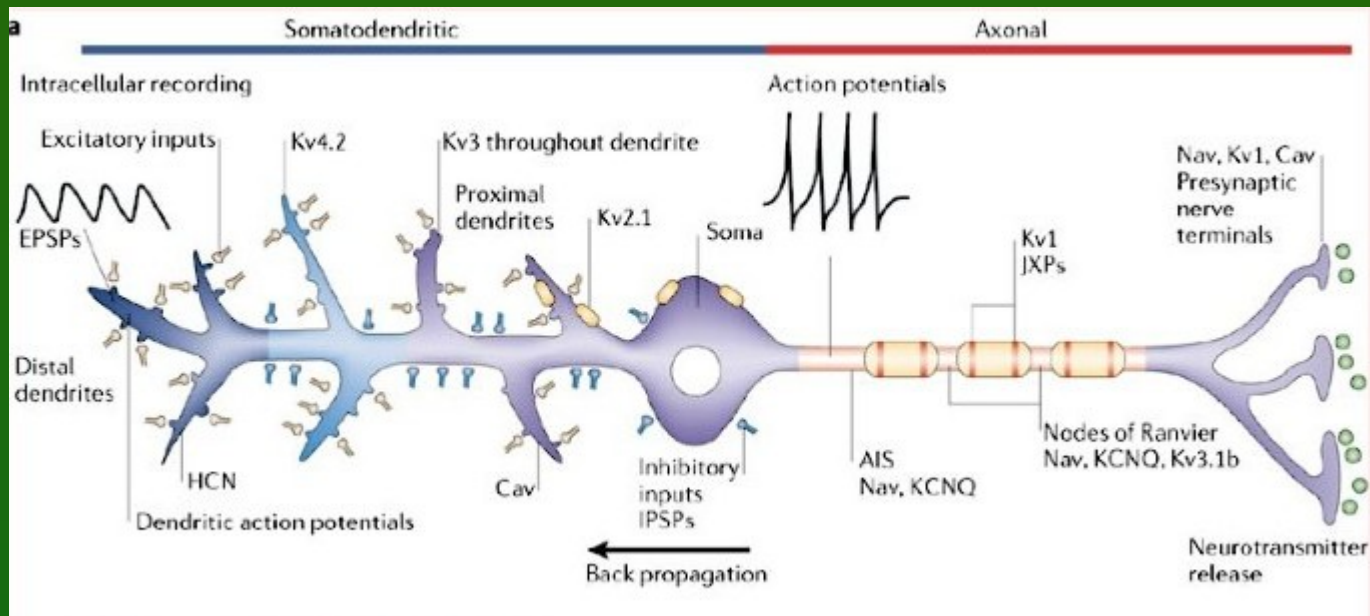
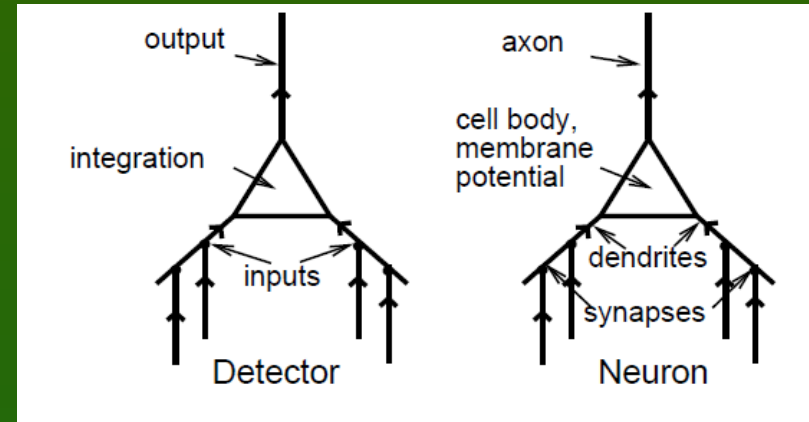
Perspektywy Neuroinformatyki

# Neurony

Najprostsza inspiracja: neurony (100 G) => funkcje progowe  $\sigma(W*X+\theta)$

Biologia: wiele rodzajów, kanałów jonowych, neurochemia, skomplikowana integracja czaso-przestrzenna, >10 K wejść ...

Szczegółowe biofizyczne modele neuronów potrzebne są by modelować wpływ leków, neurotransmitterów, zaburzenia psychiczne.





# Model czytania i dysleksji

Minimalny system pozwalający na eksperymenty na wysokim poziomie:

Aisa, B., Mingus, B., and O'Reilly, R. **The Emergent neural modeling system.** Neural Networks, 21, 1045, 2008

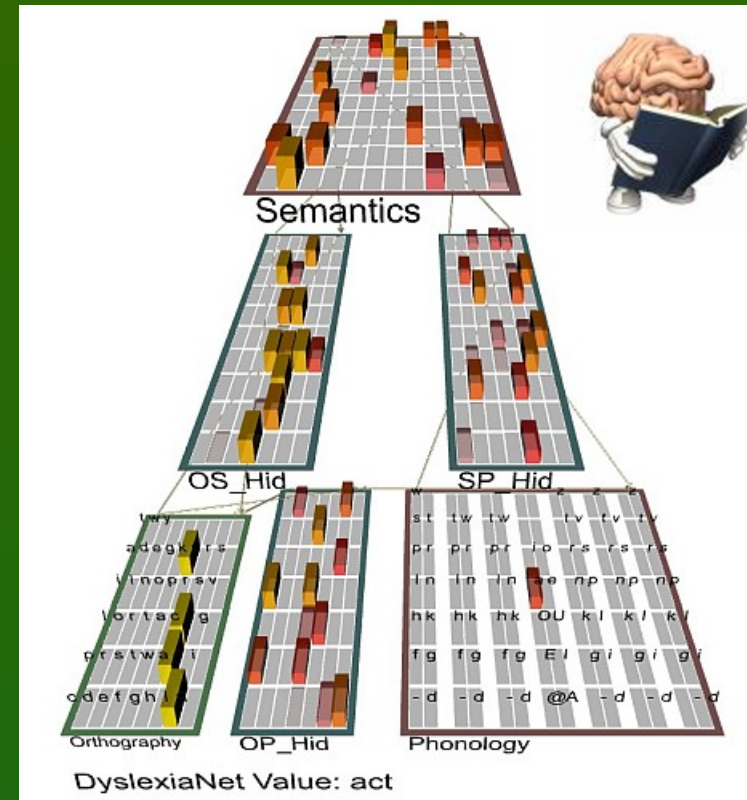
Model czytania uwzględnia ortografię, fonologię i semantykę, warstwę 140 el. Reprezentujących mikrocechy, której pobudzenia identyfikują jednoznacznie sens.

