



Neurodynamika i reprezentacje umysłowe

Włodzisław Duch

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

Google: Wlodzislaw Duch

Tydzień Mózgu, UMCS, 16.03.2021

Fizyka i umysł

Problem psychofizyczny: jak powiązać konstrukty psychologiczne z fizyczną rzeczywistością?

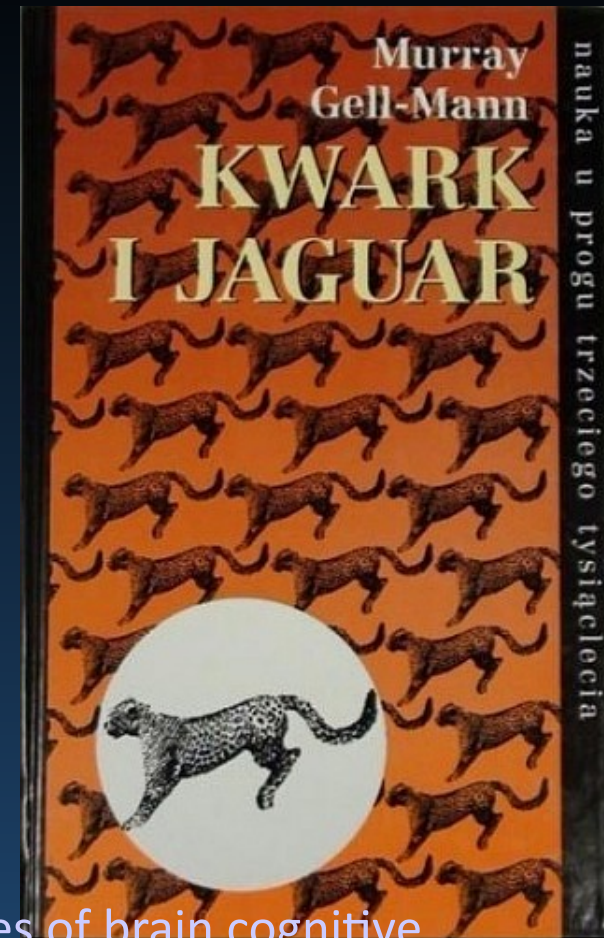
- Neurodynamika i psychodynamika.
- Symulacje komputerowe sieci atraktorowych => psychologiczne konstrukty.
- Neuroobrazowanie i EEG.
- Ślady (fingerprints) umysłu w aktywności mózgu.

Duch W. (2012) Mind-Brain Relations, Geometric Perspective and Neurophenomenology, American Philosophical Association Newsletter 12(1), 1-7.

Duch W. (2018), [Kurt Lewin, psychological constructs and sources of brain cognitive activity](#). Polish Psychological Forum 23(1), 5-19.

Duch. W. (2019) Mind as a shadow of neurodynamics. [Physics of Life Reviews](#), Special Issue "Physics of mind", Ed. F. Schoeller.

Duch. W. (2020) [Experiential Learning Styles and Neurocognitive Phenomics](#). PsyArXiv. August 30, 2020. [q-bio.NC ArXiv. January 12, 2021](#).



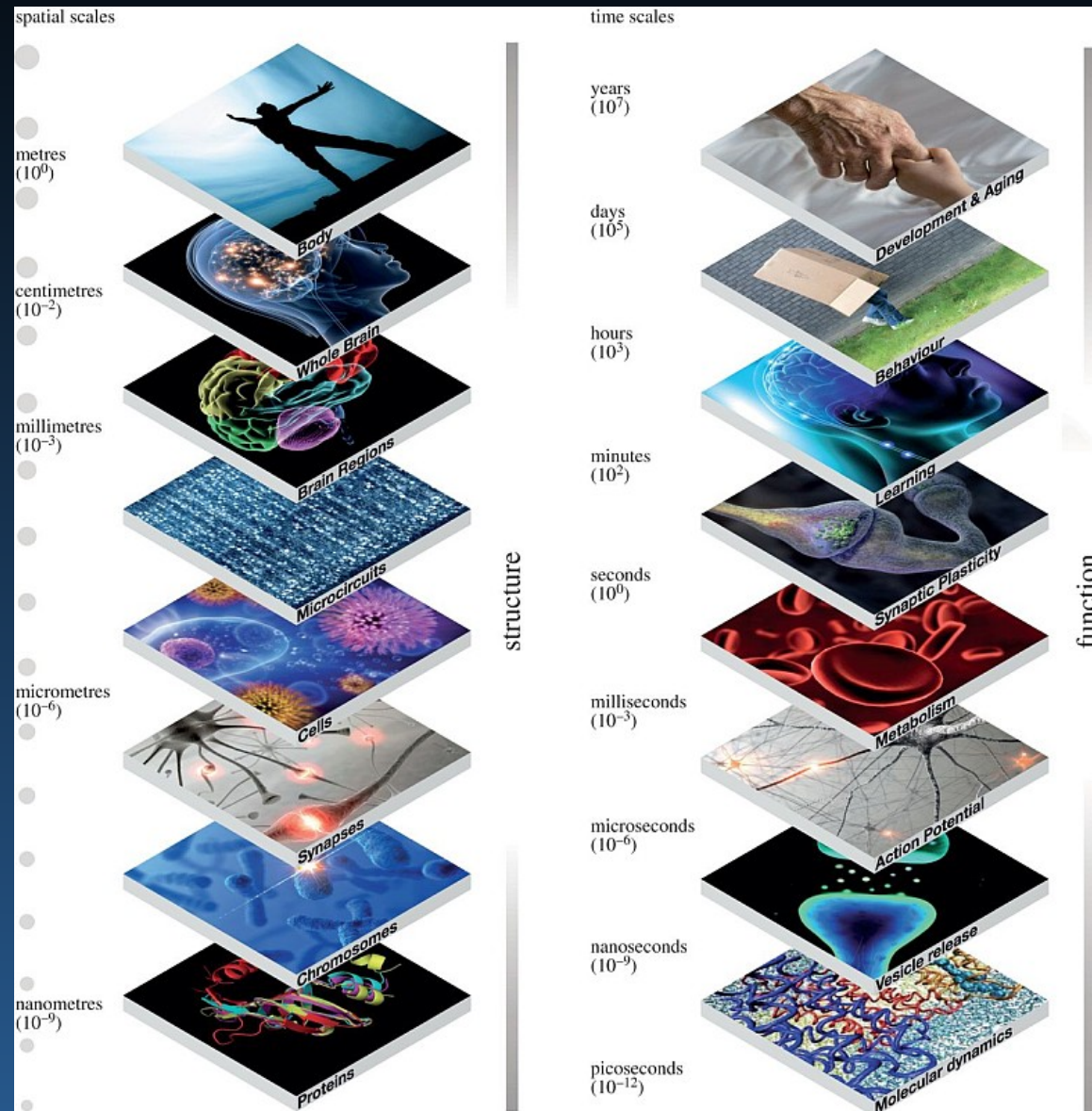
Fenomika neuropsychiatryczna

2008: The Consortium for Neuropsychiatric Phenomics

Od genów do sieci neuronów do mechanizmów poznawczych i do ich zaburzeń.

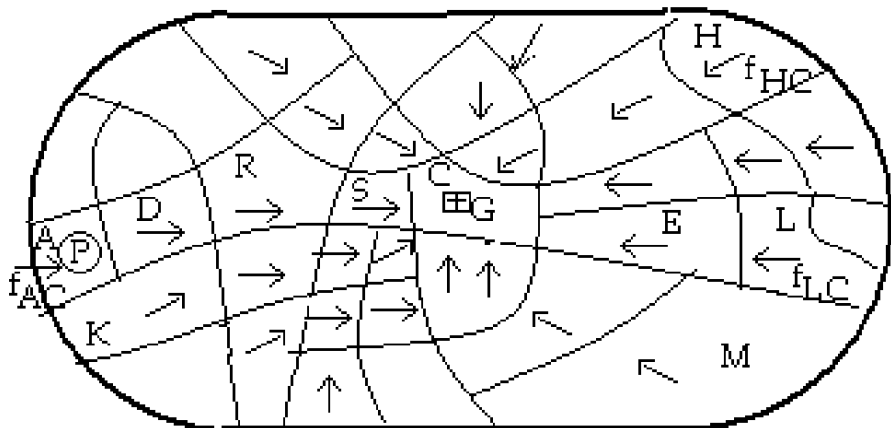
Wyjaśnienia na wielu poziomach, skale czasowe od pikosekund do lat, rozmiary od nanometrów do metra – RDOC NIMH.

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



Siły psychologiczne Kurta Lewina

Fig. 5. "Positive central force field corresponding to a positive valence ($V_a > 0$)" (Lewin, fig. 33)



Field Theory in
Social Science:
Selected
Theoretical Papers

Lewin, Kurt

"G, region of a positive valence ($V_a(G) > 0$), located in C; P, person; the forces $f_{A,C}$, $f_{H,C}$, or $f_{L,C}$ correspond to $V_a(G)$ in case P is located at A, H, or L, respectively; $f_{X,Y} = f_{X,G}$."

Kurt Lewin, ojciec psychologii społecznej, analizował interakcje pomiędzy ludźmi i ich środowiskiem, zainspirowany teorią pola.

Przejścia pomiędzy stanami mentalnymi to wynik działania sił psychologicznych.

Rejony pozytywnej walencji to baseny atrakcji neurodynamiki.

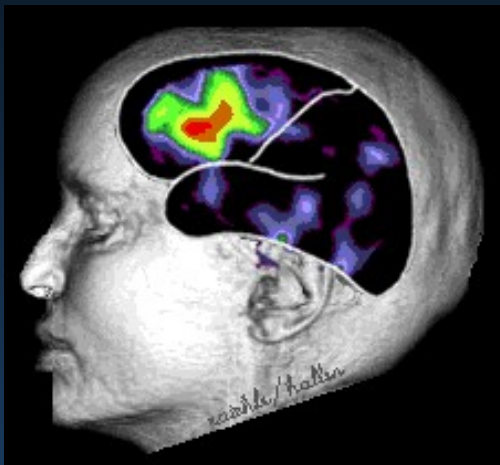
Książki K. Lewina: *Principles of Topological Psychology* (1936);

Conceptual Representation & Measurement of Psychological Forces (1938);

Field Theory in Social Science (1951).

Stany mózgu ↔ zdarzenia mentalne

Jak powiązać konstrukty psychologiczne i subiektywne wrażenia z tym co obiektywne i mierzalne? Emergencja kontekstowa, czyli analiza fizycznych procesów w kontekście zdarzeń mentalnych.



Stan(Mózg) ↔ Stan(Umysł)

Neurodynamika ↔ Psychodynamika



1. Od komputerowych symulacji neurodynamiki do stanów mentalnych.
2. Od neuroobrazowania do stanów mentalnych.
Metafora: **umysł to cień neurodynamiki.**

Aktywność neuronalna ↔ trajektorie w przestrzeniach psychologicznych.

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

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

E. Schwitzgabel, Perplexities of consciousness MIT Press 2011.

Geometryczny model mózg-umysł

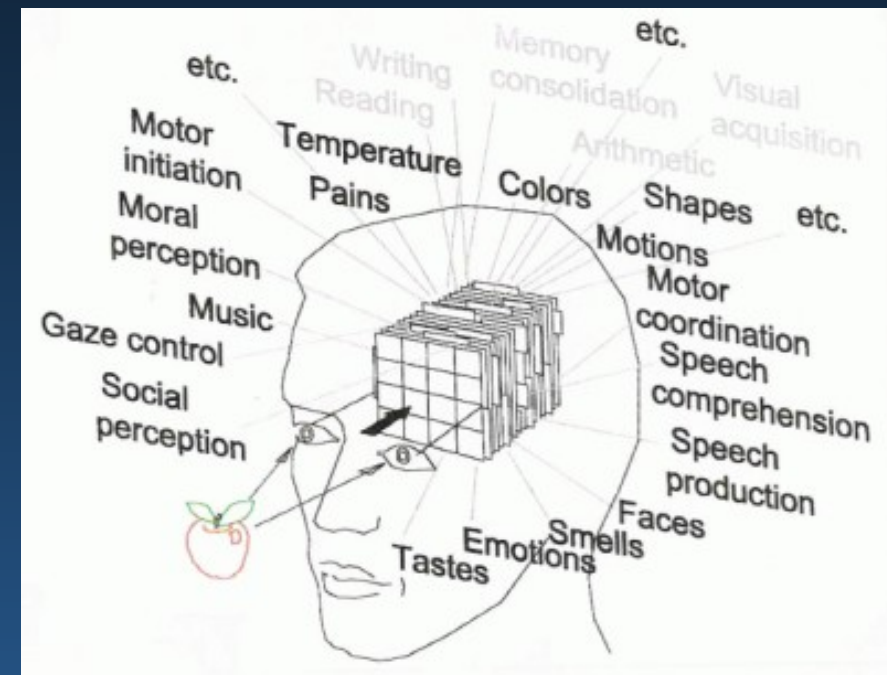
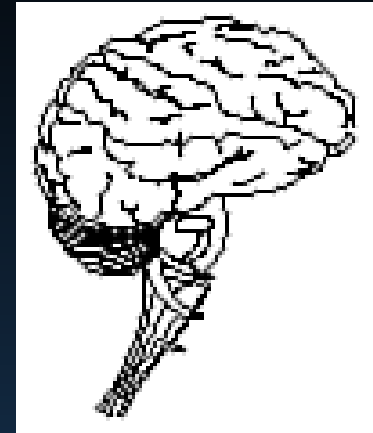
Neurodynamika: aktywność neuronalna mózgu mierzona za pomocą EEG, MEG, NIRS-OT, PET, fMRI i innych technik.

Mapowanie $S(M) \leftrightarrow S(U)$.

Jak opisać stan umysłu, psychodynamikę?

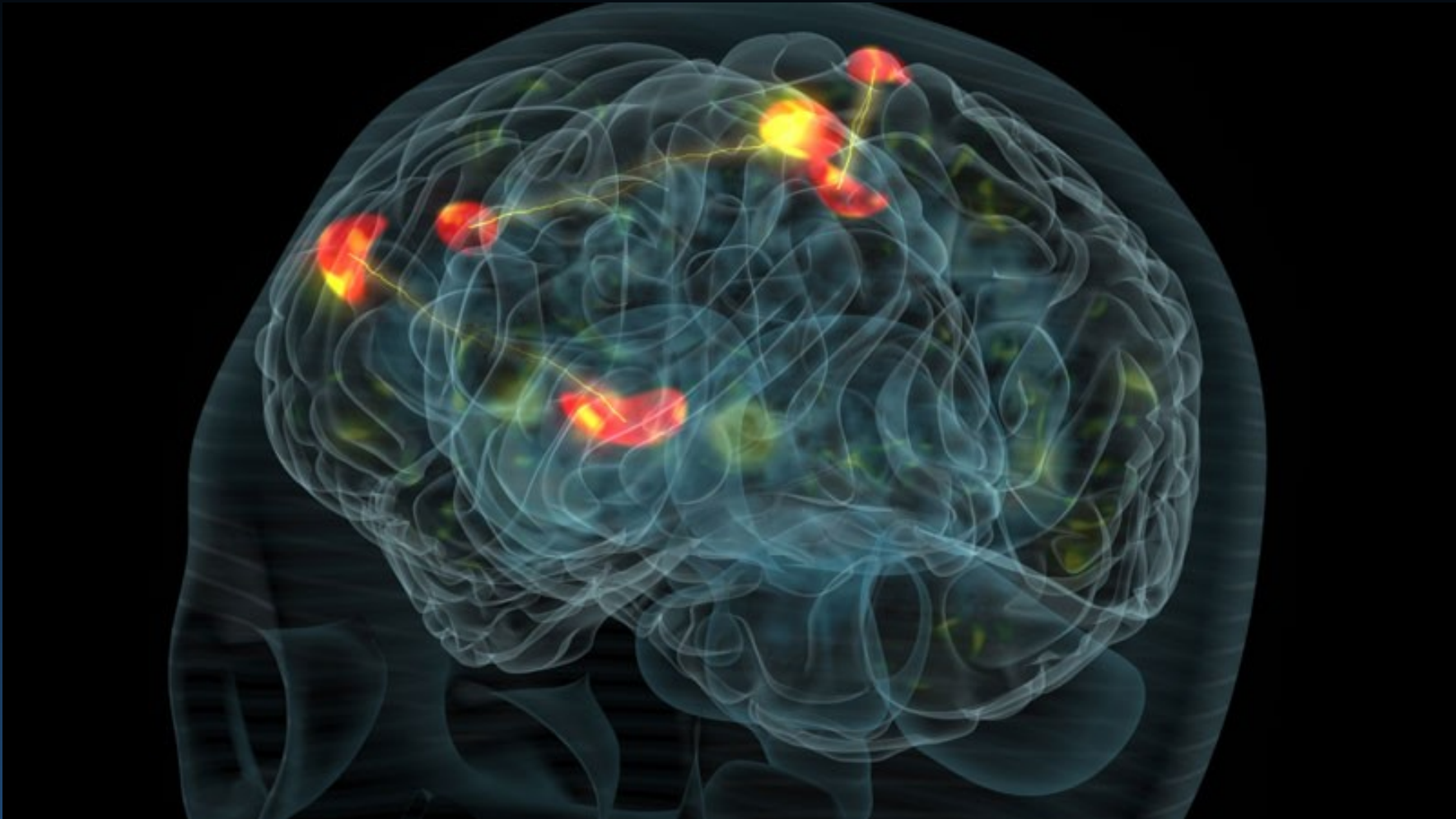
Nie wystarczy opis werbalny, potrzebna jest przestrzeń, której wymiary odpowiadają subiektywnemu doświadczeniu określanego za pomocą intencji, percepcji własności obiektów i interakcji, ruchu, emocji.

Zdarzenia mentalne, ruch myśli \leftrightarrow trajektorie w przestrzeniach psychologicznych.



Duch. W. (2019) Mind as a shadow of neurodynamics. [Physics of Life Reviews](#), Special Issue "Physics of mind", Ed. F. Schoeller.

Silne, spójne aktywacje



Większość procesów zachodzących w mózgu kontroluje stan naszego ciała, zachodzi automatycznie, nie wymaga świadomej uwagi. Liczne podsieci wzbudzają się i konkurują ze sobą o dostęp do najwyższego poziomu kontroli. By stały się świadome muszą – zgodnie z **teorią detekcji sygnałów** – wyraźnie wybić się ponad szum. Czy potrafimy je rozpoznać?

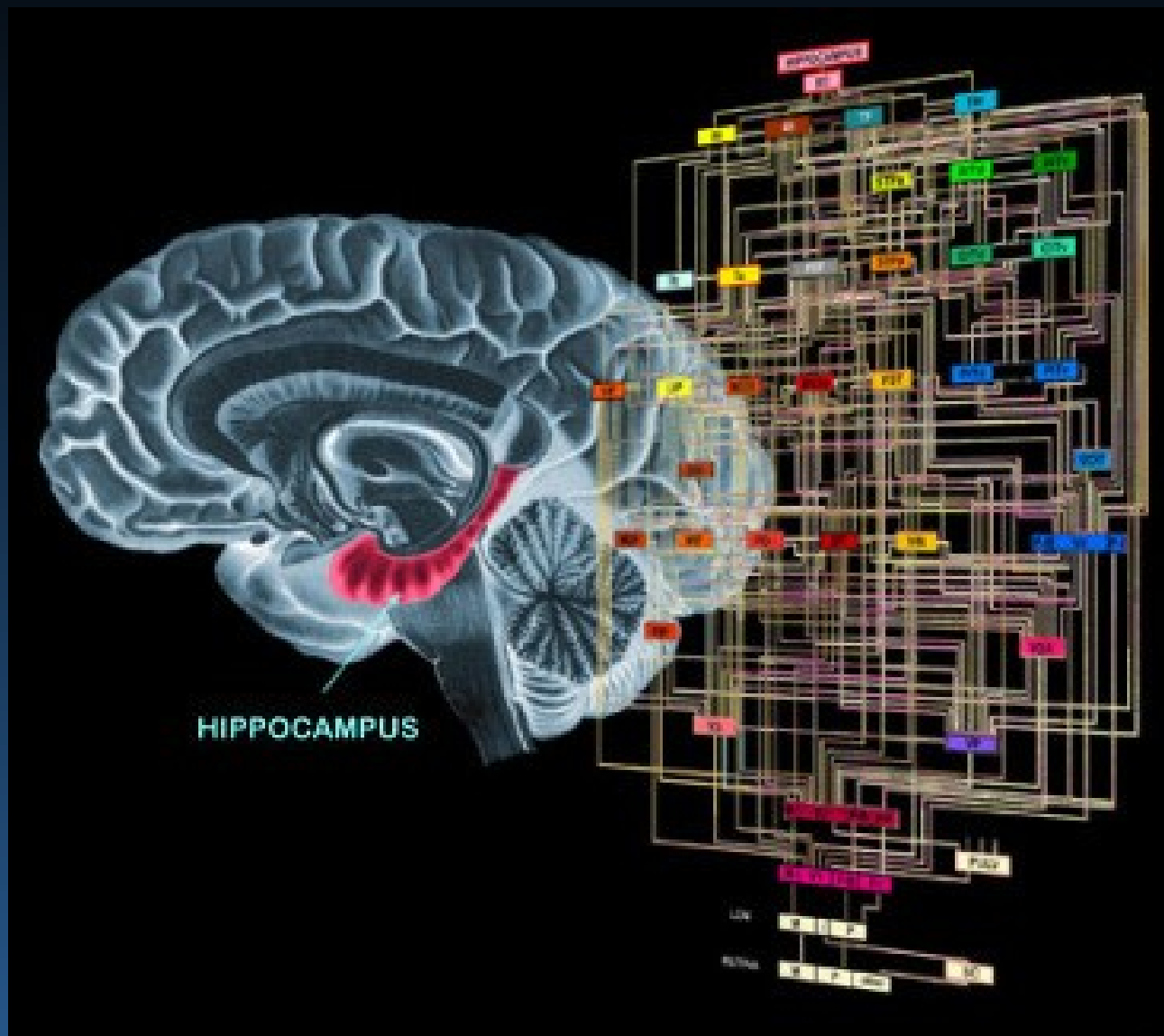
BICA, Brain-Inspired Cognitive Architecture

Mózgo-podobne architektury przetwarzania informacji.