Uczenie korelacyjne i konkurencyjne.

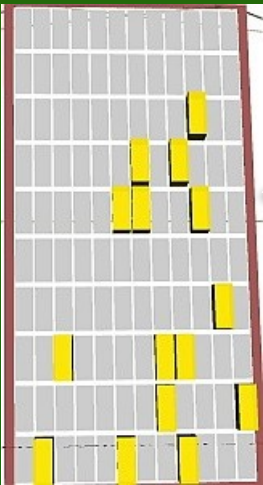
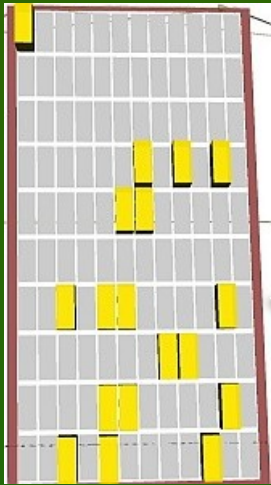
Uczenie: przypadkowy wybór jednej z 3 warstw (ortografia, fonologia, semantyka) jako wejścia, a pozostałych dwóch jako wyjścia.

Semantyka opisana jest przez mikrocechy  $\Leftrightarrow$  aktywację neuronu.

W mózgu mikrocechy to podsięci, a nie lokalne regiony.

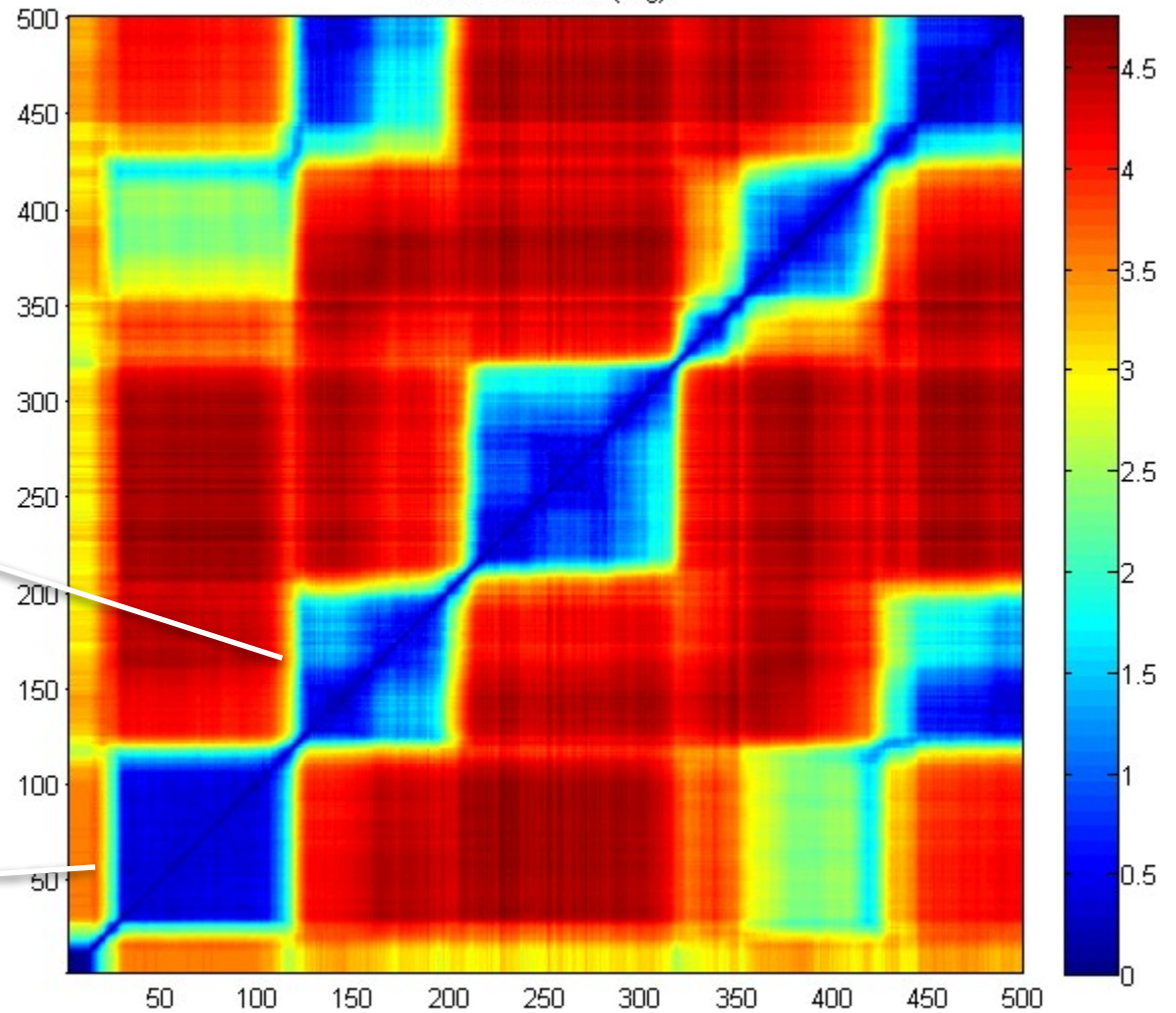


rope



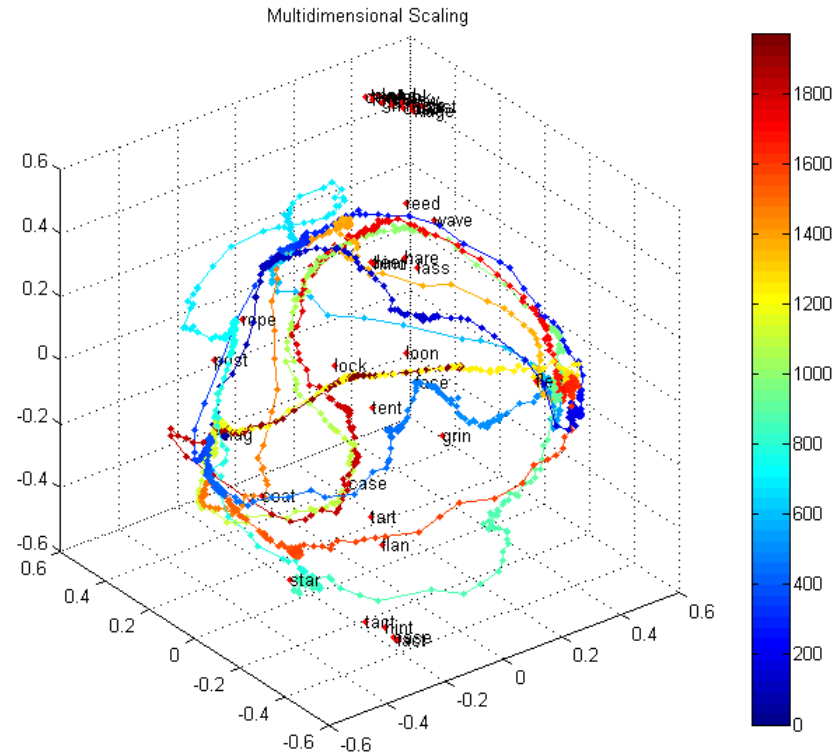
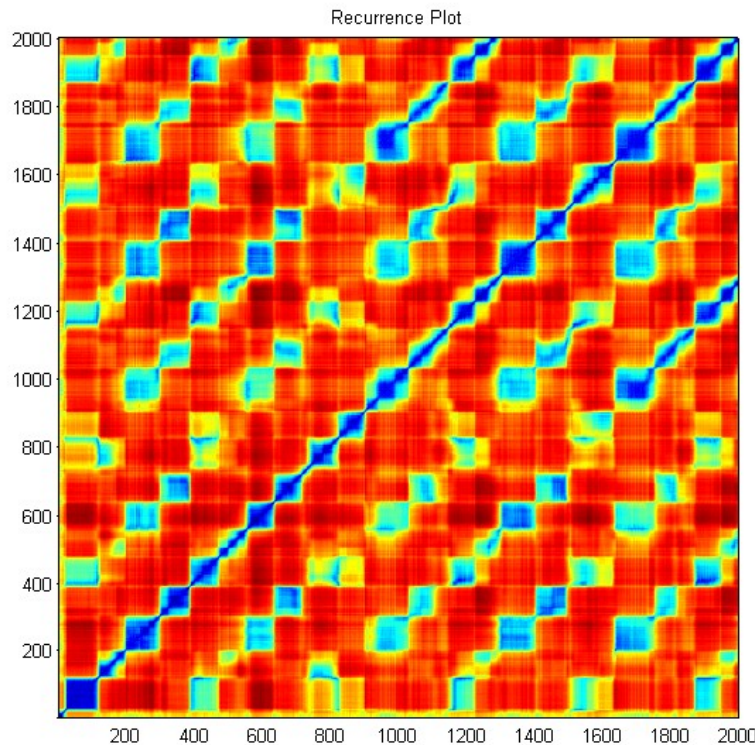
flag

Recurrence Plot (flag)



Mikrostany (~100 ms) i szybkie przejścia dzięki mechanizmowi WTA, pomiędzy stanami o nakrywających się aktywacjach.

# Wizualizacja trajektorii



Wykresy rekurencji i wizualizacja MDS/FSD/tSNE trajektorii aktywności mózgu. Dane z 140-wymiarowej aktywności warstwy semantycznej w czasie spontanicznej asocjacji w domenie 40-słów, zaczynając od “flag”.

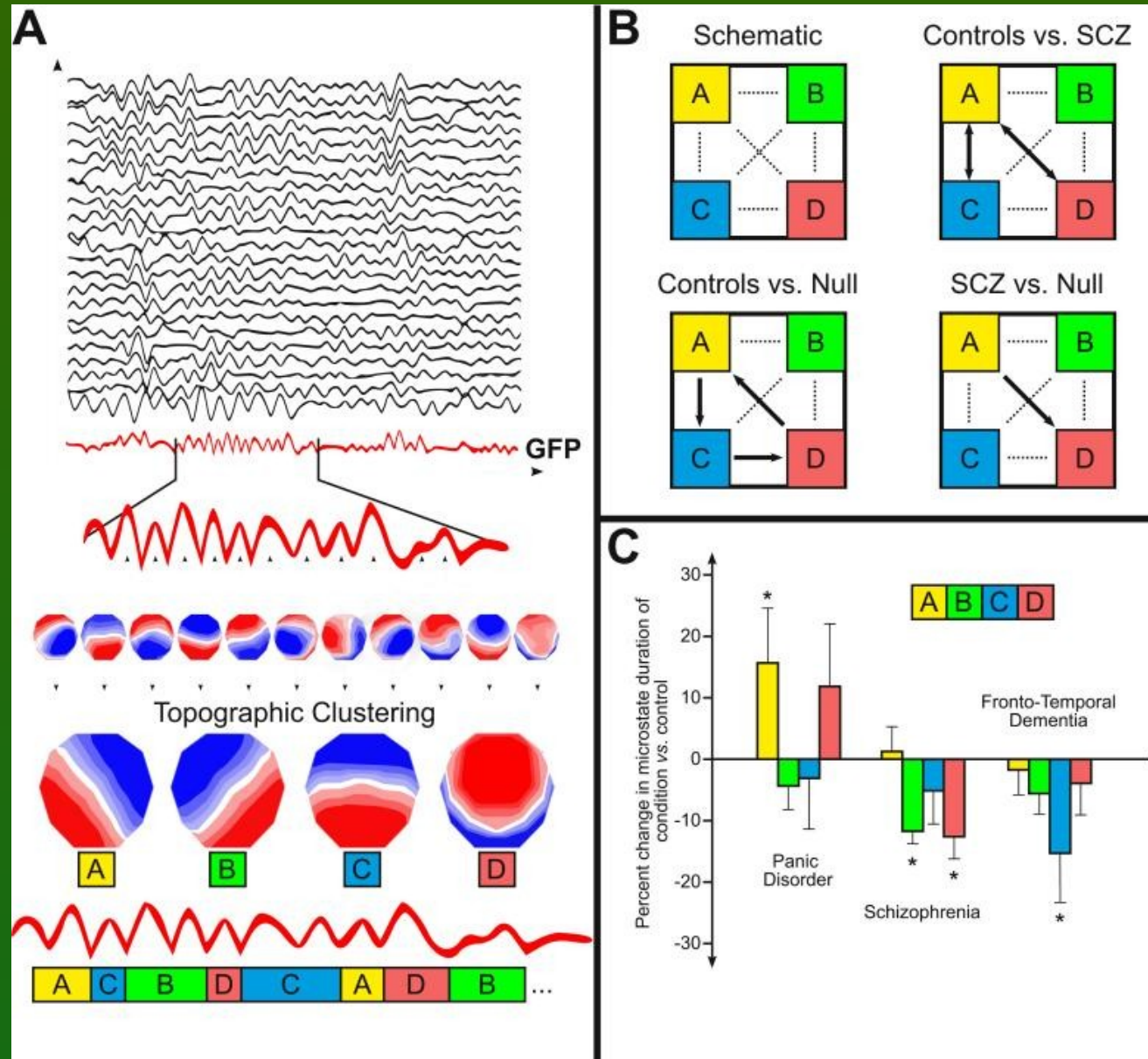
Nasz toolbox (K. Dobosz): <http://fizyka.umk.pl/~kdobosz/visertoolbox/>