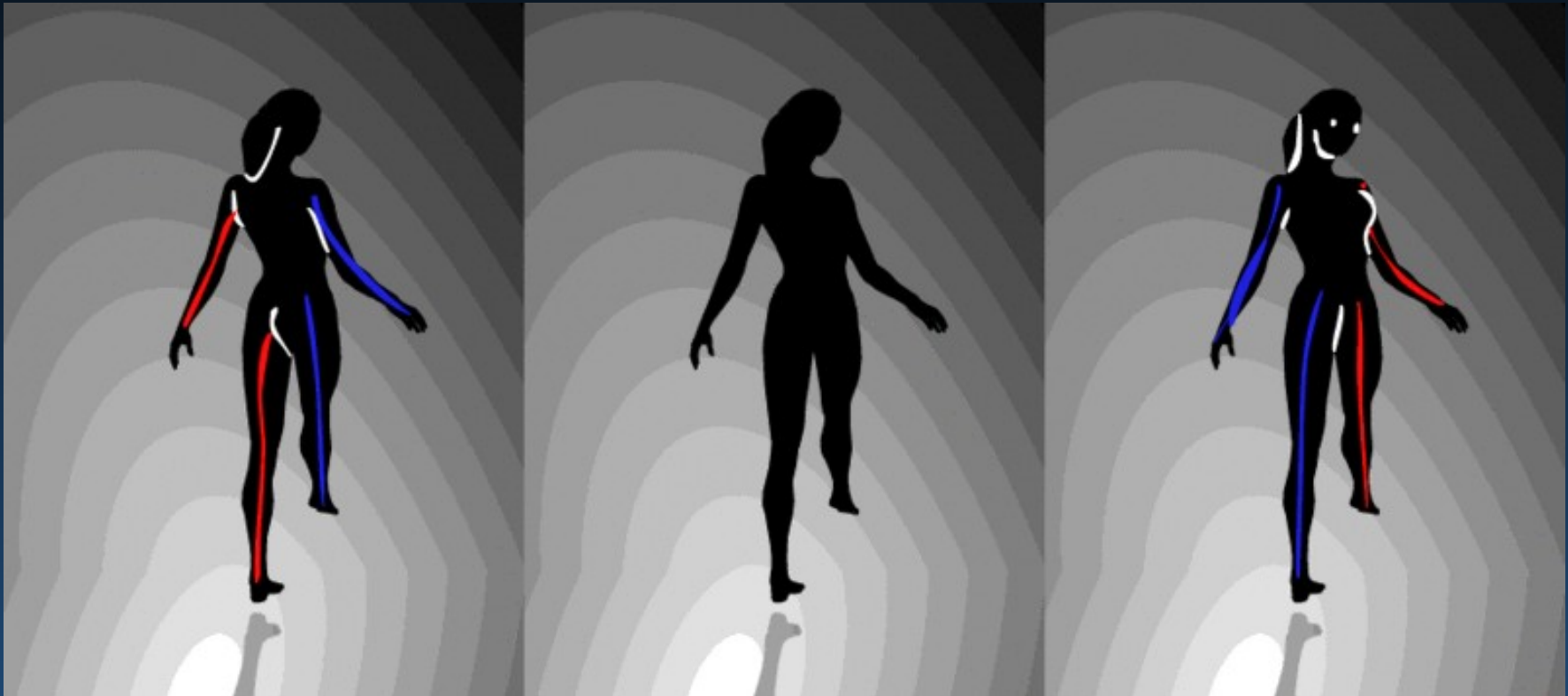
Do zrozumienia potrzebny jest model odtwarzający funkcje, przeniesienie naszej wiedzy do neuronowego symulatora.

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

HBP?



Widzimy tylko aktywacje mózgu



Chociaż część tego, co postrzegamy dochodzi przez zmysły od obiektów znajdujących się przed nami, inna część (a może to być większa część) zawsze pochodzi z naszej własnej głowy.

William James, *The Principles of Psychology*, 1890

Pociąg wjeżdża czy wyjeżdża?

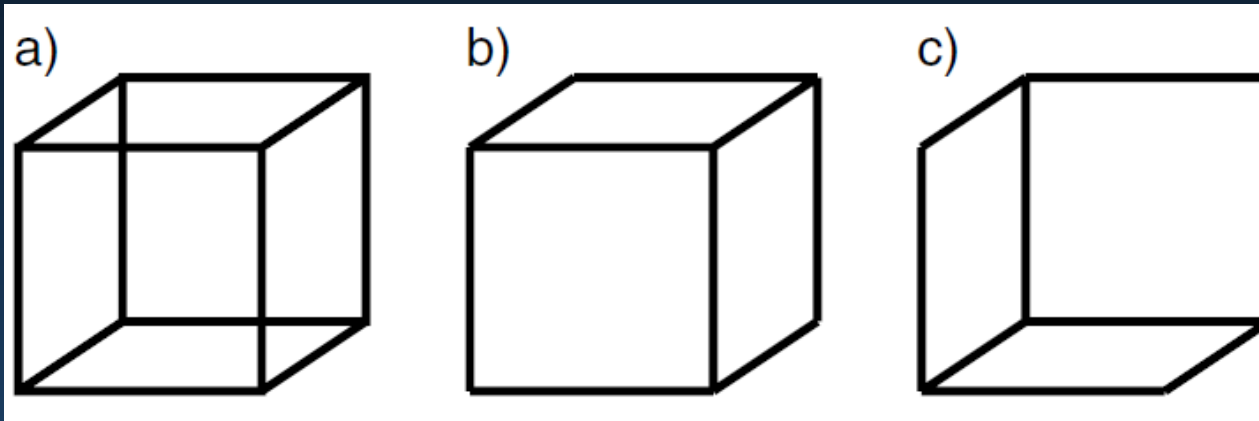


Sześcián Neckera

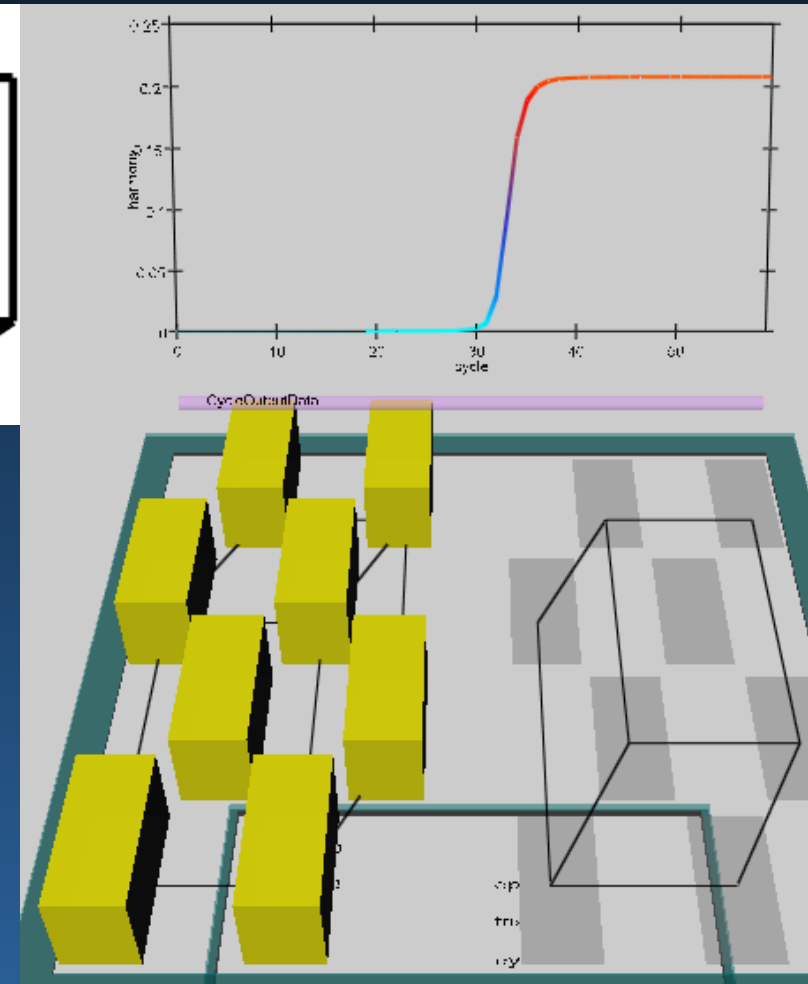
Emergent - Projekt Ch3 necker_cube.proj, bistabilność percepcji (SWPS 2007).

Sześcián Neckera można widzieć albo bliższa ścianą w lewo albo w prawo.

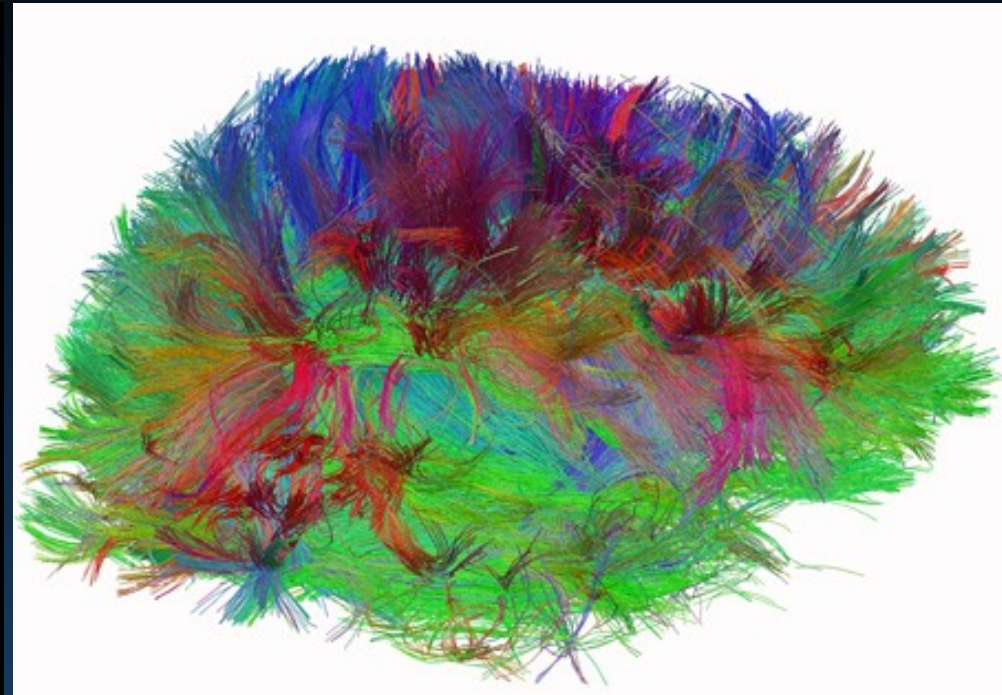
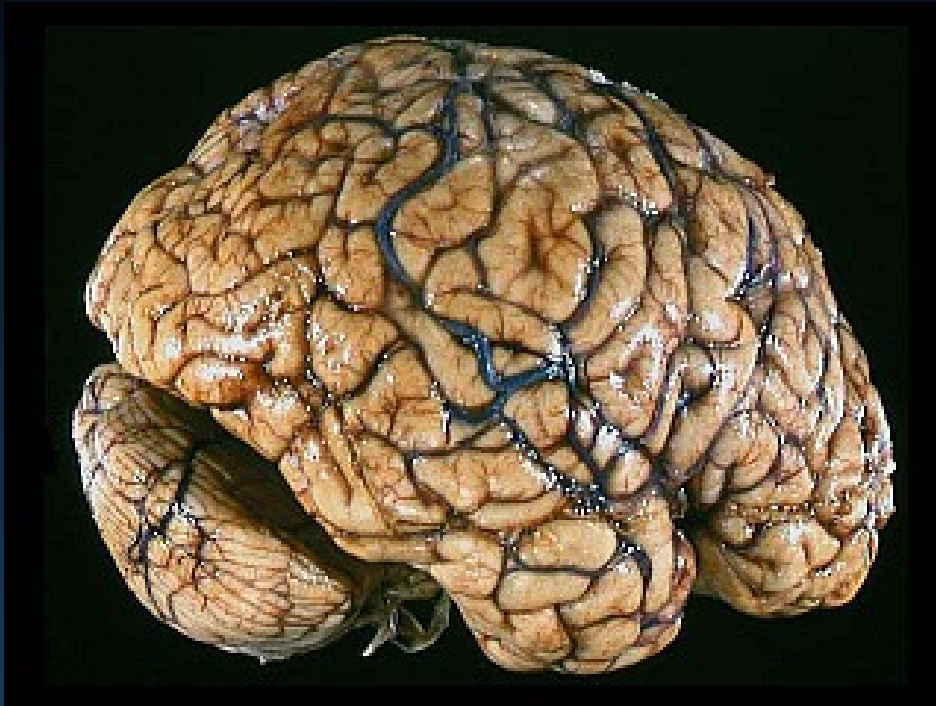
Tancerka kręci się w lewo lub w prawo ... trudniejsze?



Procesy bistabilne można symulować uwzględniając szum i akomodację neuronów, wtedy uwaga przerzuca się z jednej interpretacji na drugą.



Genetyczny i neuronalny determinizm



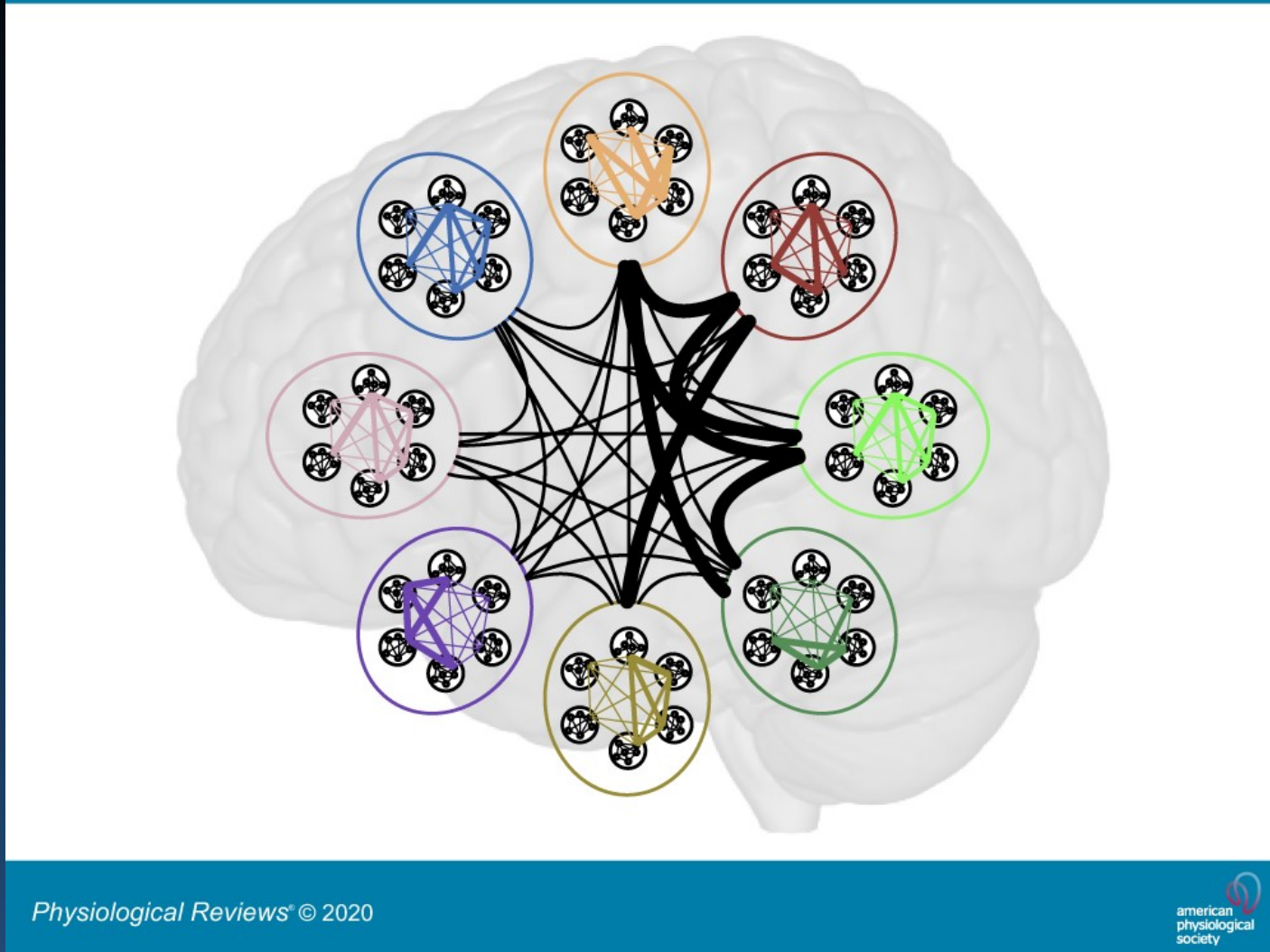
Genetyczny determinizm narzuca ogólne ograniczenia. Tylko ~ 20.000 genów.

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?

~ Architektura małych światów



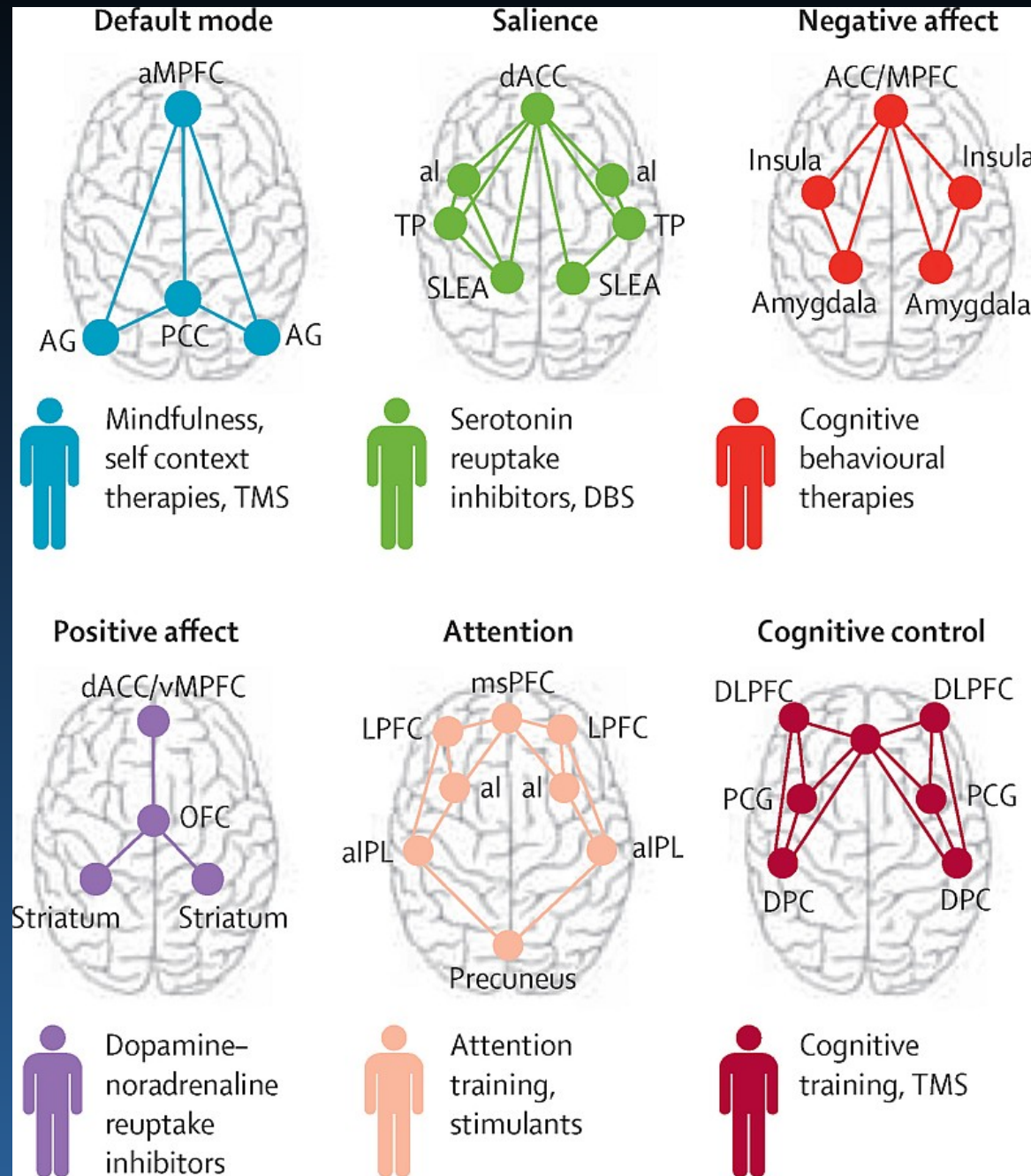
Złożone funkcje wymagają współpracy wielu wyspecjalizowanych obszarów mózgu, z których każdy dostarcza częściowych informacji. Pamięć, osobowość, tożsamość czy świadomość to procesy składające się z wielu elementów, podobnie jak modele wieloagentowe w “społeczeństwie umysłu” Minsky’ego. Konstrukty psychologiczne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

Fenomika wielopoziomowa

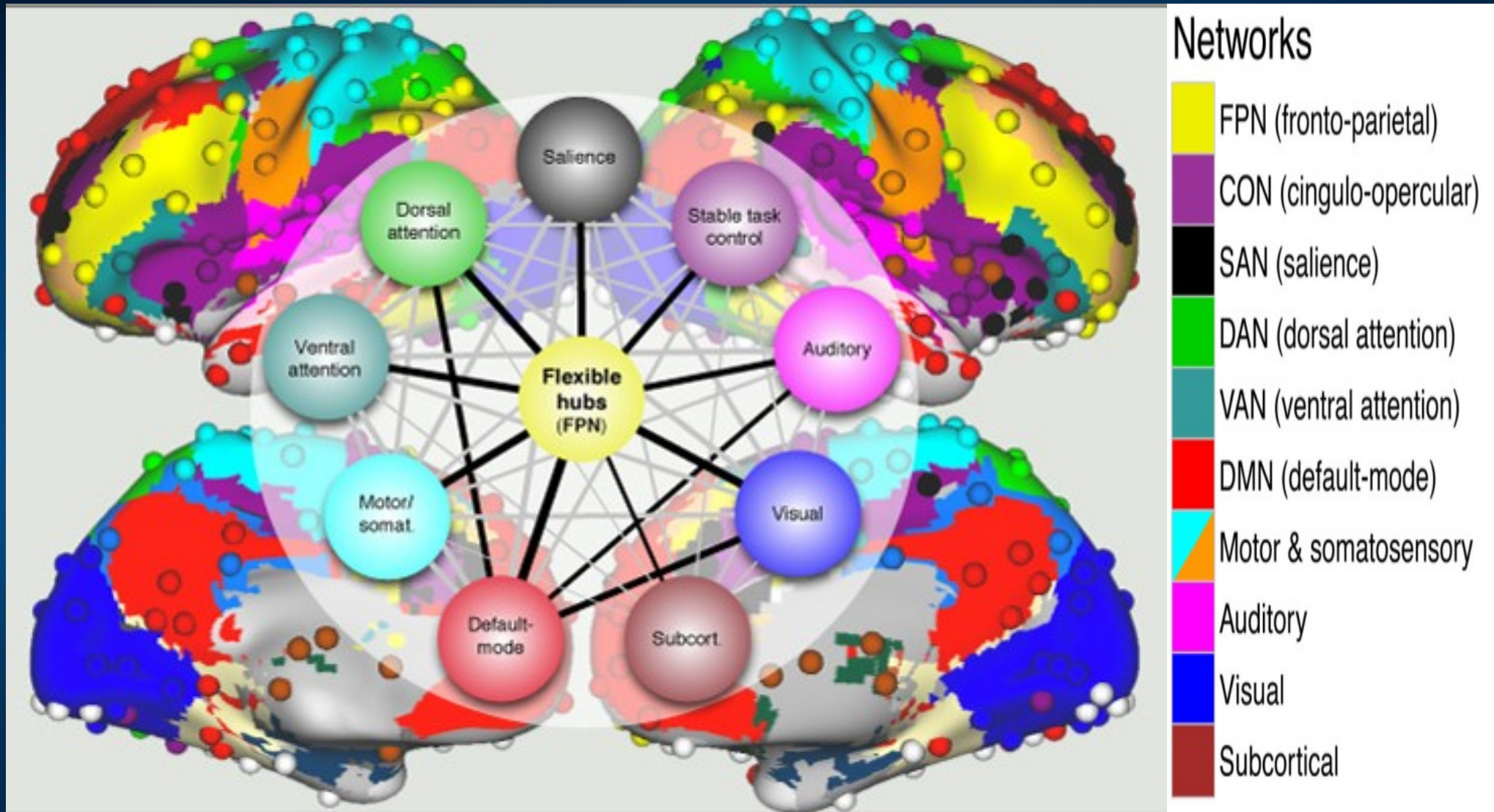
Zamiast klasyfikacji zaburzeń psychicznych za pomocą symptomów NIMH proponuje **Research Domain Criteria (RDoC)**, macierz wielopoziomowej fenomiki neuropsychiatrycznej, opisującą deregulację 6 dużych systemów.