# Mikrostany z EEG

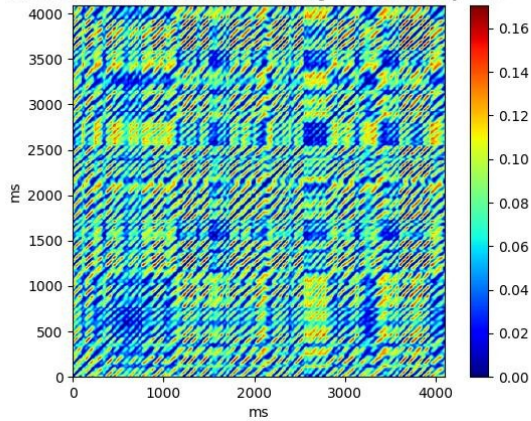
Lehmann et al.  
Mikrostany EEG u  
osób cierpiących na  
różne zaburzenia  
psychiczne.  
Psychiatry Research  
Neuroimaging, 2005

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

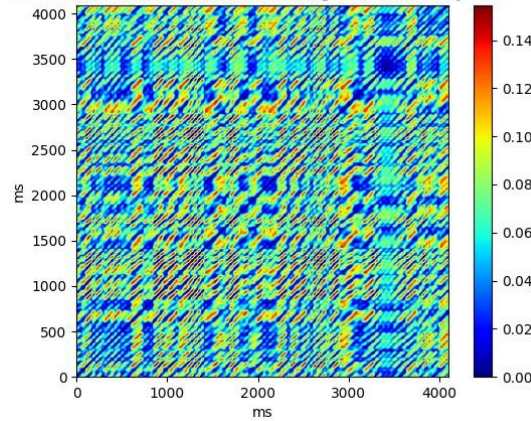
Symboliczna  
dynamika.



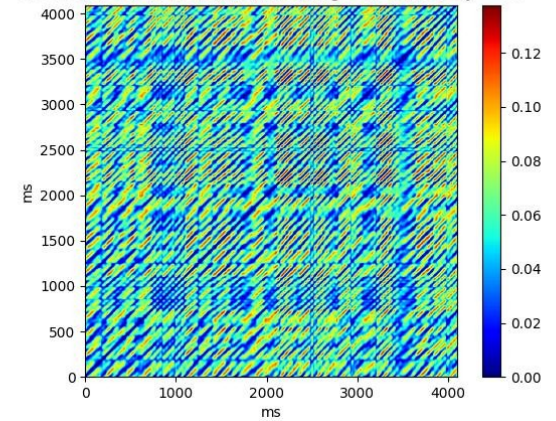
Electrode: F5, theta band, embedding = 4, time delay = 25



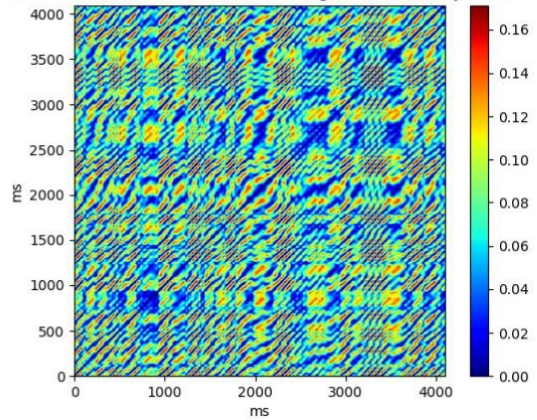
Electrode: F6, theta band, embedding = 4, time delay = 25



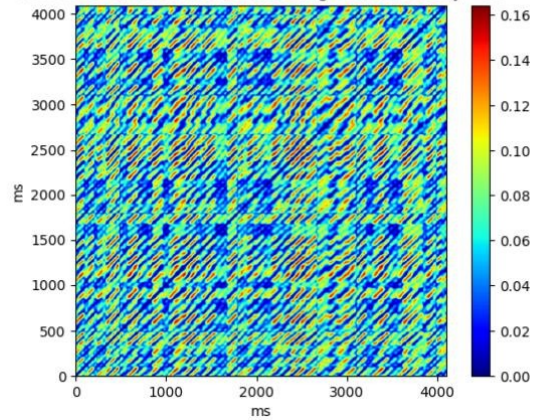
Electrode: C6, theta band, embedding = 5, time delay = 25



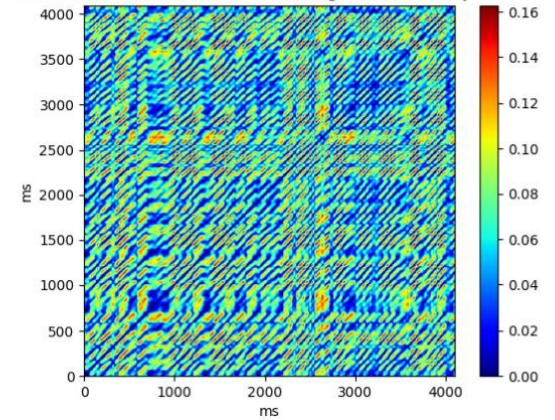
Electrode: C5, theta band, embedding = 4, time delay = 24



Electrode: Fz, theta band, embedding = 4, time delay = 25



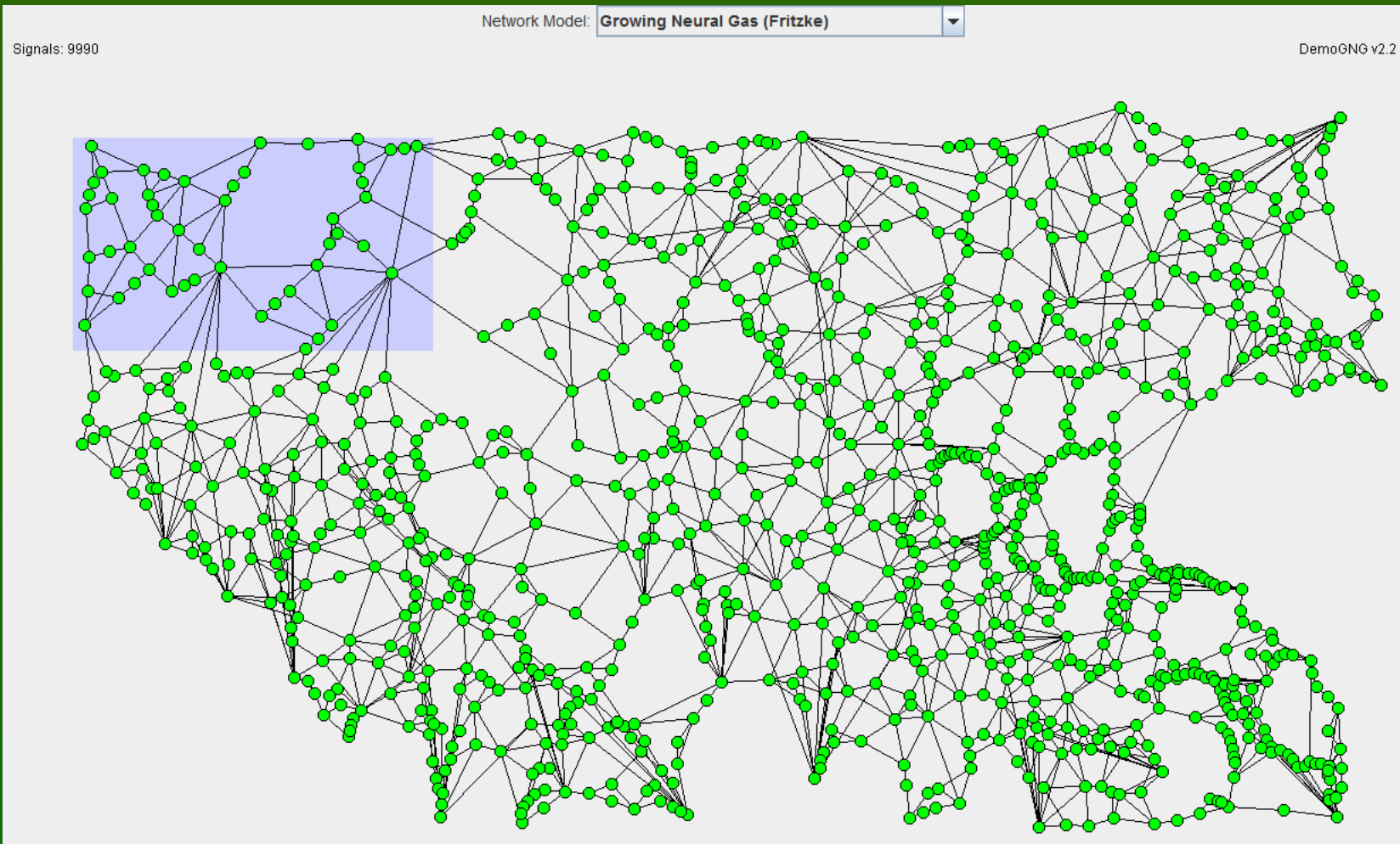
Electrode: Cz, theta band, embedding = 4, time delay = 24



EEG z eksperymentów w których szukamy korelacji złożoności i nieliniowych parametrów sygnału spoczynkowego z inteligencją i pamięcią roboczą. Sygnały z 6 elektrod, pasmo teta, rekonstrukcja atraktorów przez embedding:  $[y(t), y(t-\tau), y(t-2\tau), \dots, y(t-n\tau)]$ . Widać metastabilne stany, baseny atrakcji (S. Duda, K. Tołpa).