1. **Negatywnej walencji**
2. **Pozytywnej walencji**
3. **Funkcji poznawczych**
4. **Procesów społecznych**
5. **Pobudzenia/regulacji**
6. **Działań senso-motorycznych**

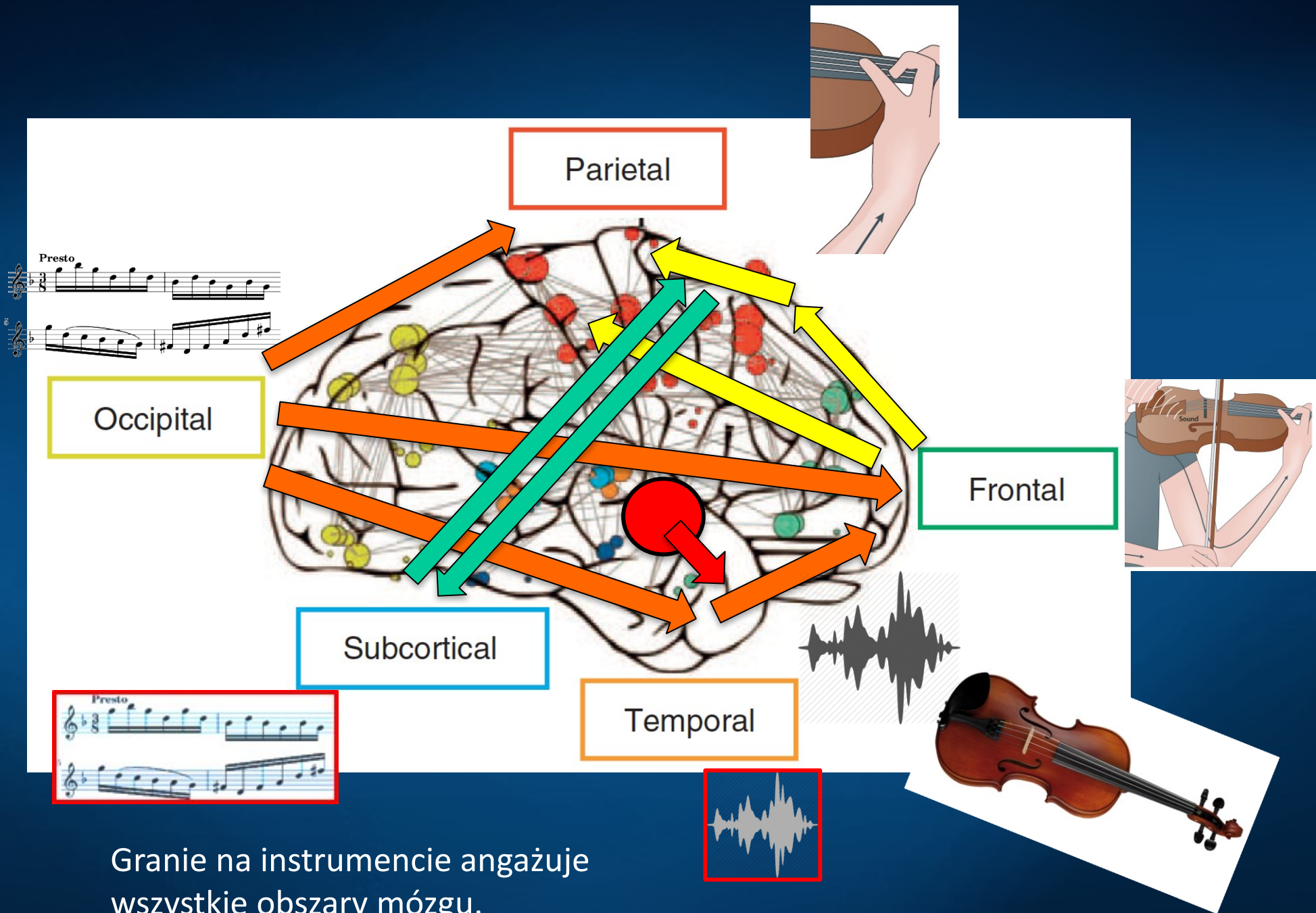
Od genów, białek i innych molekuł, komórek, **mikroobwodów**, fizjologii do reakcji organizmu i odczuć subiektywnych.



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).



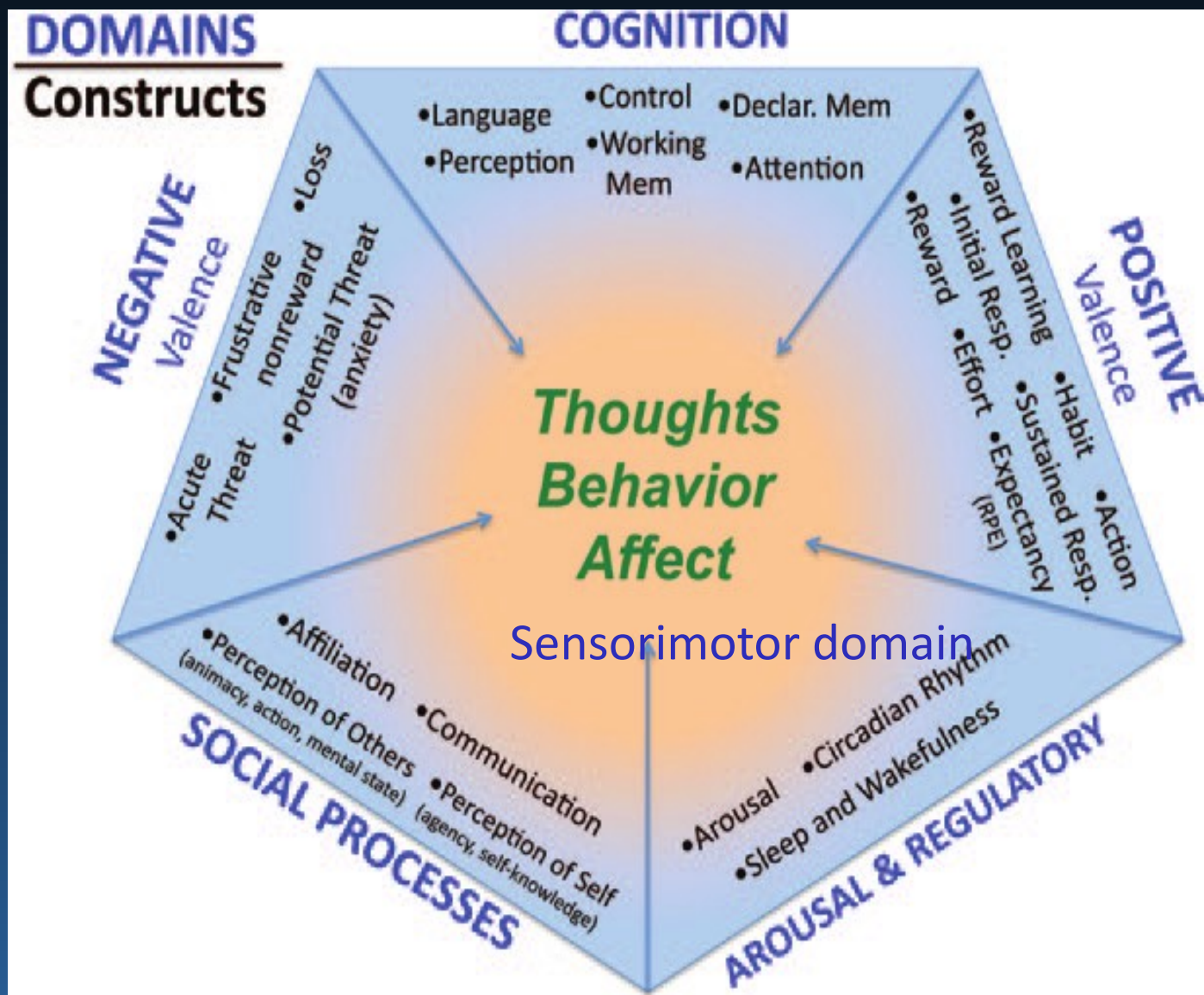
Granie na instrumencie angażuje wszystkie obszary mózgu.

NIMH RDoC Matrix: regulacja 6 dużych systemów.

Psychologiczne konstrukty to metafory używane do werbalnego opisu stanów mentalnych.

6 domen - różne typy procesów, które realizowane są przez rozległe sieci mózgu.

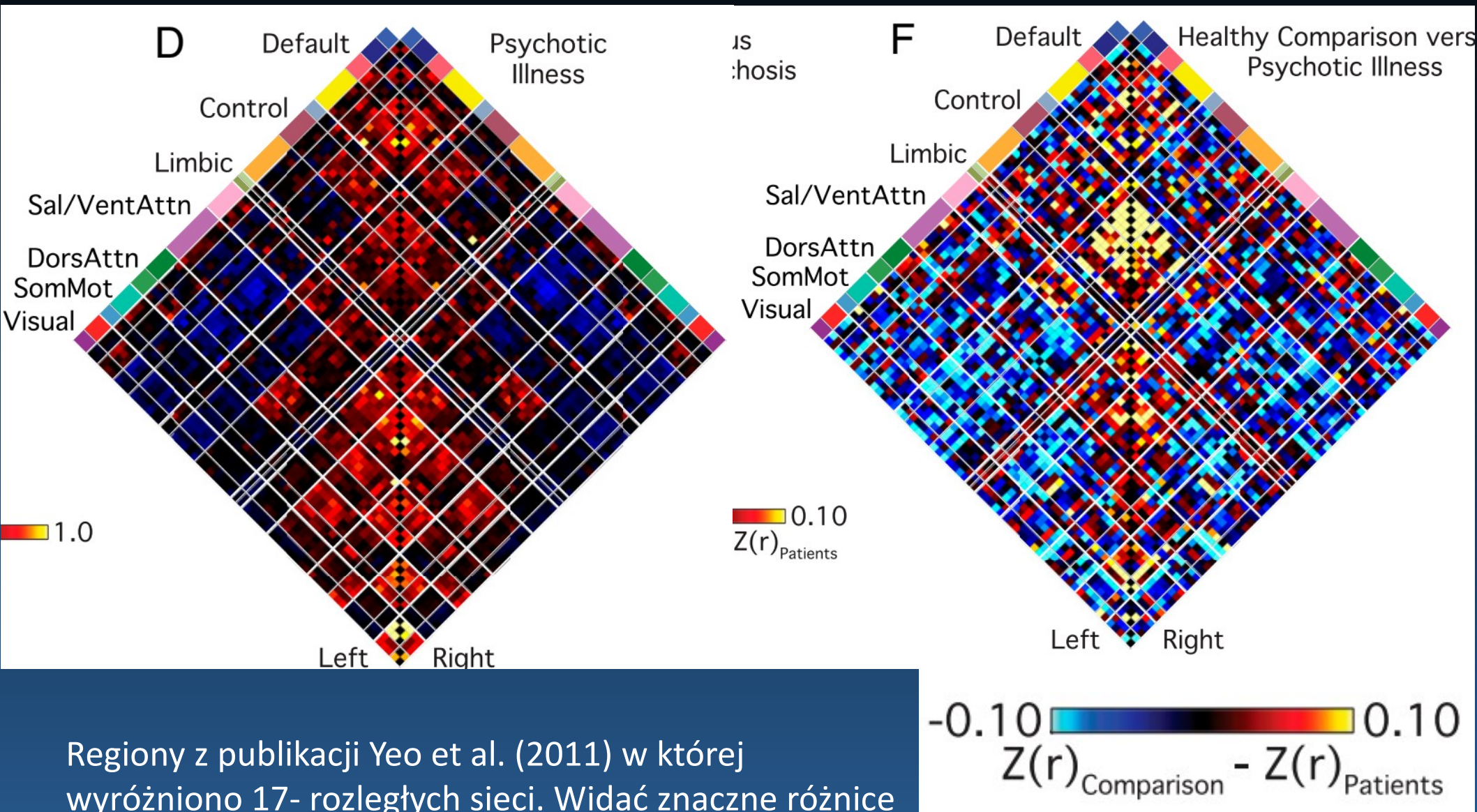
W jaki sposób mózg je realizuje?



Macierz RDoC dla „domeny kognitywnej”

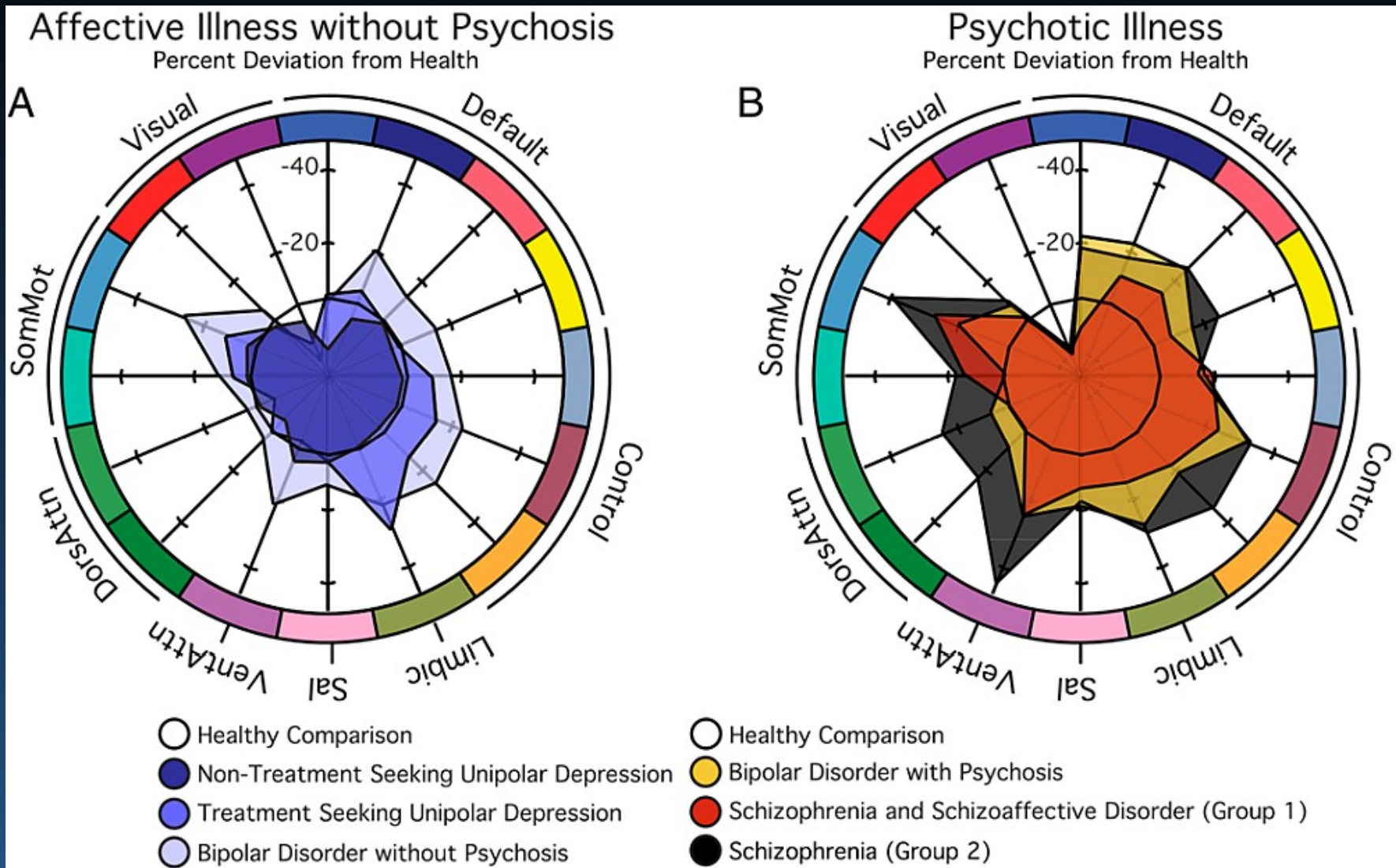
Construct/Subconstruct		Genes	Molecules	Cells	Circuits	Physiology	Behavior	Self-Report	Paradigms
Attention		Elements	Elements	Elements	Elements	Elements	Elements		Elements
Perception	Visual Perception	Elements	Elements	Elements	Elements	Elements	Elements	Elements	Elements
	Auditory Perception	Elements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

Komunikacja w mózgu



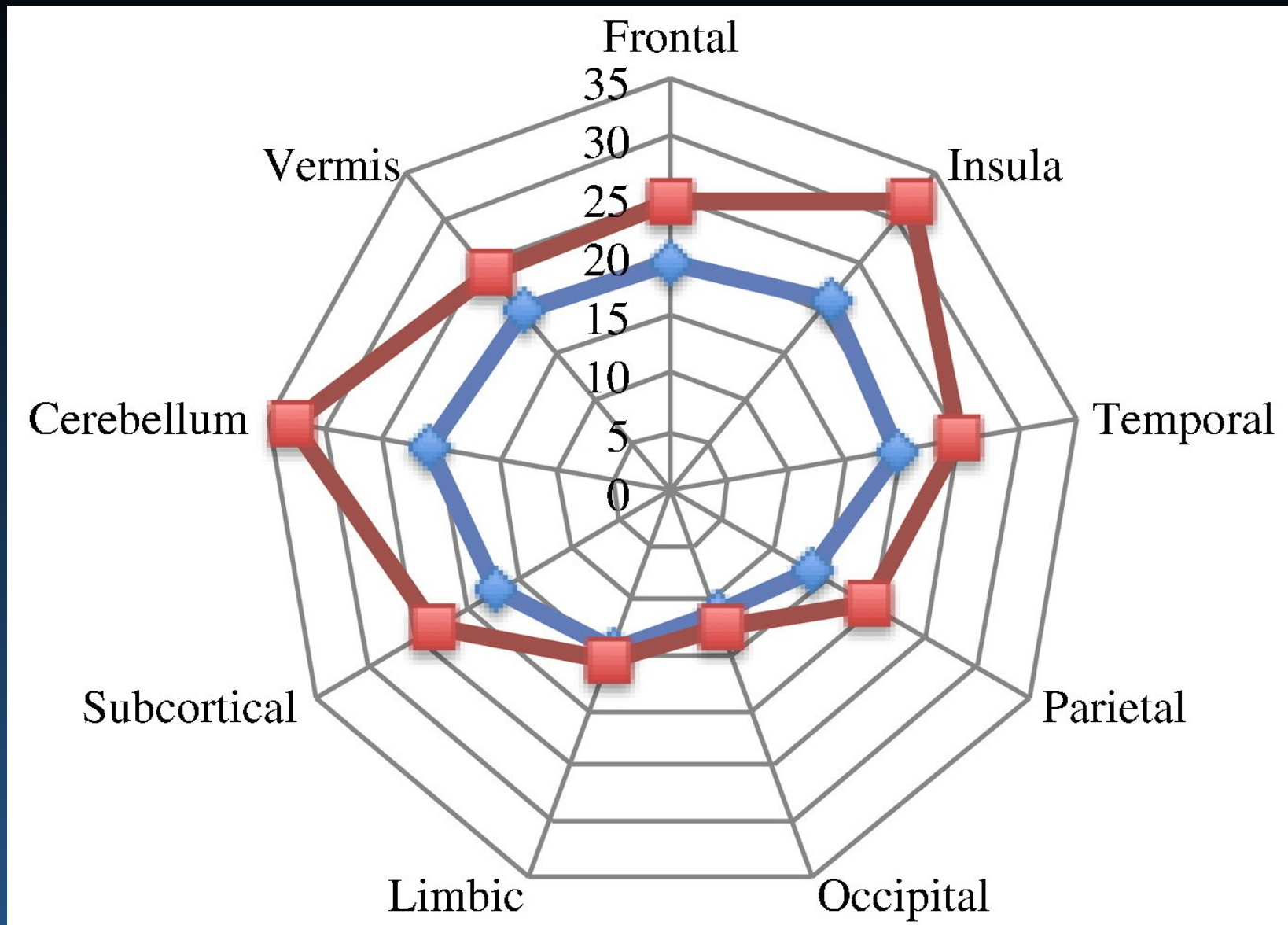
Regiony z publikacji Yeo et al. (2011) w której wyróżniono 17- rozległych sieci. Widać znaczne różnice osób cierpiących na psychozy.

Komunikacja w chorych mózгах



Różnice średniej liczby połączeń różnych sieci dla chorób afektywnych i schizofrenii.

Połączenia negatywne u pacjentów z MCI



MCI, Mild cognitive Impairment. Czerwone = MCI, niebieskie = kontrolne. Istotne różnice w negatywnej korelacji funkcjonalnych obszarów mózgu.

Deep Auto-Encoder (DAE) + HMM models, Suk et al. Neuroimage (2016)

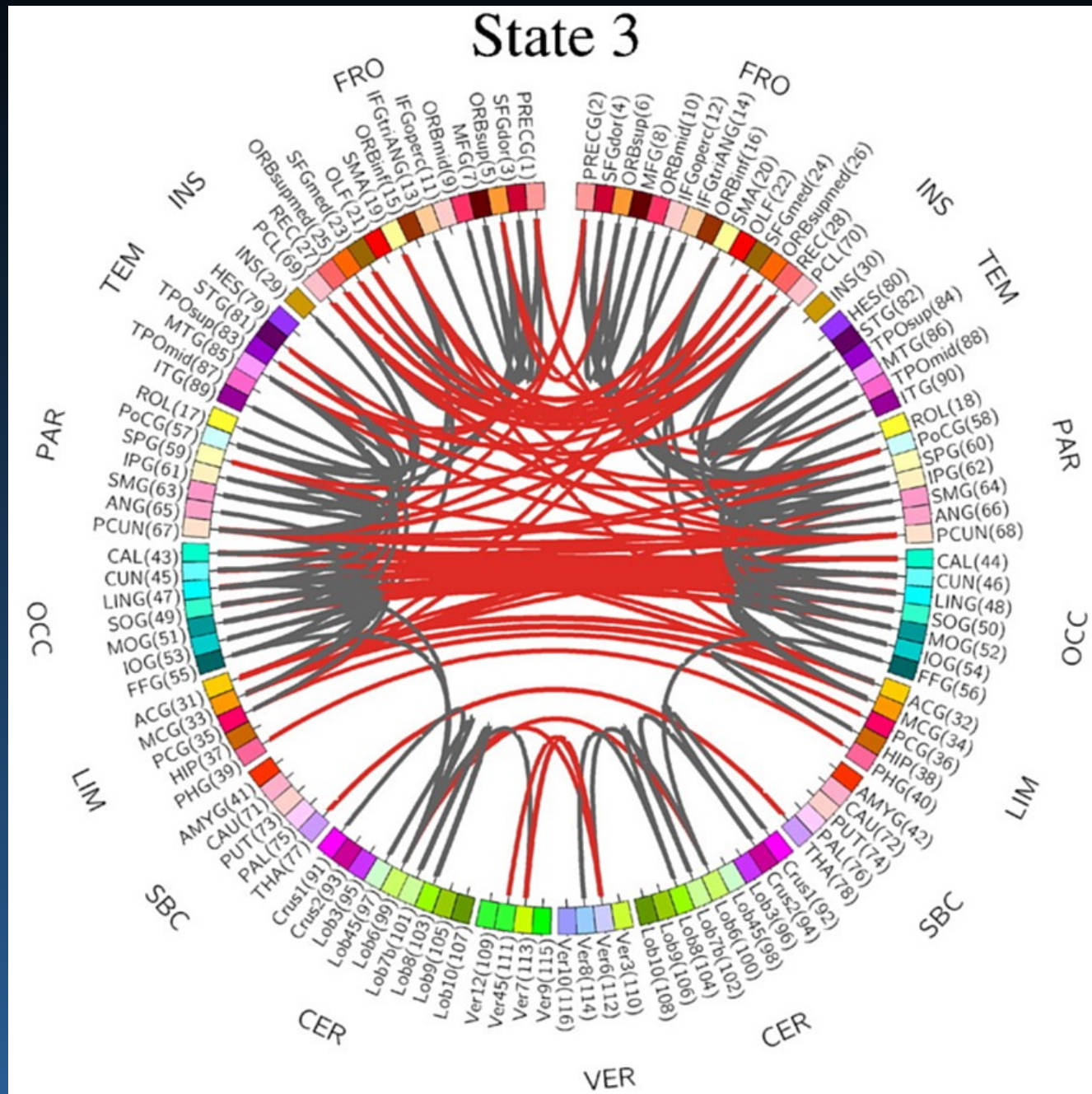
Połączenia funkcjonalne u zdrowych

Analiza stanów mózgu za pomocą metod uczenia maszynowego, u ludzi zdrowych wyróżniono 5 stanów, połączenia pozytywnie i negatywnie skorelowane.

Modele Deep Auto-Encoder (DAE) + HMM.

Siła połączeń $|W| > 0.65$.

Suk et al. Neuroimage (2016)



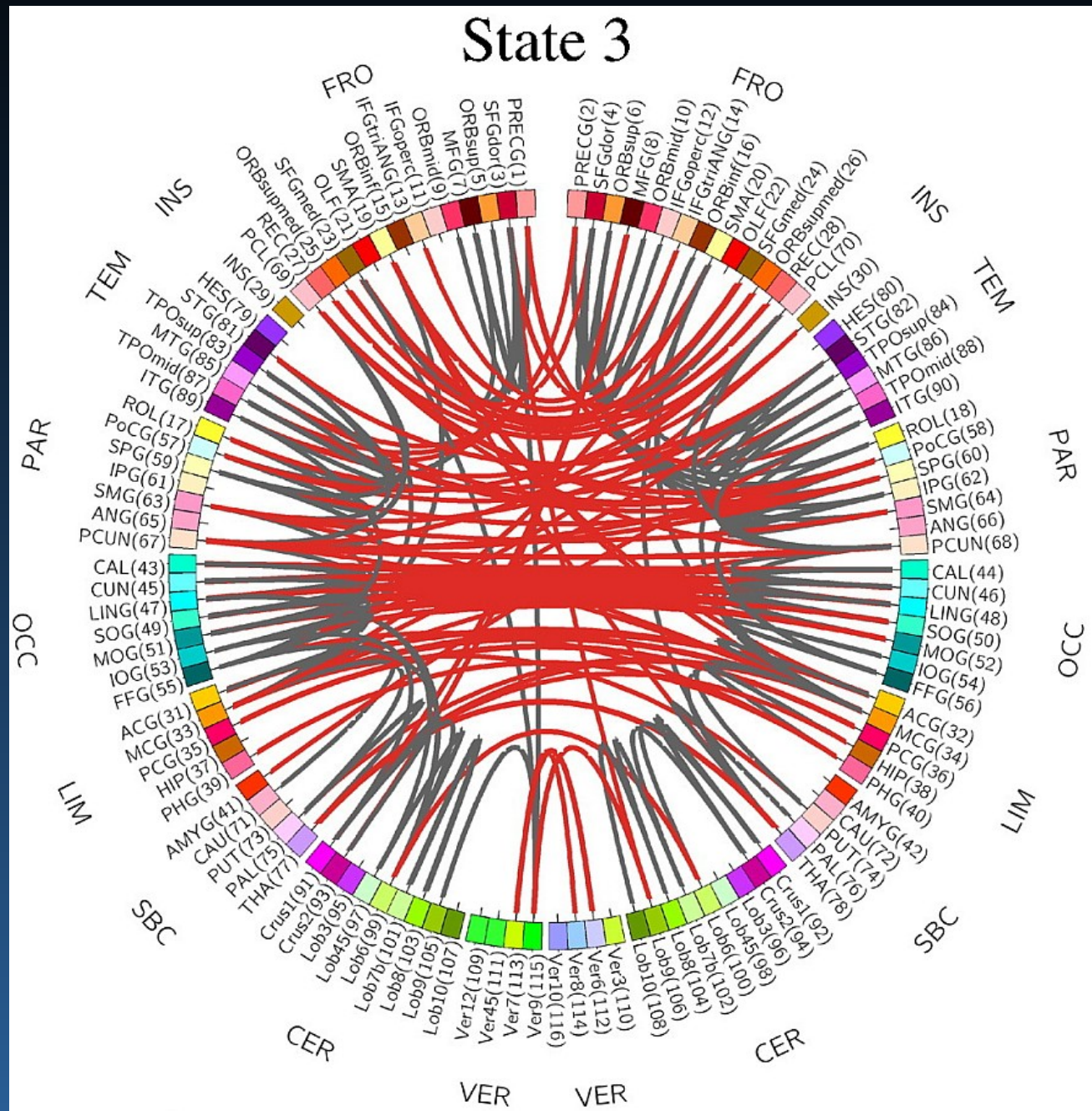
Połączenia u osób z MCI

Analiza stanów mózgu za pomocą metod uczenia maszynowego, pacjenci z łagodnym otępieniem, wyróżniono 5 stanów, połączenia pozytywnie i negatywnie skorelowane.

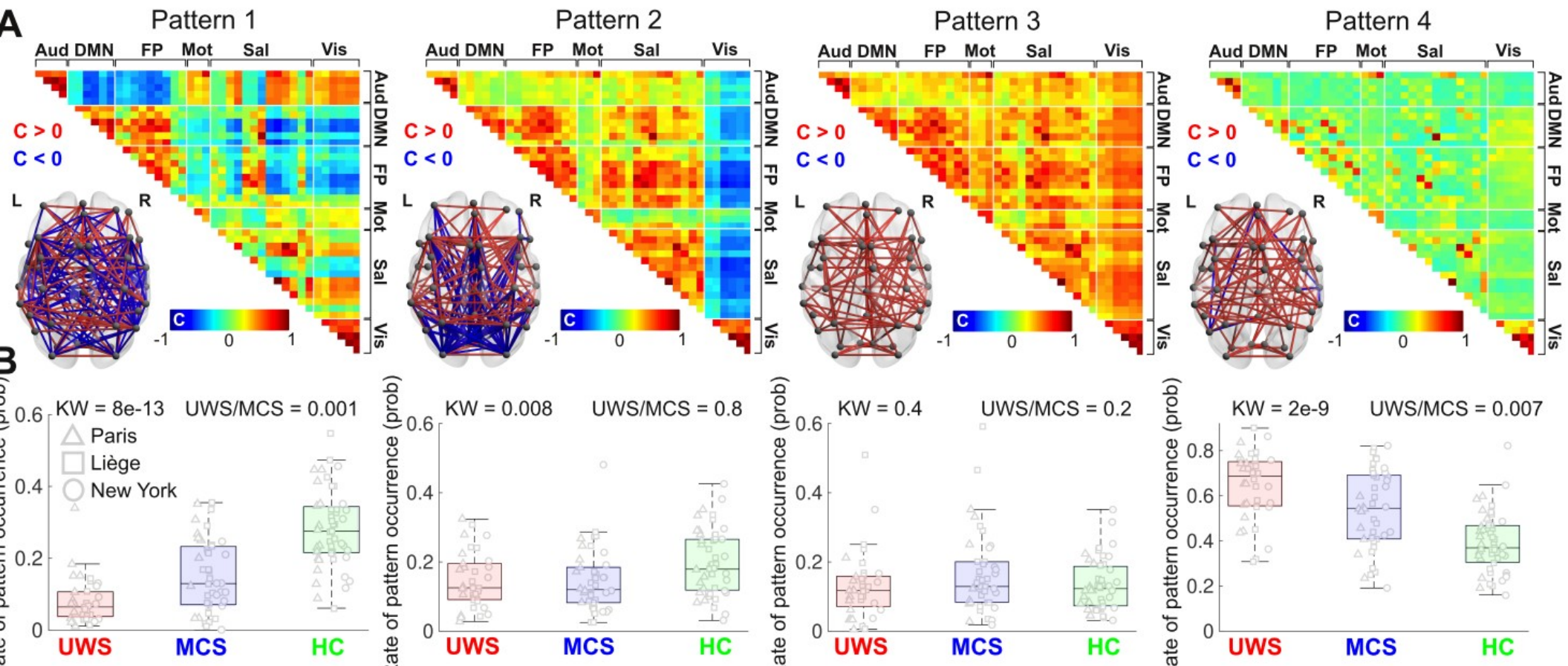
Modele Deep Auto-Encoder (DAE) + HMM.

Siła połączeń $|W| > 0.65$.
Czemu jest więcej połączeń niż u zdrowych?

Suk et al. Neuroimage (2016)



4 wzorce dla zaburzeń świadomości (DOC)



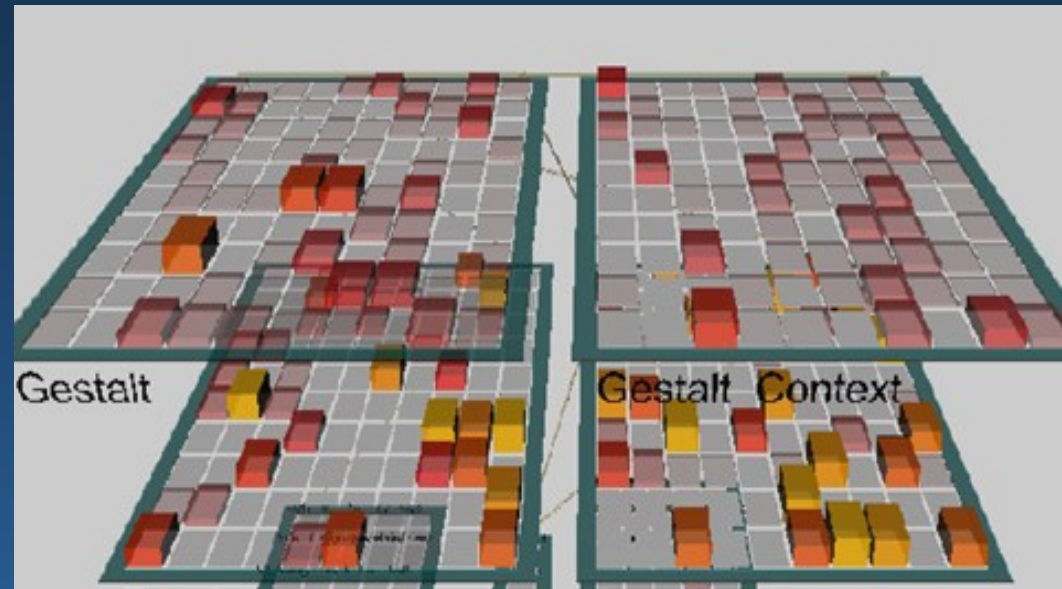
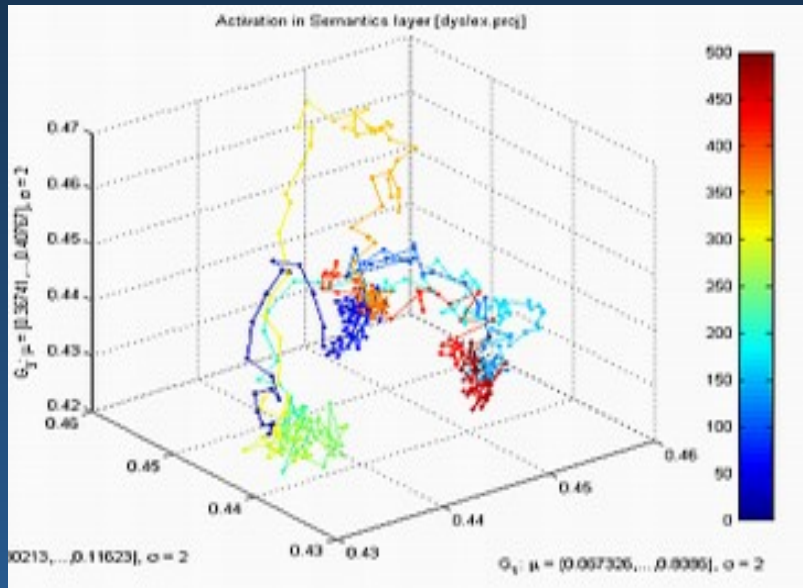
4 klastry fazowych macierzy koherencji, różna współpraca w obrębie całego mózgu (1) zróżnicowany złożony sygnał zdrowych osób, (2) silna koherencja marzeń na jawie, (3), silna przypadkowa koherencja i (4) brak w UWS/MCS.

A. Demertzi* ... J.D. Sitt. Human consciousness is supported by dynamic complex patterns of brain signal coordination. Science Advances 5 (2019)

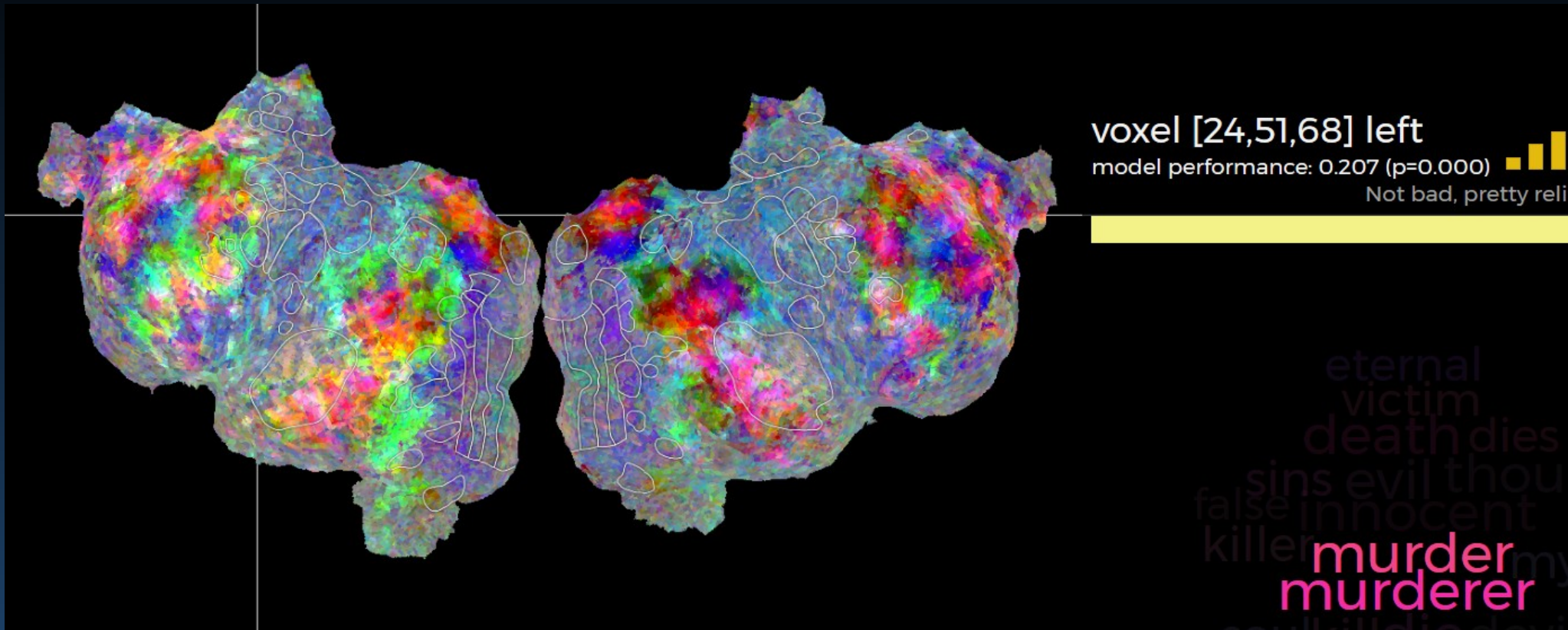
Symulacje neurodynamiki

Mózg jako substrat

- Mózg jest substratem, w którym może powstać świat umysłu, labirynt wzajemnych aktywacji. Świadome wrażenia to cień neurodynamiki.
- Czy da się opisać werbalnie stany mózgu z subiektywnego punktu widzenia?
- Filozofia i psychologia opisuje naiwne wyobrażenia oparte na pojęciach nie przystających do obiektywnie mierzalnych procesów w mózgu.
- Fonologia \leftrightarrow Semantyka pomaga konkretyzować **myśli**, bez fonologicznych etykiet aktywacji mózgu byłyby rozmyte, płynne, myślenie symboliczne nie byłoby możliwe, generalizacja byłaby zbyt szeroka, logika całkiem rozmyta.



Jak wyglądają pojęcia w mózgu?

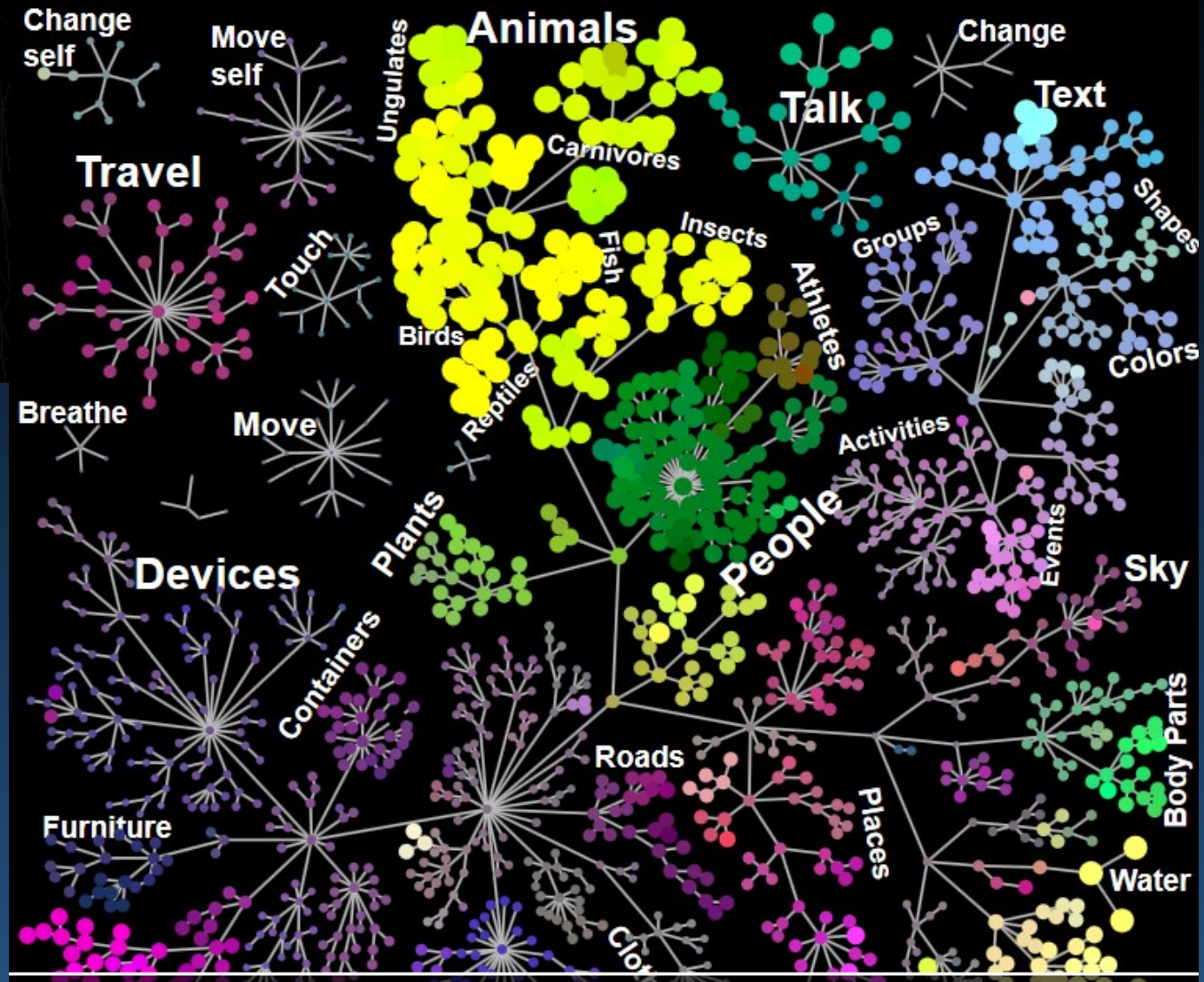


Z każdym pojęciem związany jest rozkład aktywacji wielu struktur mózgu uczestniczących w semantycznej interpretacji pojęć, odwołujący się do percepcji (kora zmysłowa), emocji, ruchu, form działania. <http://gallantlab.org/huth2016/>
krótki film

Zrozumienie wymaga szybkiej synchronizacji odległych obszarów, mikrostanu.



Semantic Space

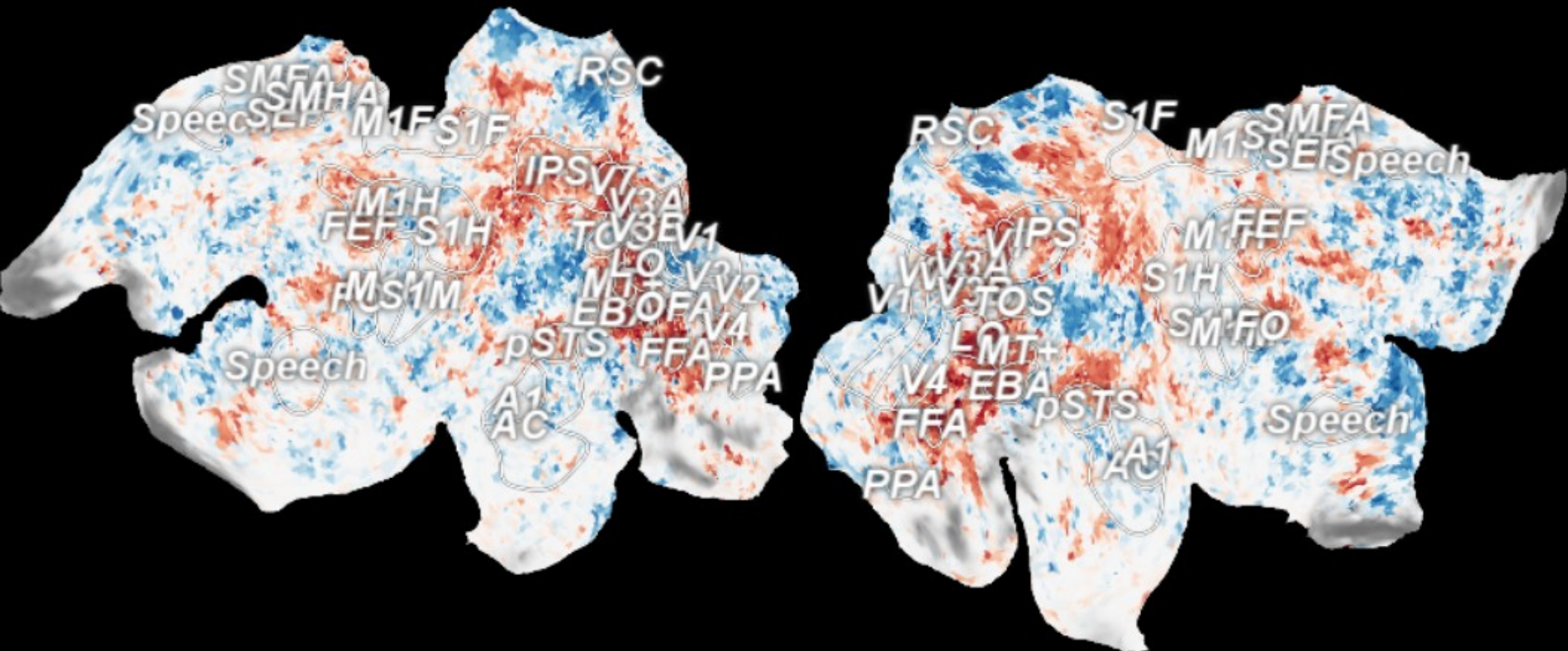


Atlas semantyczny powstał w lab. Jacka Gallanta na podstawie aktywności mózgu obserwowanej za pomocą fMRI (60K voxeli) dla ponad 1700 pojęć.