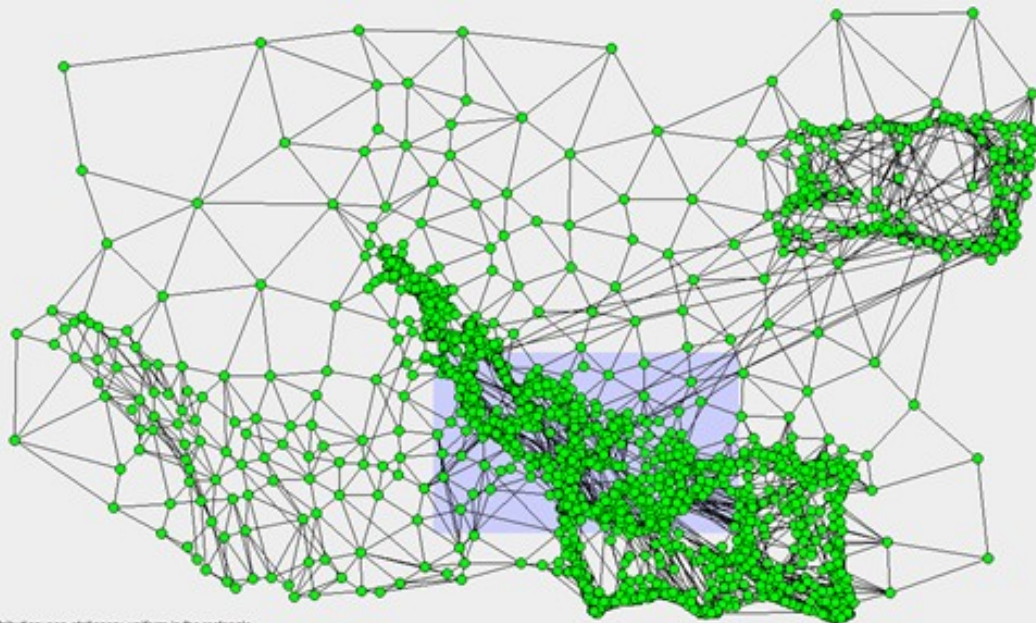
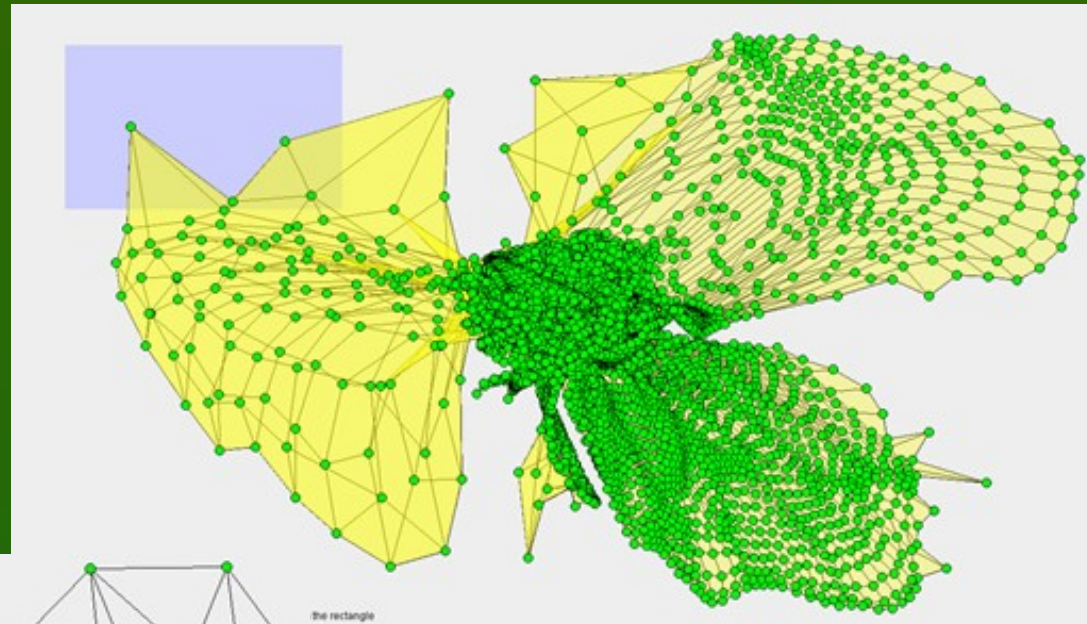
# Neuroplastyczność

Tworzy się siatka pojęciowa, każdy węzeł = mikrostan, pomiędzy nimi są szybkie przejścia, niektóre stany pobudzają ośrodki ruchu i mowy. Siatka pojęciowa nie odwzorowuje obiektywnie stanów środowiska. Model GNG.



# Memoidy ...

Czas poświęcić się Wielkiej Sprawie. Nie tylko teorie spiskowe ale też całkowicie zniekształcony obraz świata wynikający z prania mózgu. Model GNG.



WD: Memetics and Neural Models of Conspiracy Theories  
[arXiv:1508.04561](https://arxiv.org/abs/1508.04561)

Neuroinformatyka

Jak psują się mózgi?

Jak naprawiać mózgi?

Sieci funkcjonalne

Jak zmieniają się mózgi?

Jak mózgi podejmują decyzje?