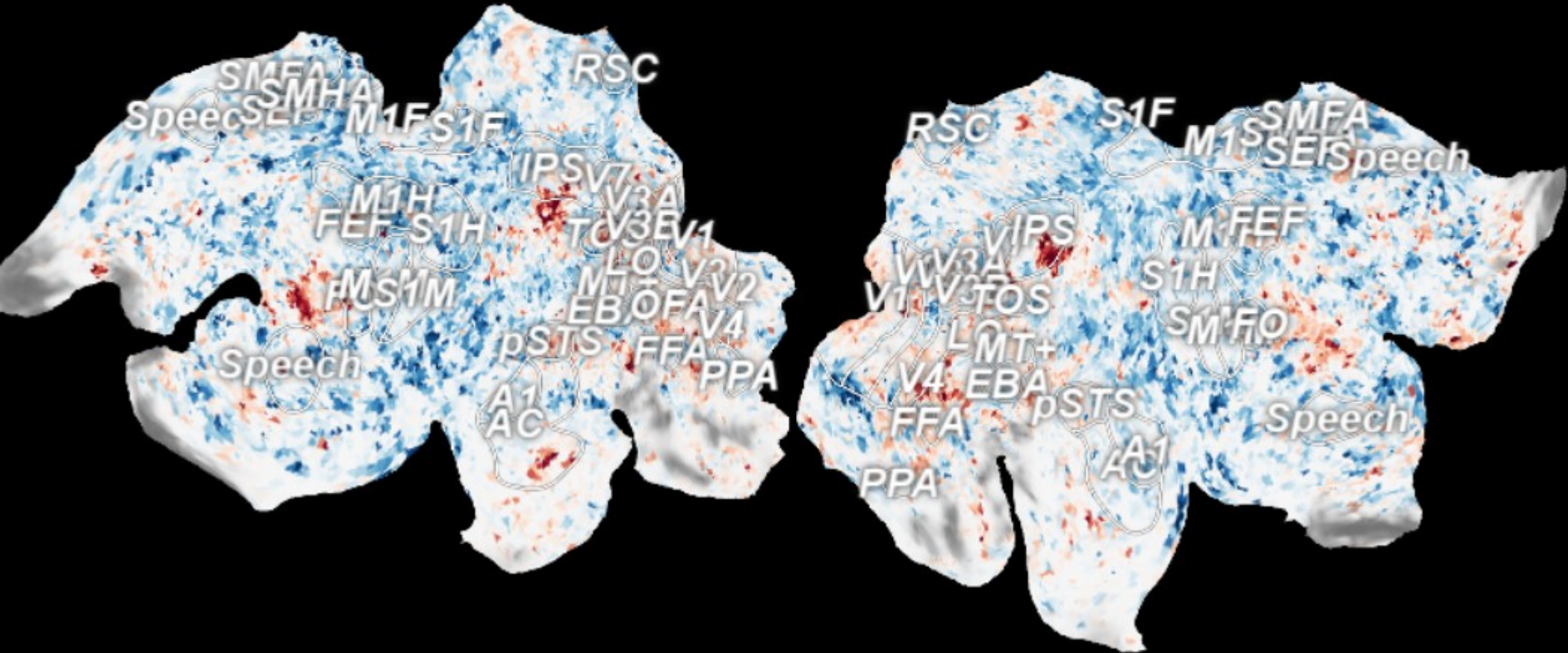
<http://gallantlab.org/>



Category zebra: Passive Viewing



Category traffic light: Passive Viewing



Modele komputerowe

Modele proste i bardziej złożone.

- Minimalny model wymaga 3 typów kanałów jonowych, e, i, l.

Model przenoszenia uwagi:

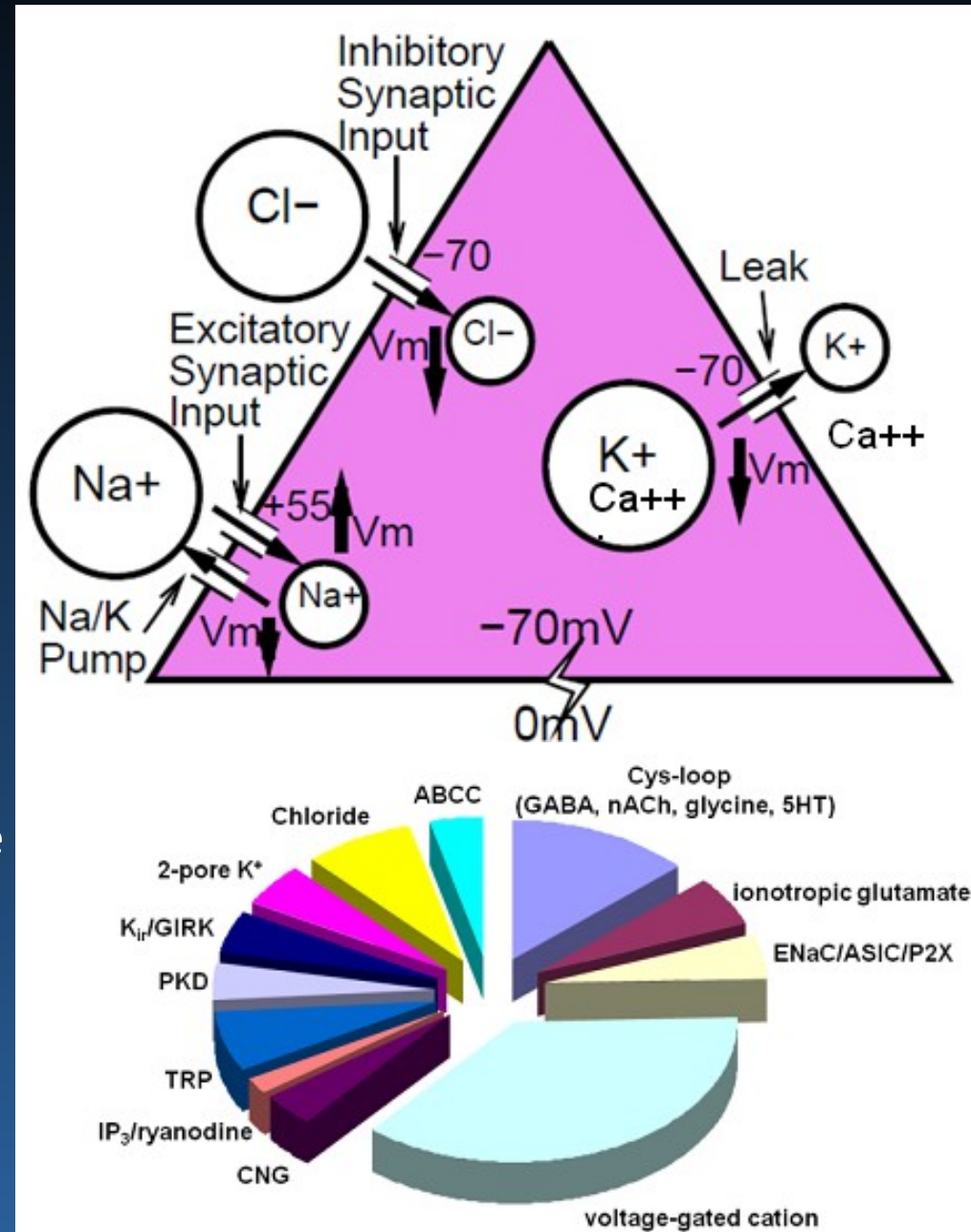
- Model Posner uwagi przestrzennej.
- Model przenoszenia uwagi wzrokowej pomiędzy dwoma obiektami.

Model skojarzeń pojęciowych:

- Sekwencje spontanicznych myśli.

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

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



Model czytania i dysleksji

Minimalny system pozwalający na eksperymenty na wysokim poziomie:

Aisa, B., Mingus, B., and O'Reilly, R. **The Emergent neural modeling system.**

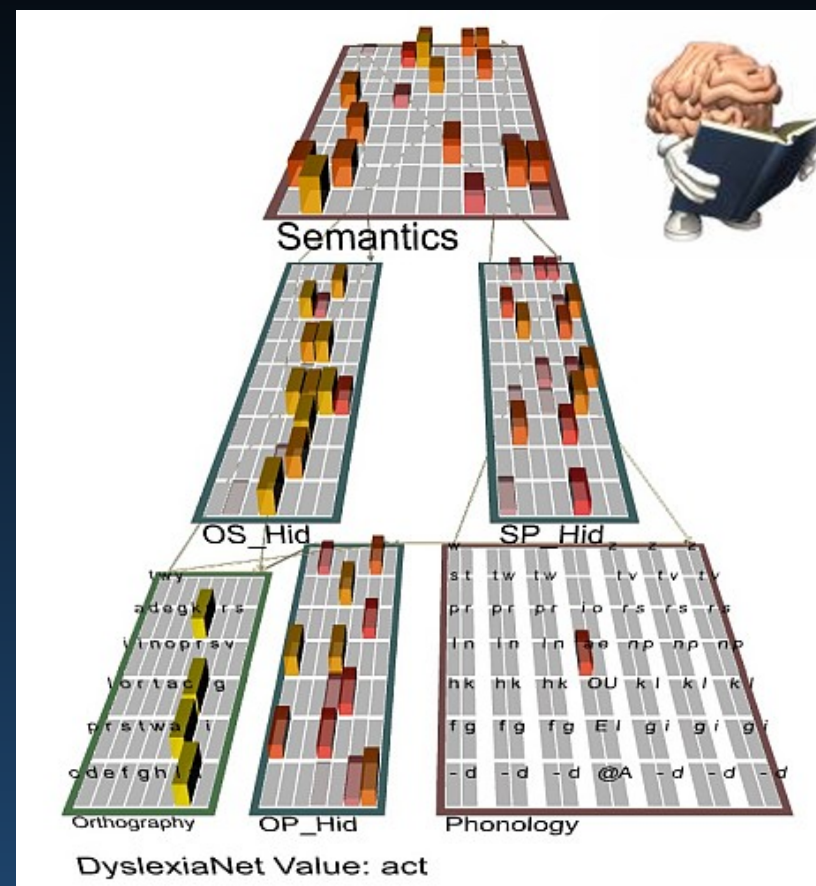
Neural Networks, 21, 1045, 2008

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

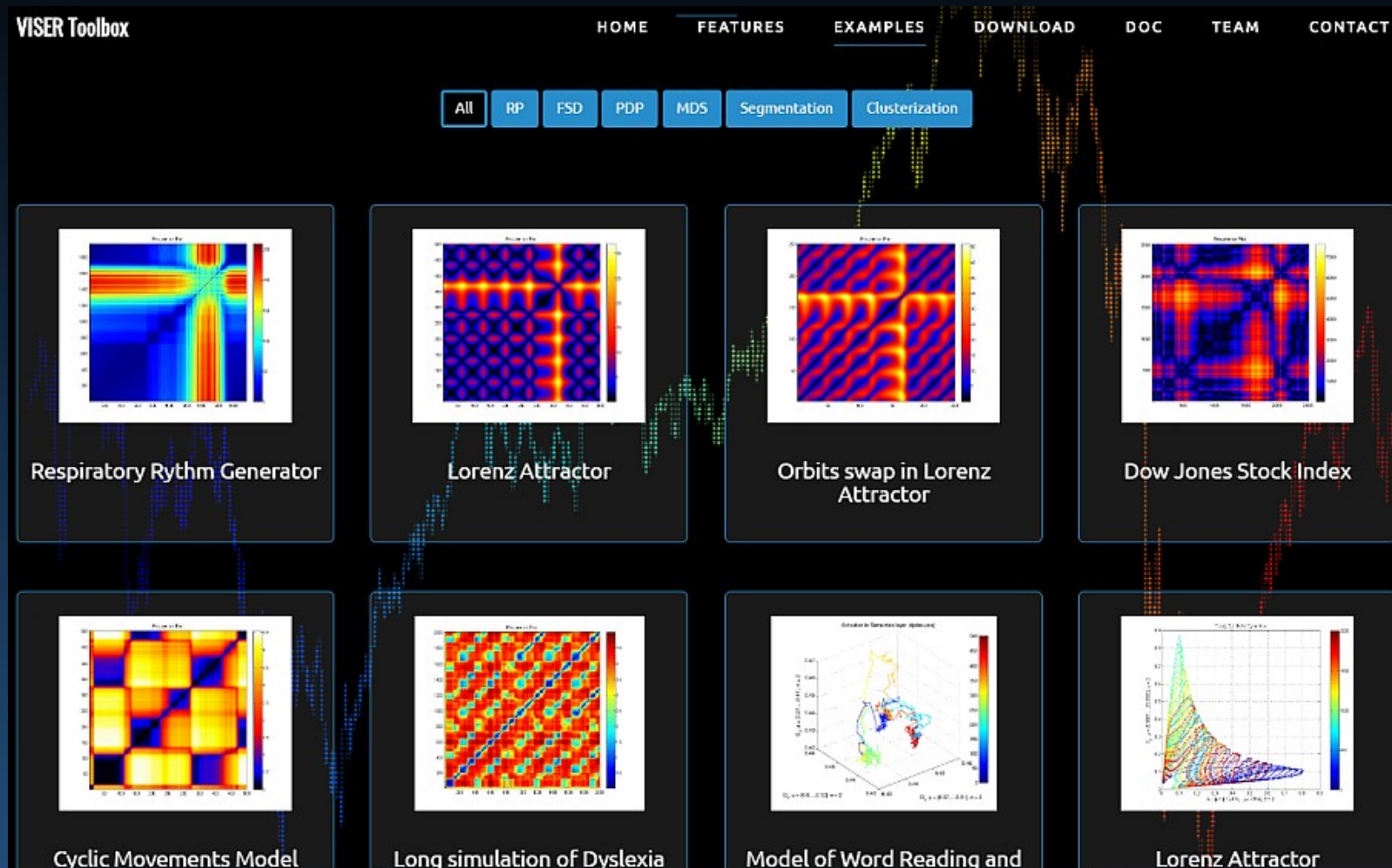
Uczenie korelacyjne i konkurencyjne.

Uczenie: przypadkowy wybór jednej z 3 warstw (ortografia, fonologia, semantyka) jako wejścia, a pozostałych dwóch jako wyjścia, czyli mapowanie jednego aspektu na dwa inne. Semantyka opisana jest przez mikrocechy (aktywację jednego z neuronów warstwy semantycznej).

W mózgu mikrocechy to raczej podsięci a nie lokalne regiony.



Viser toolbox



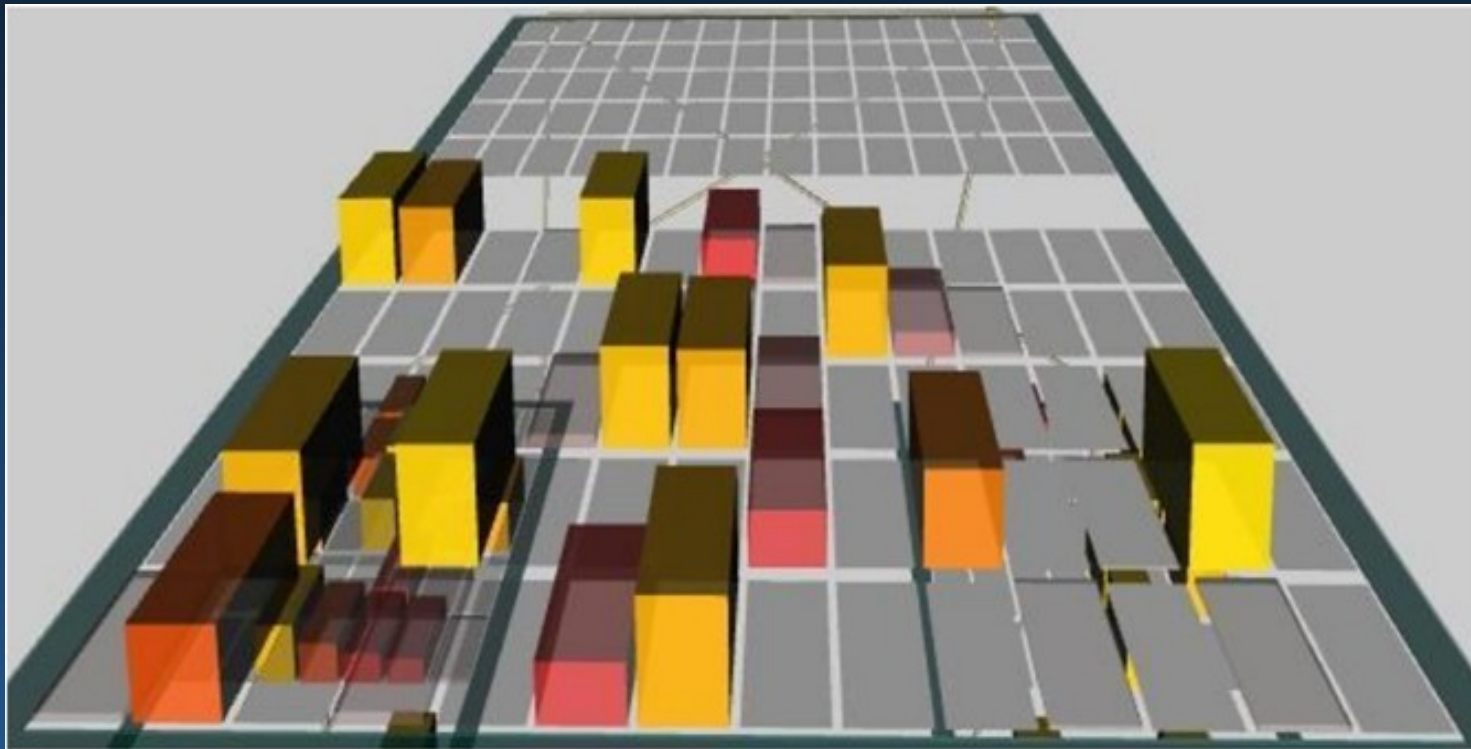
Nasz [Viser toolbox](#) (Dobosz, Duch) do wizualizacji szeregów czasowych w wielu wymiarach różnymi technikami.

Warstwa semantyczna

W naszych symulacjach mamy 140 jednostek, każda reprezentuje jakąś cechę.
Np. dla słowa “case” widać obecność pewnych cech i brak innych. Reprezentacja jest rzadka, niewiele jednostek jest silnie pobudzonych.

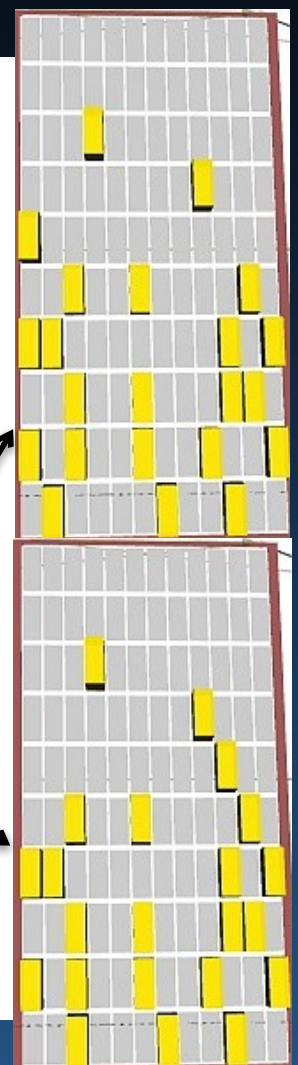
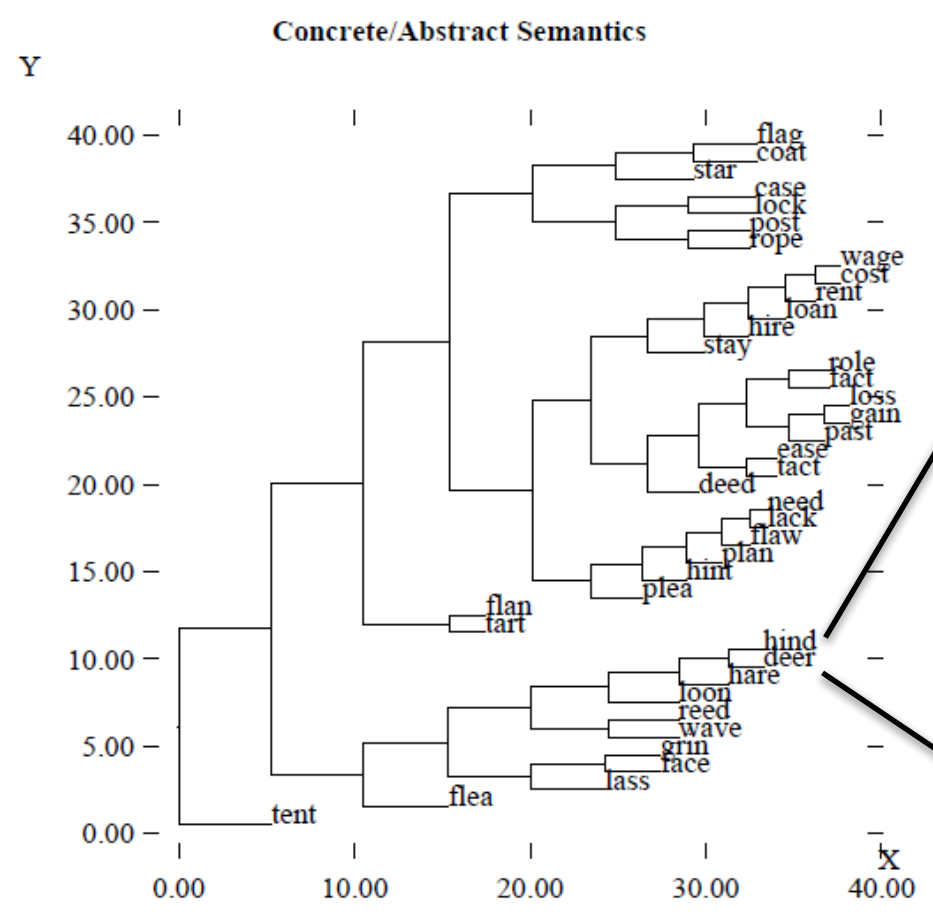
Pojęcia/słowa są wzorcami aktywnych cech.

Skojarzenia = przejścia pomiędzy wzorcami, zwykle mają wspólne cechy.



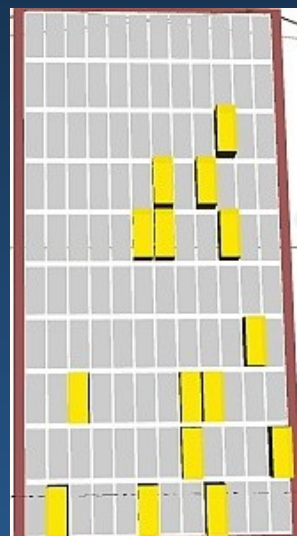
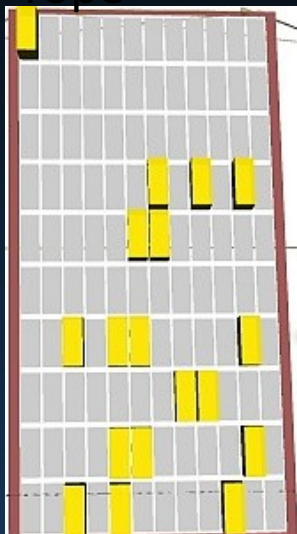
Sieć czyta słowa

Conc	Phon	Abst	Phon
tart	tttartt	tact	ttt@ktt
tent	tttentt	rent	rrrentt
face	fffAsss	fact	fff@ktt
deer	dddErrr	deed	dddEddd
coat	kkkOttt	cost	kkkostt
grin	grrinnn	gain	gggAnnn
lock	lllakkk	lack	lll@kkk
rope	rrrOppp	role	rrrOlll
hare	hhhArrr	hire	hhhIrrr
lass	lll@sss	loss	lllosss
flan	fllonnn	plan	pll@nnn
hind	hhhIndd	hint	hhhhintt
wave	wwwAvvv	wage	wwwAjjj
flea	flle---	plea	plle---
star	sttarr	stay	sttA---
reed	rrrEddd	need	nnnEddd
loon	lllUnnn	loan	lllOnnn
case	kkkAsss	ease	---Ezzz
flag	fl@ggg	flaw	fllo---
post	pppOstt	past	ppp@stt



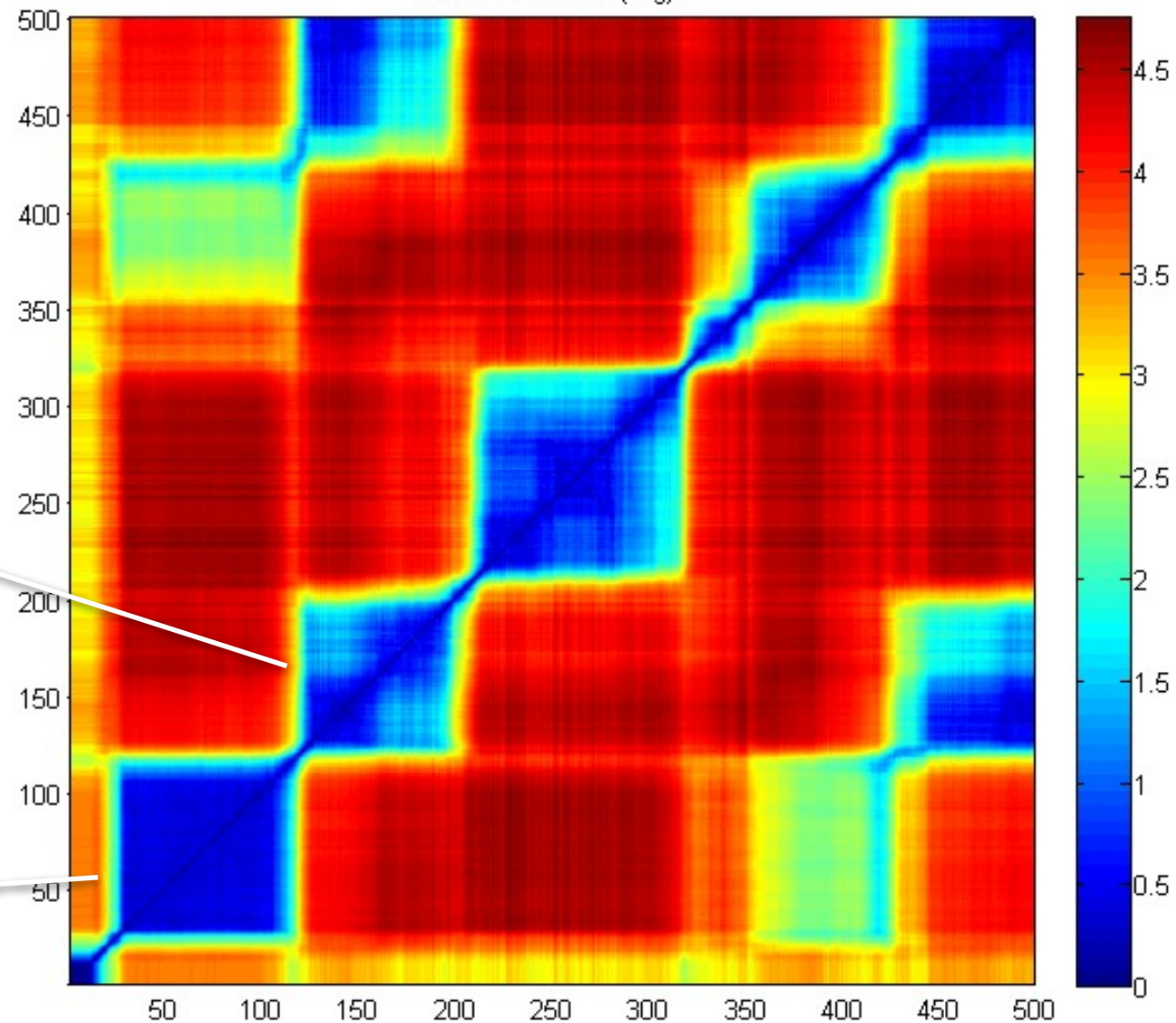
40 słów, 20 abstrakcyjnych i 20 konkretnych; dendrogram pokazuje podobieństwa warstwy semantycznej po treningu.

rope



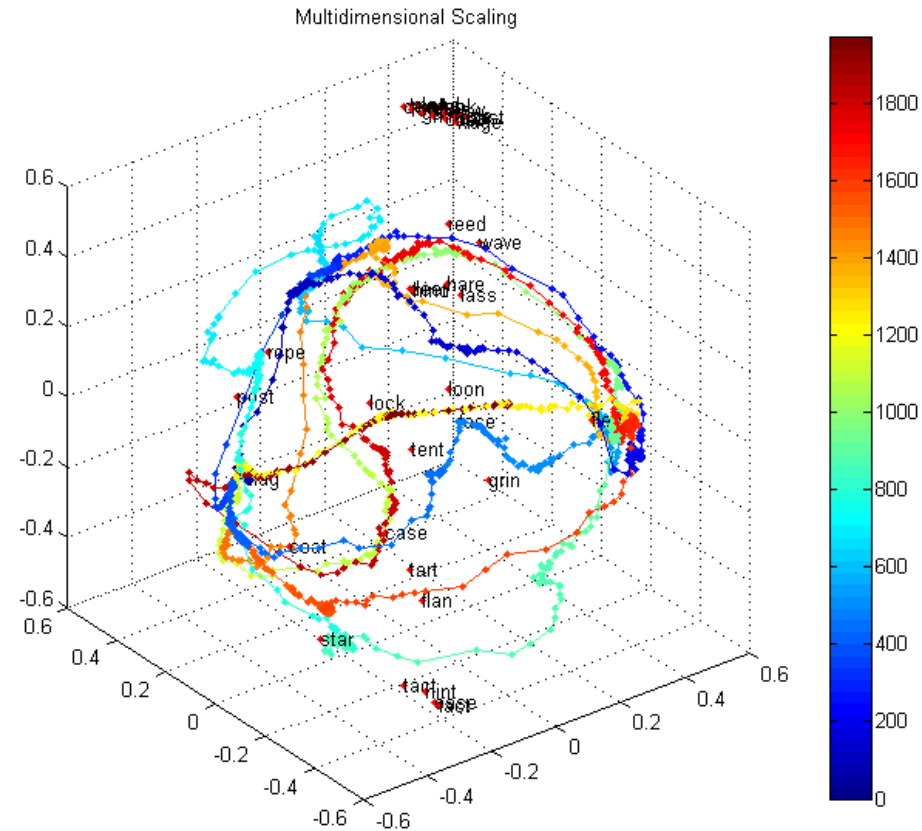
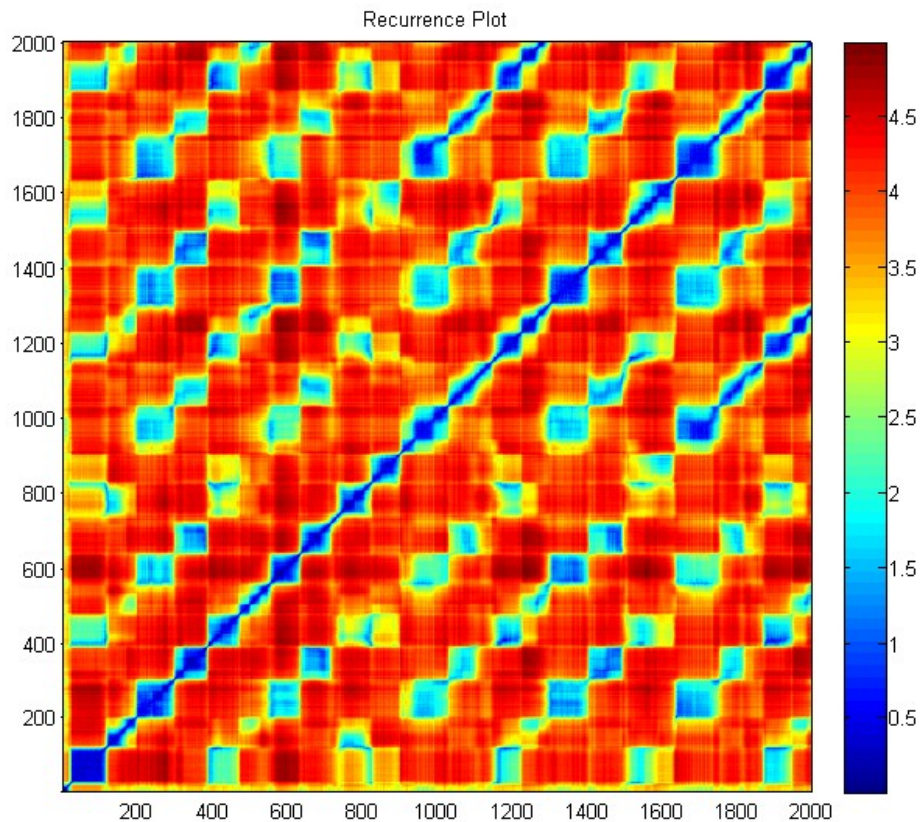
flag

Recurrence Plot (flag)



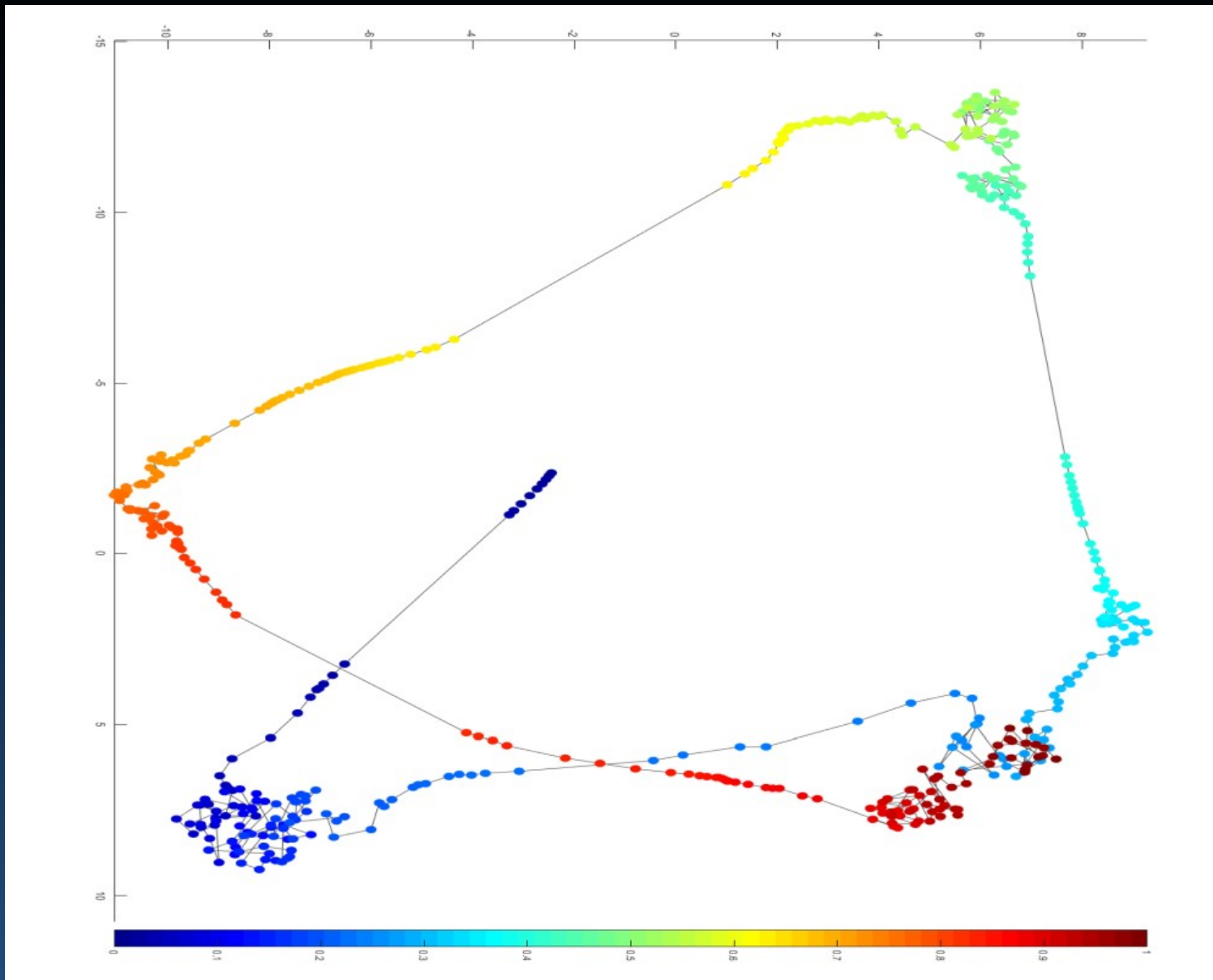
Mikrostany (~100 ms) i szybkie przejścia dzięki mechanizmowi WTA, pomiędzy stanami o nakrywających się aktywacjach.

Wizualizacja trajektorii

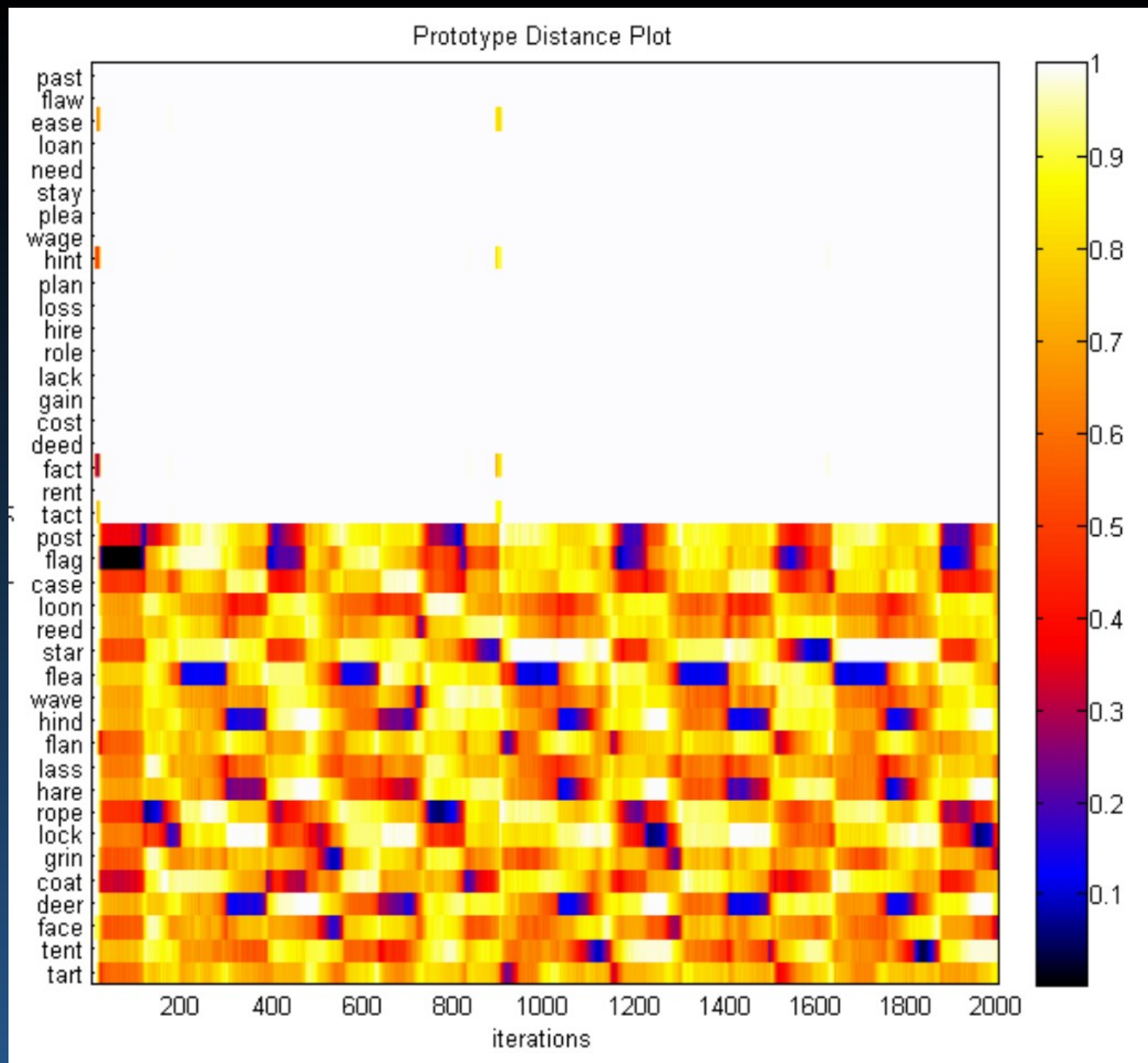


Wykresy rekurencji i wizualizacja MDS/FSD/tSNE trajektorii aktywności mózgu. Dane z 140-wymiarowej aktywności warstwy semantycznej w czasie spontanicznej asocjacji w domenie 40-słów, zaczynając od “flag”.

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



Wizualizacja za pomocą Stochastic Neighbor Embedding (tSNE). Sieć wędruje od słowa do słowa – “myśli do myśli”.

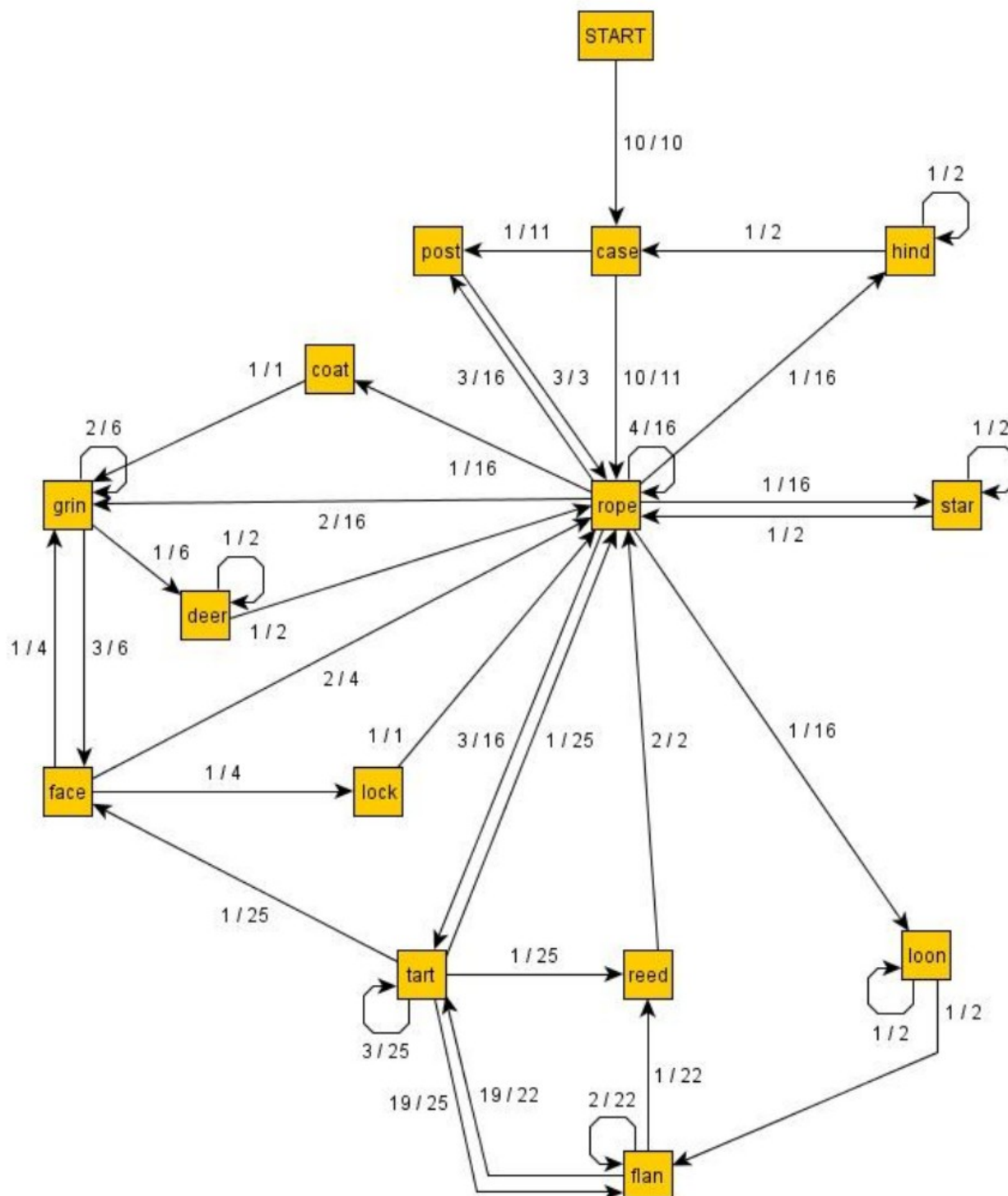


PDP (prototype distance plots) pokazuje jak daleko dany stan sieci jest od basenu atrakcji, czyli typowego wzorca aktywacji dla różnych słów.

Po uśrednieniu 10 przebiegów sieci można ocenić prawdopodobieństwa przejść pomiędzy różnymi stanami.

Dlaczego mamy takie przejścia?

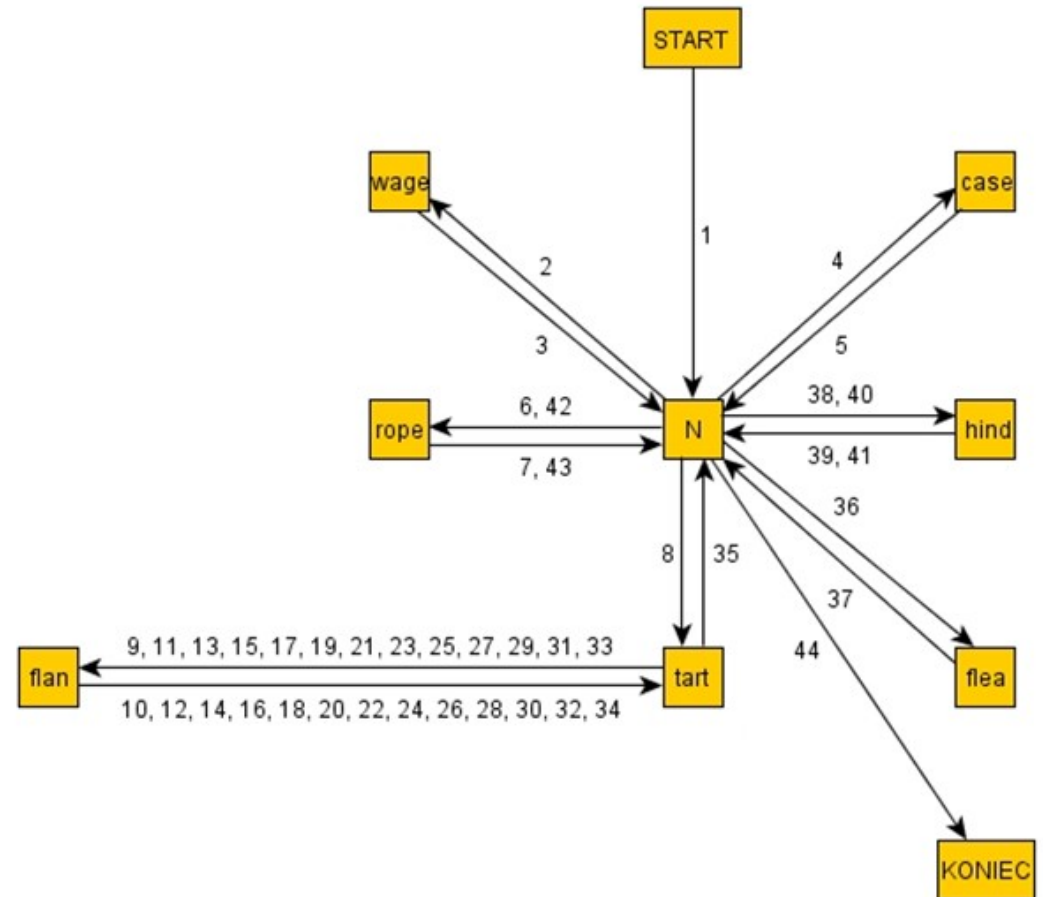
Połączone wzorce mają wspólne cechy.