Symulacje neurodynamiki

**Neurotechnologie**

Perspektywy Neuroinformatyki



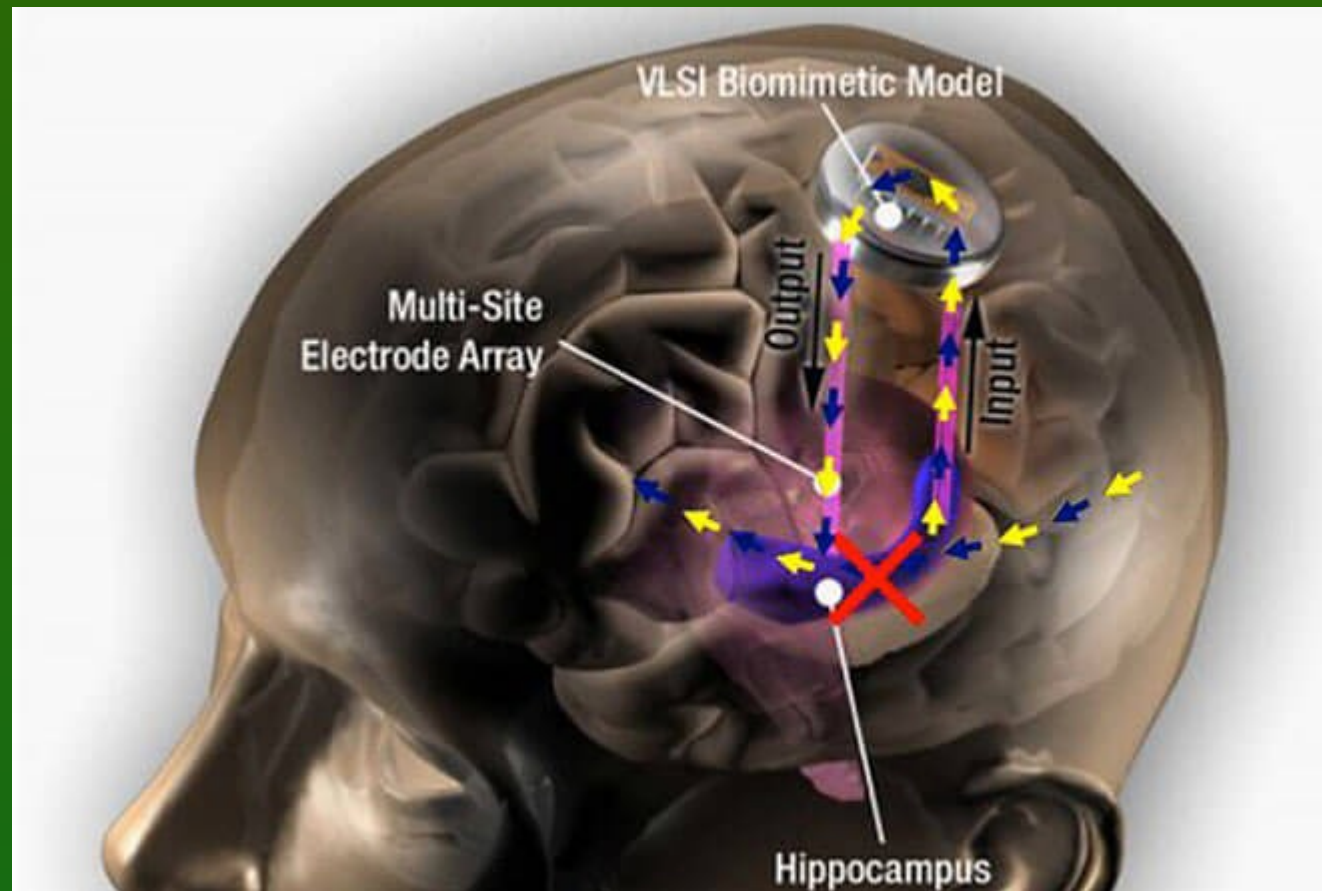
# Implanty pamięci

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.

Komercyjny **stymulator RNS** dla hamowania padaczki.



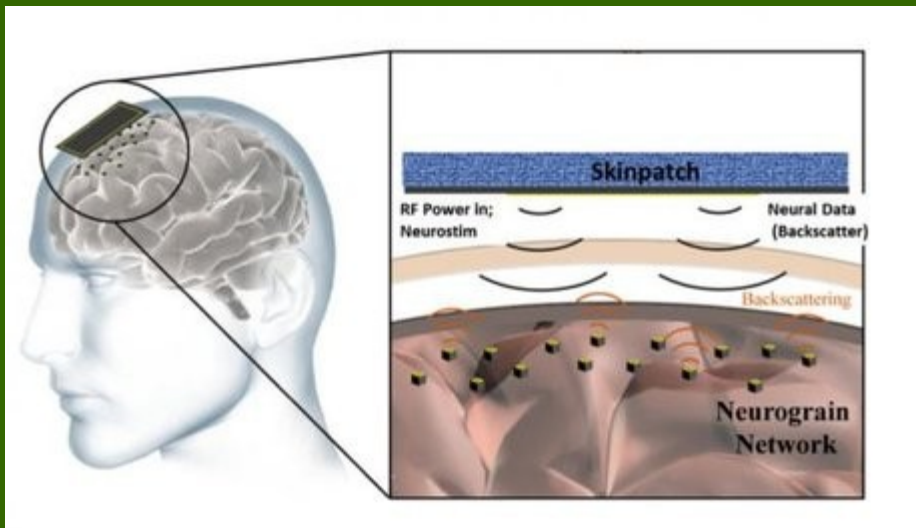
# Miliony nanodrutów w mózgu?

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

Wymagania: czytanie impulsów z  $10^6$  neuronów, pobudzenie  $10^5$  neuronów.

Projekt DARPA [Electrical Prescriptions \(ElectRx\)](#) ma umożliwić “modulację nerwów peryferyjnych by powstały zdrowe wzorce pobudzeń w sieciach neuronowych. Urządzenia ElectRx i rozwijane obecnie systemy terapeutyczne wchodzi w fazę badań klinicznych.”

Neural lace i neural dust – projekty Elona Muska stymulacji kory.



neural  
lace  
*ultra-thin  
mesh*



# Perspektywy Neuroinformatyki

---

# Perspektywy



- Mózg da się zrozumieć ...
- Wymaga to współpracy informatyków, fizyków, neurobiologów, kognitywistów, psychologów ...
- Imitacja może nas daleko zaprowadzić, ale czy AI możliwa jest bez mózgu?
- Kluczem jest neurodynamika sieci funkcjonalnych na konektomach.
- Diagnoza, terapia, naprawa i optymalizacja mózgów jest możliwa.
- Neuroobrazowanie  $\Leftrightarrow$  modele całego mózgu (TVB)  $\Leftrightarrow$  grafy sieciowe  $\Leftrightarrow$  modele mentalne, pokazują jak powiązać stany mózgu  $\Leftrightarrow$  stany umysłu.
- To co wczoraj było fantazją jutro stanie się codziennością.
- Technologie neurokognitywne głęboko zmieniają człowieka.

IMPROVING HUMAN DAILY LIFE FUNCTIONING

# NEUROHACKATOR 2021

21. - 23.  
MAY 2021 //  
ONLINE

## SATURDAY

Project  
development  
in groups



STARTS  
10 a.m.

## SUNDAY

Evaluation



ENDS  
10 a.m.

## FRIDAY

Organisers  
presentation



workshops  
with Judges

←----- working 24h -----→

## REQUIREMENTS:

1. Create a team consisting of **3-5 people**.
2. Fill in the Registration Form (available on Facebook event).

DO YOU HAVE ANY QUESTIONS?