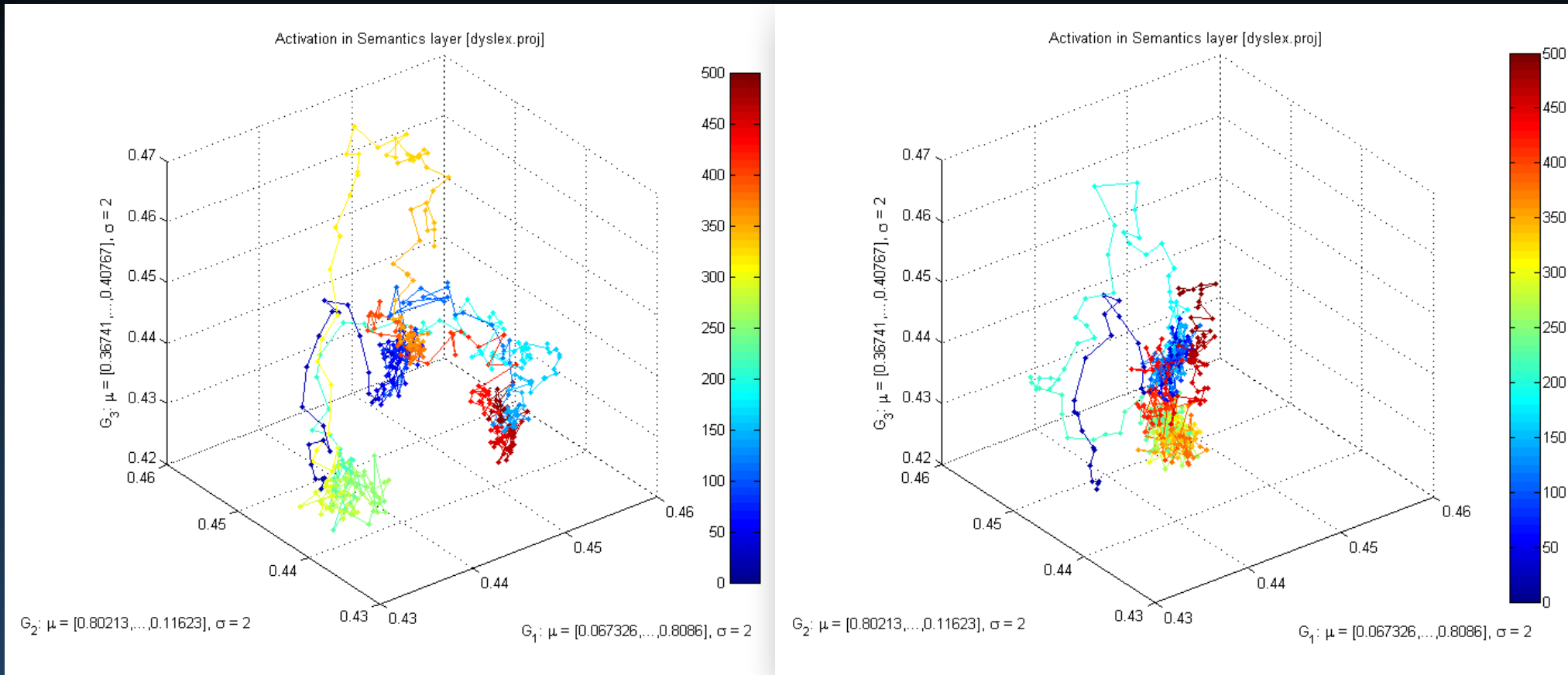
Grafy przejść

Określenie prawdopodobieństw wymaga wielu powtórzeń, inicjalizacji sieci, przejścia mogą być w różnym kierunku bo aktywacja w 140 wymiarach może przejść w różny sposób do innych. Decyduje o tym stan sieci, inicjalizowany przypadkowo, szum w sieci i priming, czyli przeszła historia.

Czasami widać obsesyjne oscylację między dwoma pojęciami.



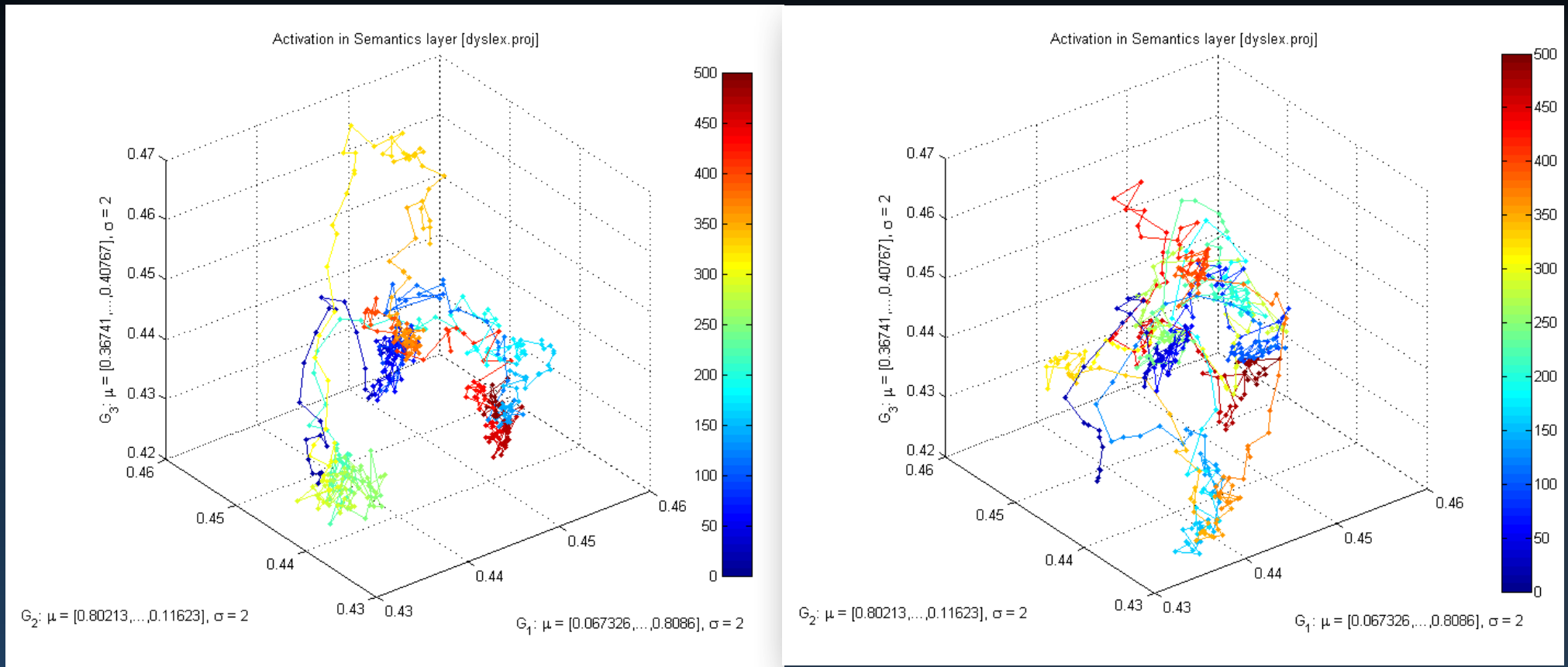
Norma-Autyzm



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

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

Norma - ADHD

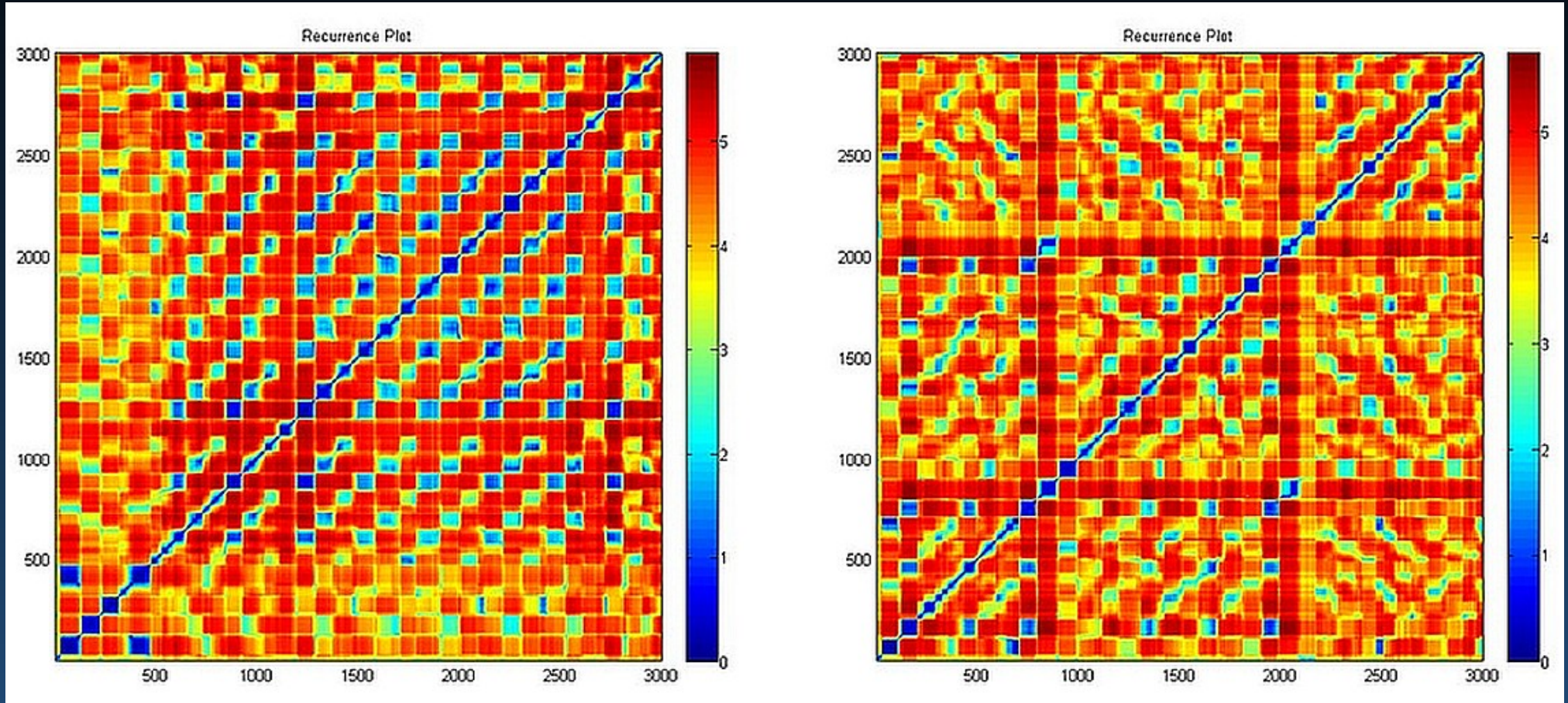


ADHD: dużo więcej i krócej trwających aktywacji wzorców, „ulotne” stany.

ADHD: kanały upływu zbyt otwarte, szybka depolaryzacja neuronów, krótki czas kwazistabilnych stanów atraktorowych.

ASD: kanały upływu zbyt zamknięte, wolna depolaryzacja neuronów, długi czas kwazistabilnych stanów atraktorowych.

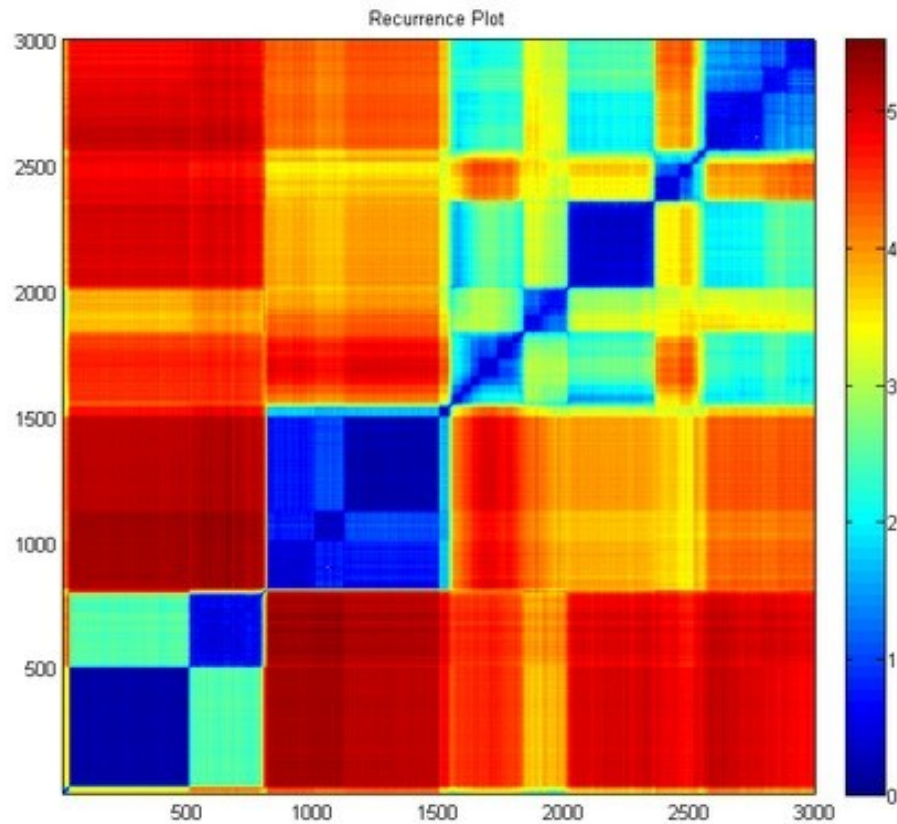
RSVP: normalne mózgi



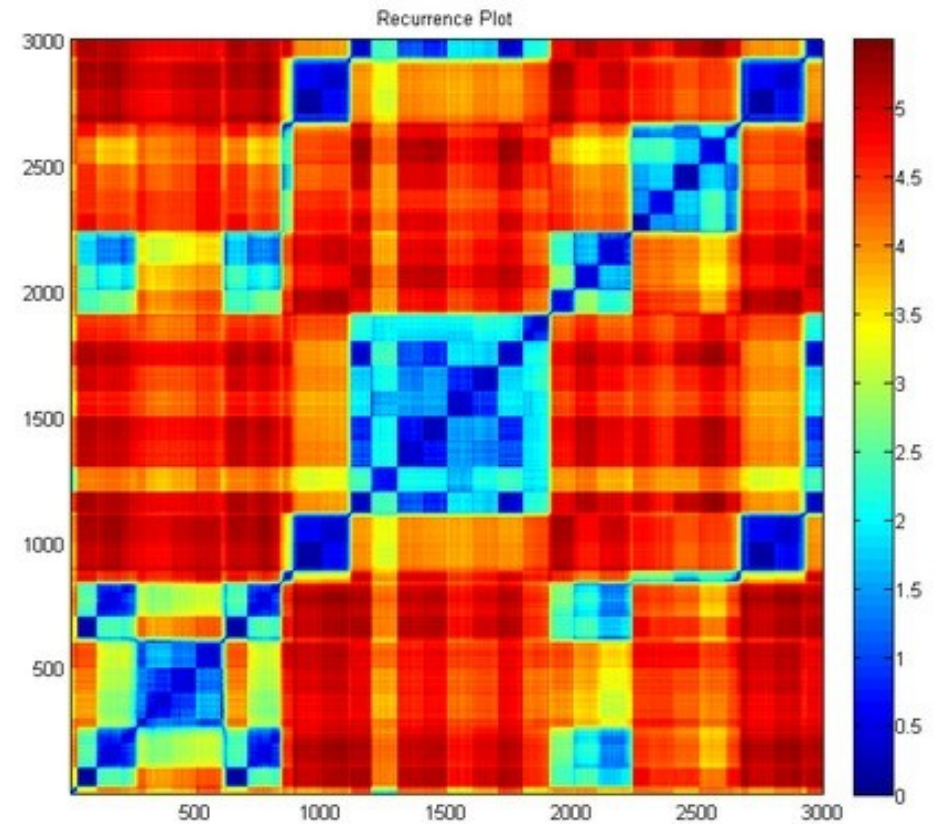
Normalna szybkość
skojarzenia, kontekst= rozumienie pojęcia
nie ma czasu na skojarzenia.

5x szybsza prezentacja
mikrostany nie są już tak podobne

RSVP i symulację głębokiego autyzmu



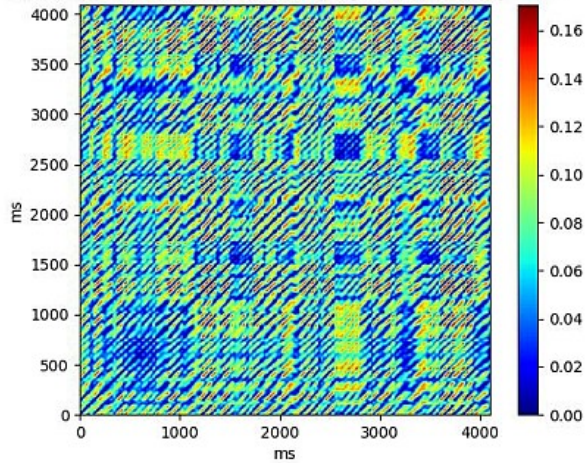
Normalna szybkość
niewiele skojarzeń,
długi czas skupienia



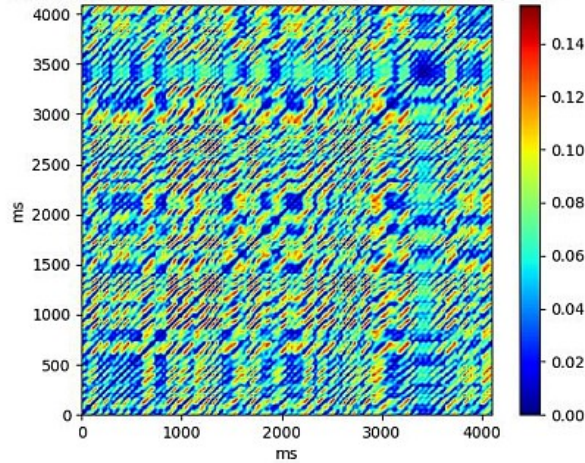
szybkie prezentacje
bardziej zróżnicowane stany
wewnętrzne, są skojarzenia

Rzeczywiste sygnały EEG

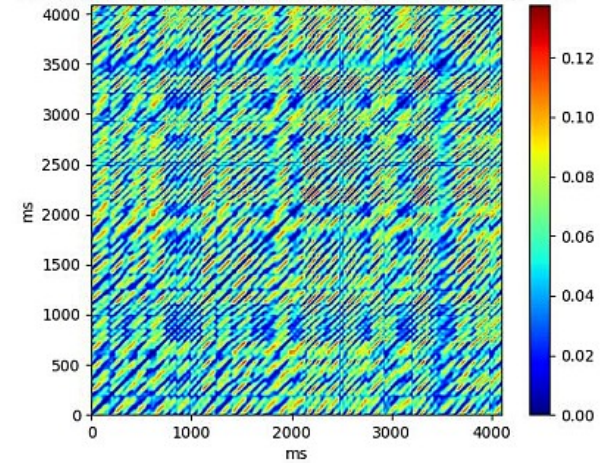
Electrode: F5, theta band, embedding = 4, time delay = 25



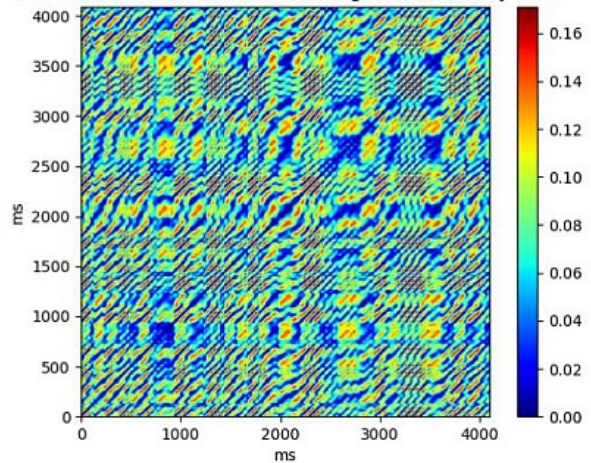
Electrode: F6, theta band, embedding = 4, time delay = 25



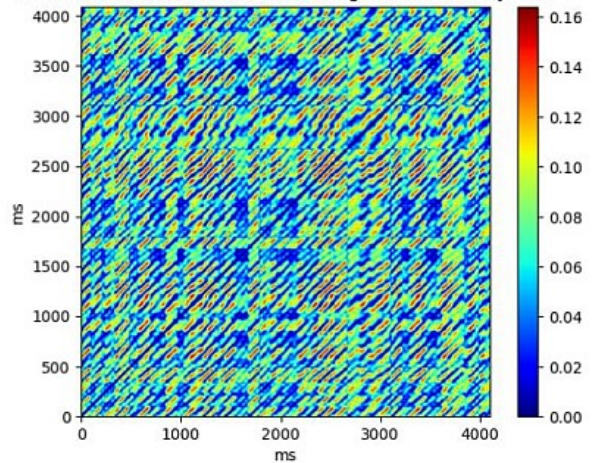
Electrode: C6, theta band, embedding = 5, time delay = 25



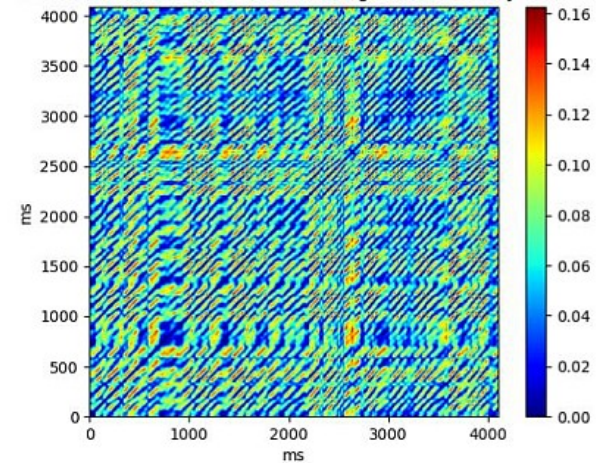
Electrode: C5, theta band, embedding = 4, time delay = 24