Write an e-mail:  
[NEUROTECHTOR@GMAIL.COM](mailto:NEUROTECHTOR@GMAIL.COM)

**Neurotechnology Scientific Club**  
Center for Modern Interdisciplinary Technologies  
at Nicolaus Copernicus University in Toruń  
Wileńska 4 Street

# W stronę inteligencji

**IEEE** Computational Intelligence Society Task Force (J. Mandziuk & W. Duch),  
**Towards Human-like Intelligence**



**IEEE SSCI CIHLI 2021** Symposium on Computational Intelligence for Human-like Intelligence, Orlando, FL, USA.

**AGI** conference, Journal of Artificial General Intelligence comments on Cognitive Architectures and Autonomy: A Comparative Review (eds. Tan, Franklin, Duch).

**BICA** Annual International Conf. on Biologically Inspired Cognitive Architectures, 11th Annual Meeting of the BICA Society, Natal, Brazil, 2020.

**Brain-Mind Institute Schools** International Conference on Brain-Mind (ICBM) and Brain-Mind Magazine (Juyang Weng, Michigan SU).

# In search of the sources of brain's cognitive activity

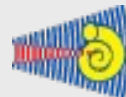
Project „Symfonia”, NCN, Kraków, 18.07.2016



FACULTY OF PHYSICS,  
ASTRONOMY AND INFORMATICS



CENTRE FOR MODERN  
INTERDISCIPLINARY  
TECHNOLOGIES



INSTITUTE OF PHYSIOLOGY  
AND PATHOLOGY OF HEARING



nencki institute  
of experimental biology

# Nasi neuro-kog-fanatycy

Prawdziwie interdyscyplinarna grupa: kognytywiści, infromatycy, inżynierzy, matematycy, neurobiolodzy, fizycy, psychologdy, filozofowie.



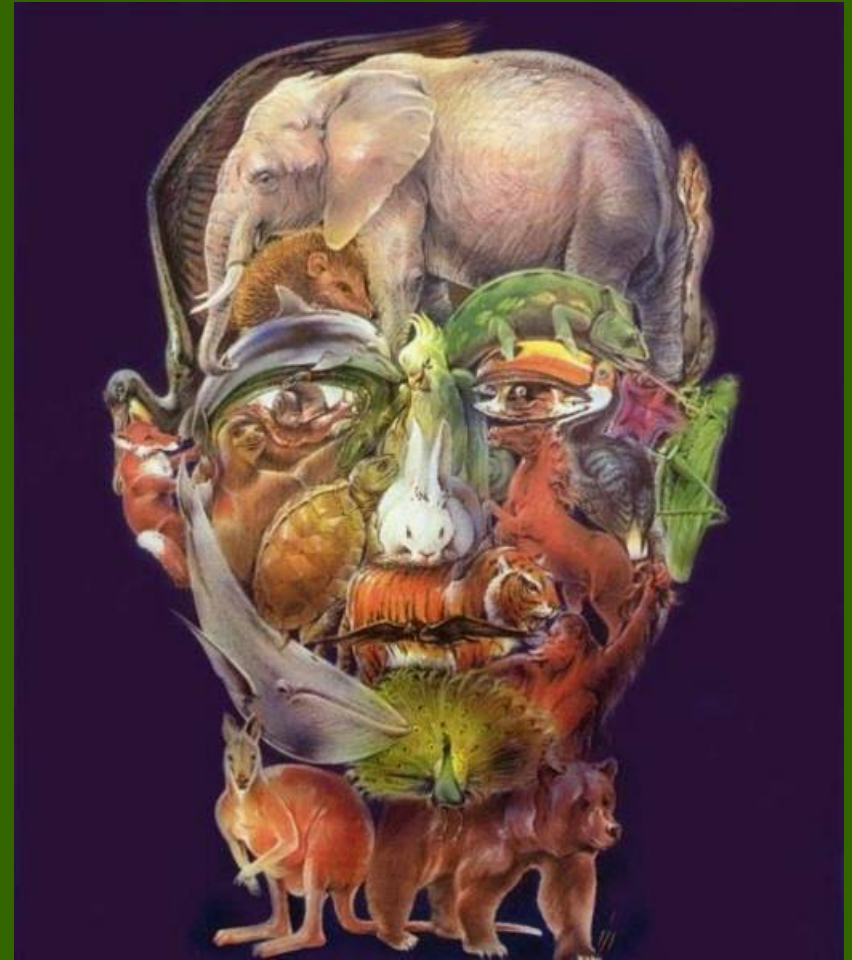


# Publikacje 2020



- Duch. W. (2020) IDyOT architecture – is this how minds operate? **Physics of Life Reviews** (IF 13.8)
- Rykaczewski, K, Nikadon, J, Duch, W, Piotrowski, T. (2020). SupFunSim: spatial filtering toolbox for EEG. **Neuroinformatics** (IF 5.1).
- Finc, K, Bonna, K, He, X, Lydon-Staley, D.M, Kühn, S, Duch, W, & Bassett, D. S. (2020). Dynamic reconfiguration of functional brain networks during working memory training. **Nature Communications** 11, 2435 (IF 11.8)
- Dreszer J, Grochowski M, Lewandowska M, Nikadon J, Gorgol J, Bałaj B, Finc K, Duch W, Kałamała P, Chuderski A, Piotrowski T. (2020). Spatiotemporal Complexity Patterns of Resting-state Bioelectrical Activity Explain Fluid Intelligence: Sex Matters. **Human Brain Mapping** (IF 4.5)
- Bonna, K, Finc, K, ... Duch, W, Marchewka, A, Jednoróg, K, Szwed, M. (2020). Early deafness leads to re-shaping of global functional connectivity beyond the auditory cortex. **Brain Imaging and Behaviour**, 1-14 (IF 3.6).
- Duch W, Mikołajewski D. (2020) Modelling effects of consciousness disorders in brainstem computational model – Preliminary findings. **Bio-Algorithms and Med-Systems** 16(2).

# Inteligencja?



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