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



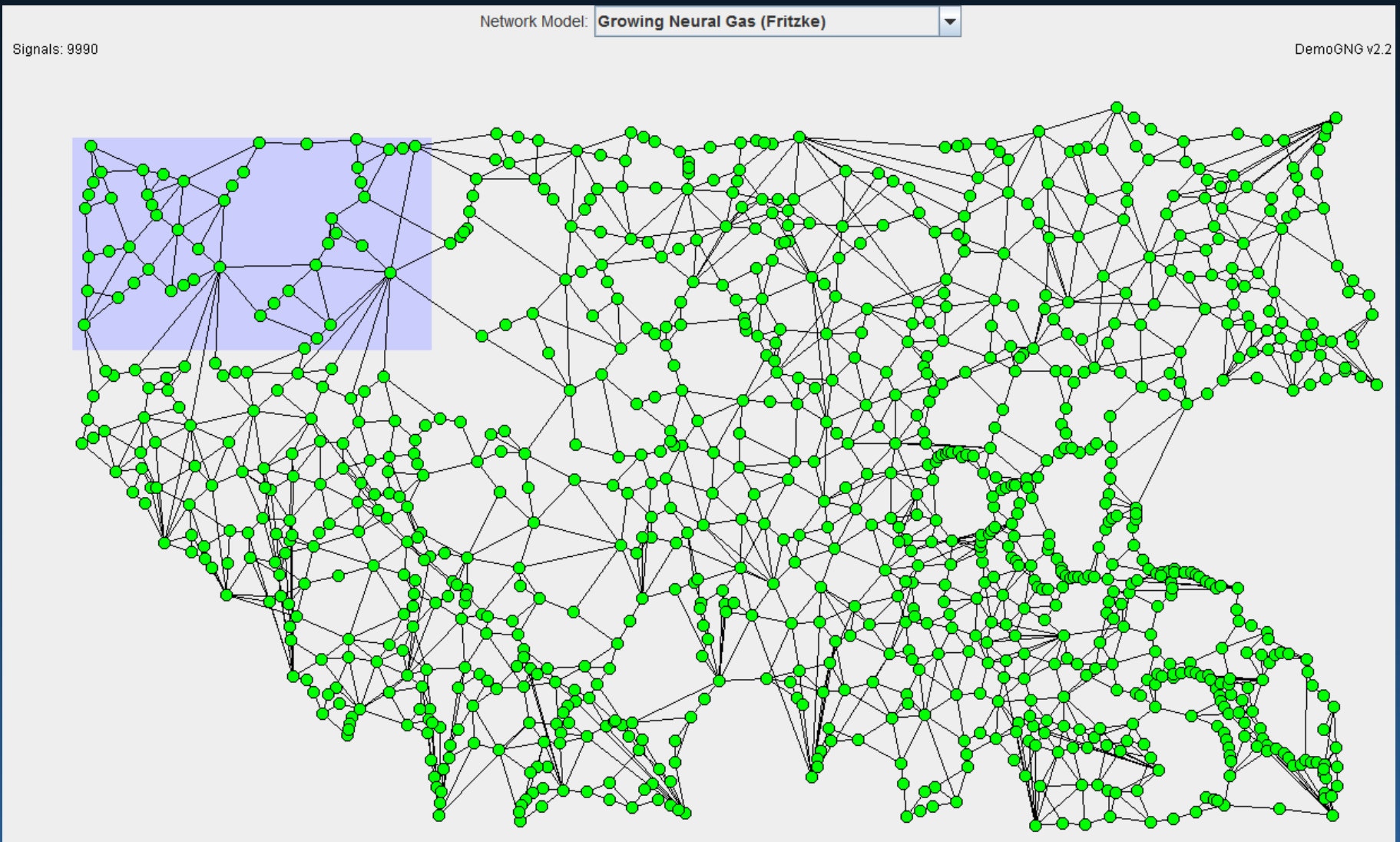
Electrode: Cz, theta band, embedding = 4, time delay = 24



Dane z EEG, 6 kanałów, pasmo teta, rekonstrukcja atraktorów przez embedding:
 $[y(t), y(t-\tau), y(t-2\tau), \dots, y(t-n\tau)]$

Neuroplastyczność

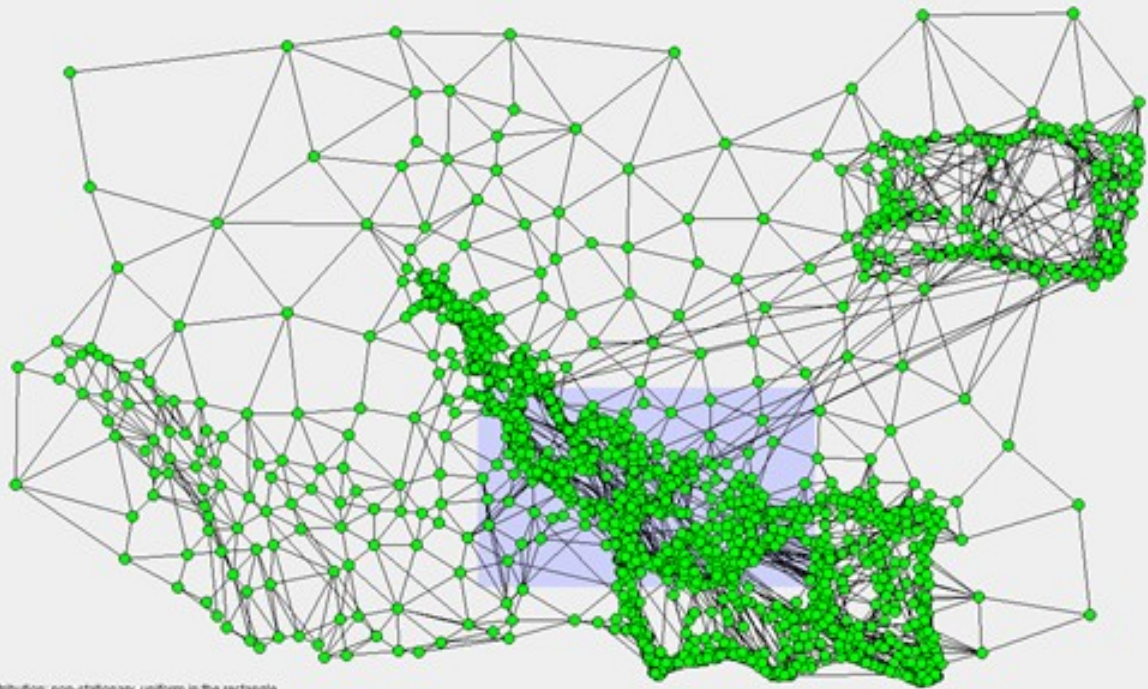
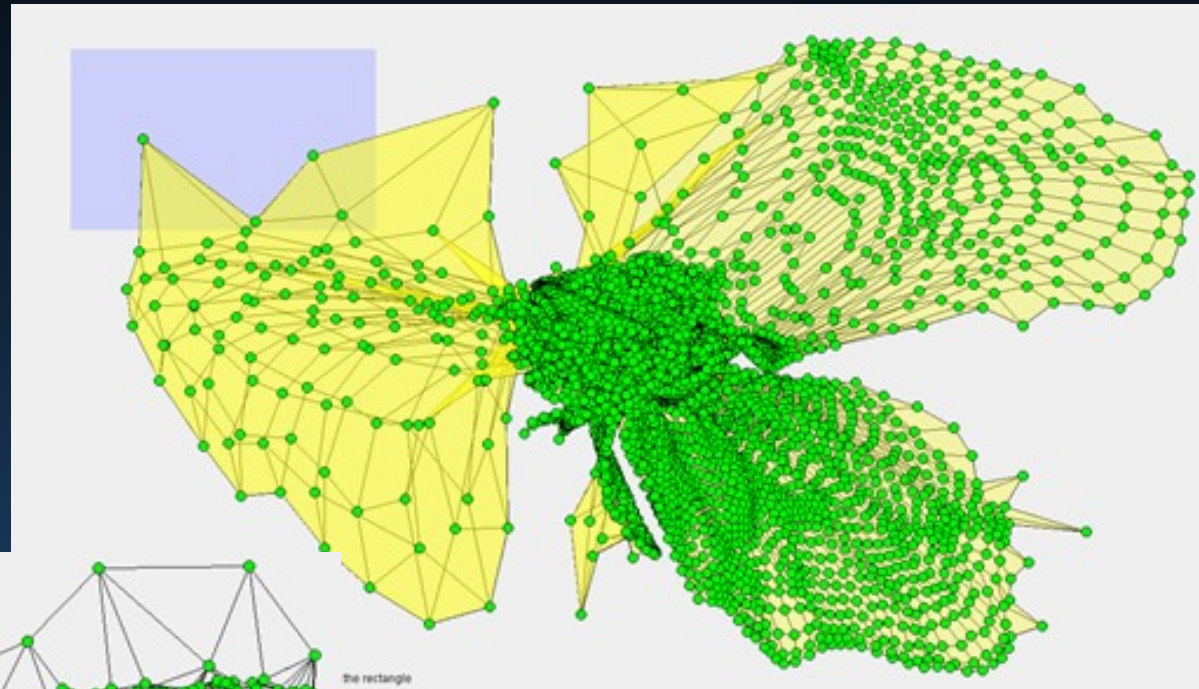
Tworzy się siatka pojęciowa, każdy węzeł = mikrostan, pomiędzy nimi są szybkie przejścia, niektóre stany pobudzają ośrodki ruchu i mowy. Siatka pojęciowa nie odwzorowuje obiektywnie stanów środowiska. Model GNG.



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

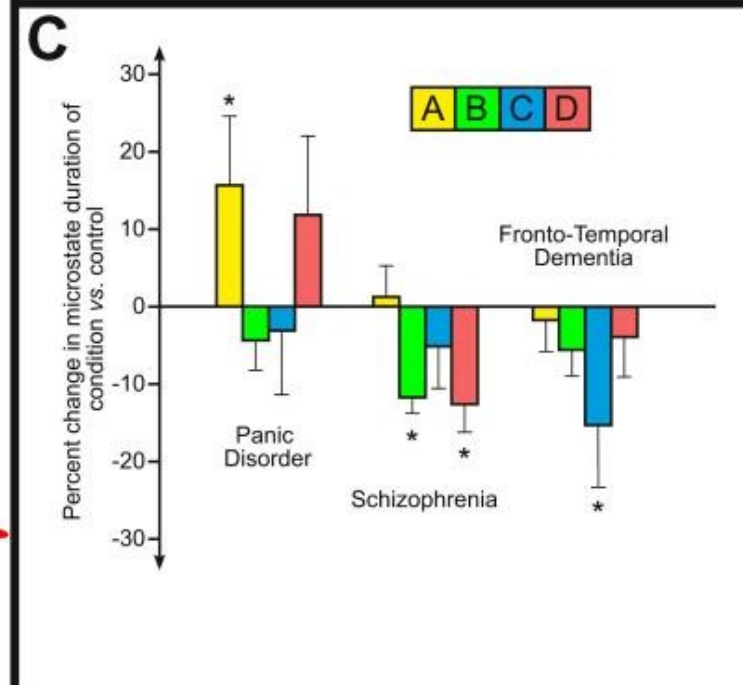
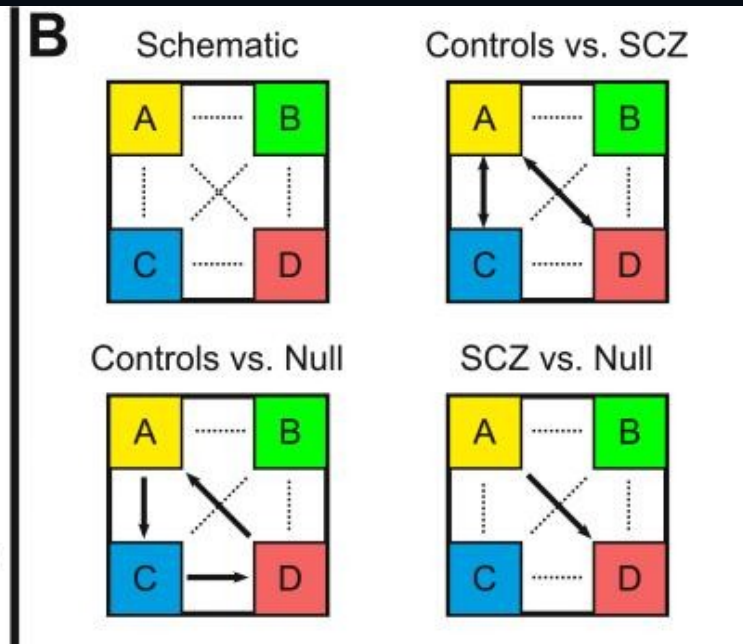
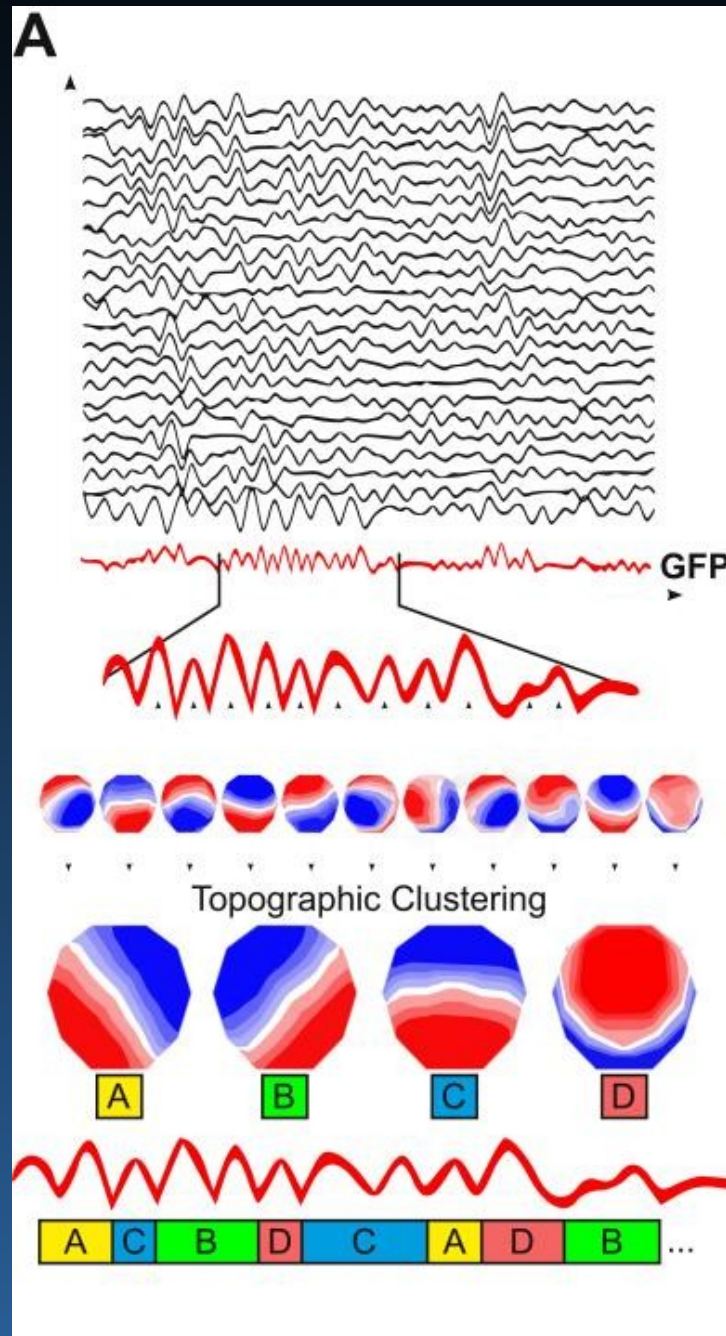
[arXiv:1508.04561](https://arxiv.org/abs/1508.04561)

Mikrostany z EEG

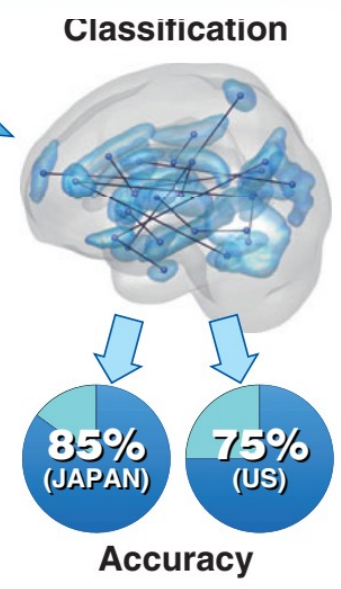
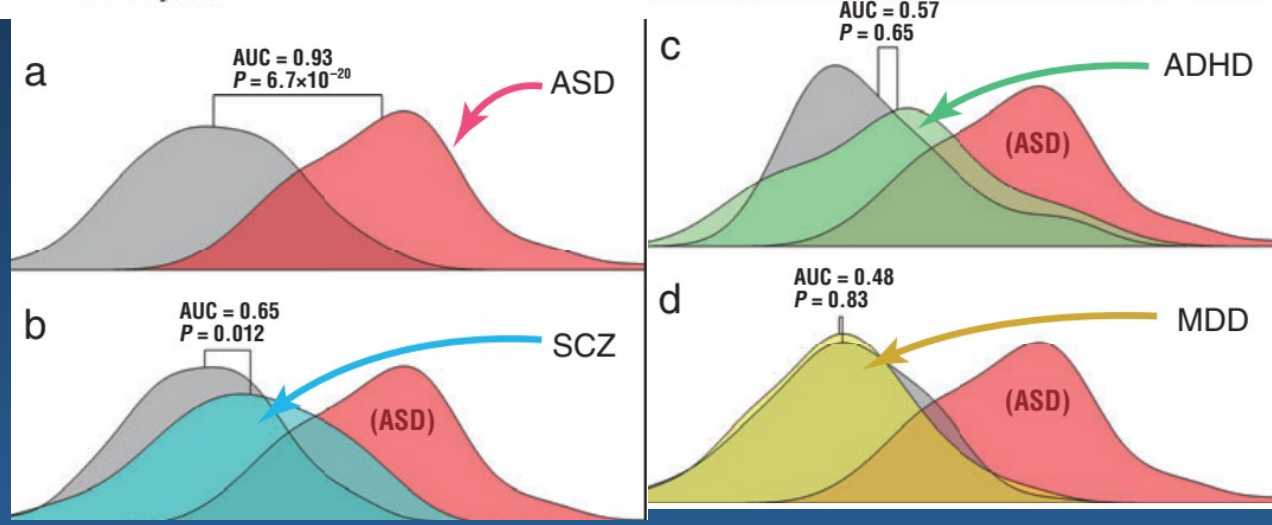
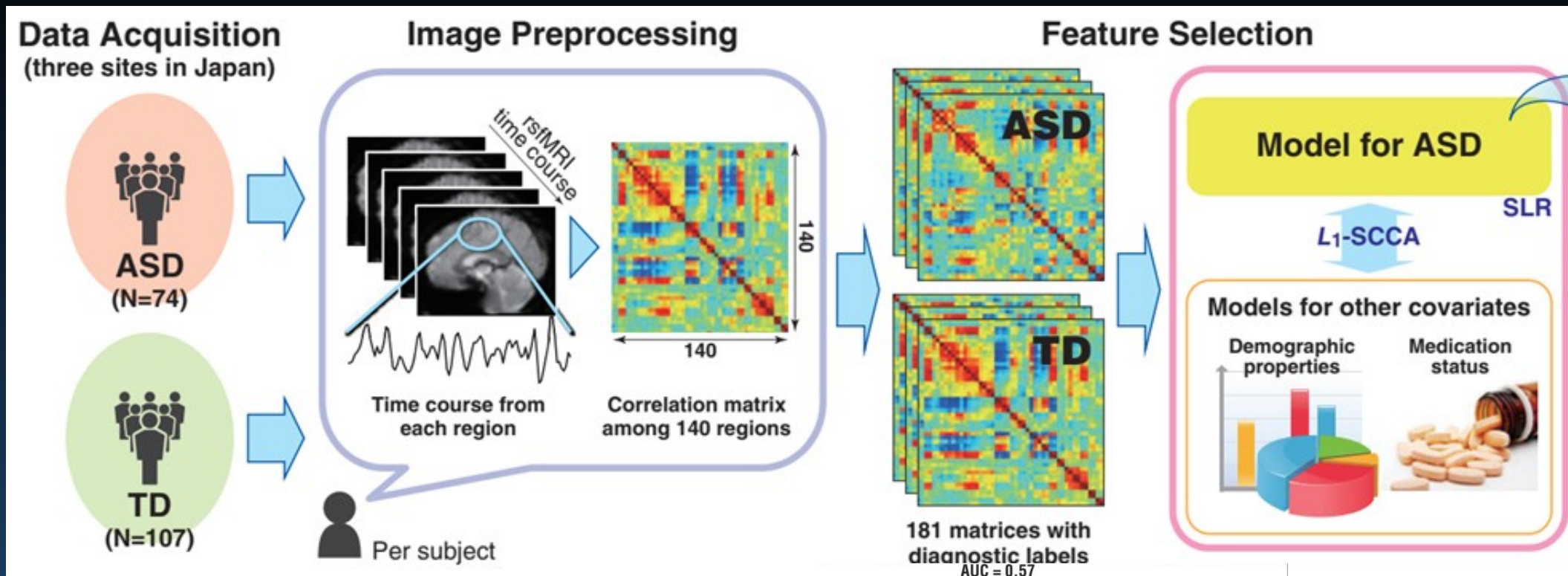
Lehmann et al.
 Mikrostan EEG u osób
 cierpiących na różne
 zaburzenia psychiczne.
 Psychiatry Research
 Neuroimaging, 2005

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

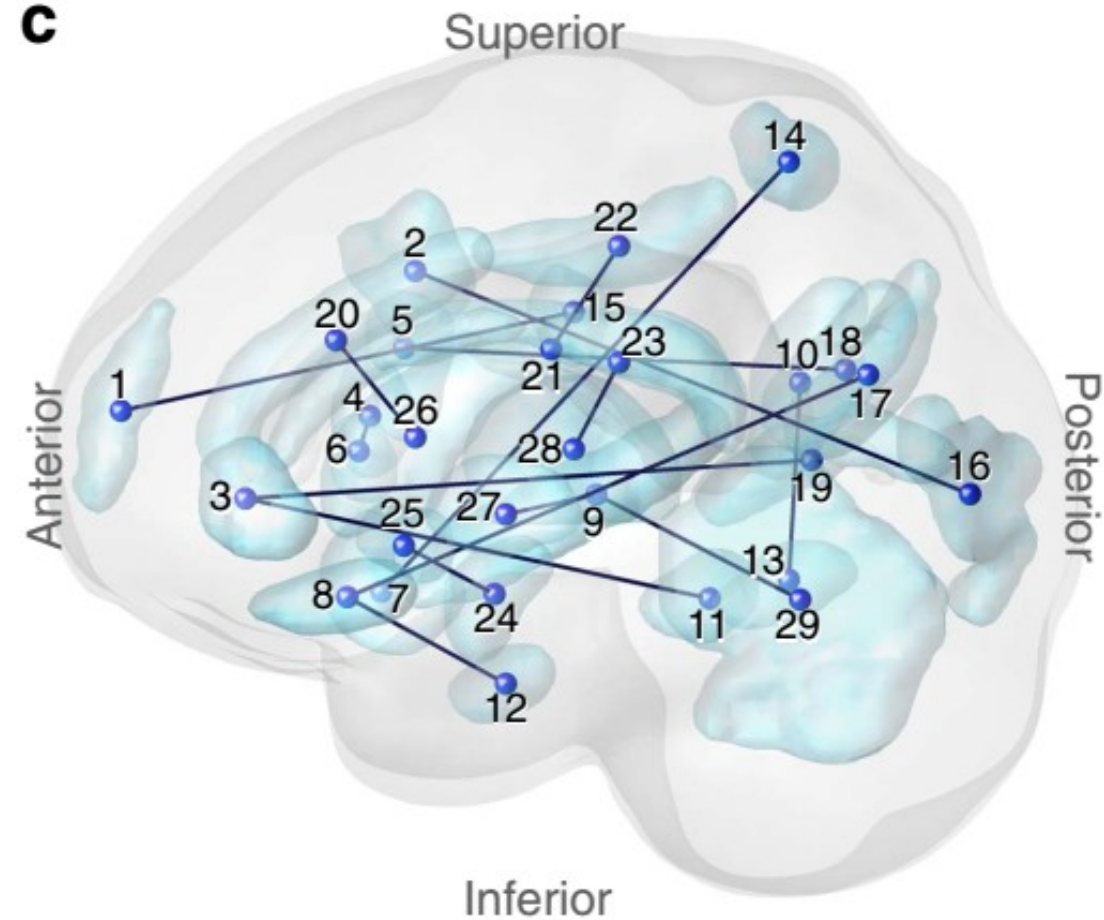
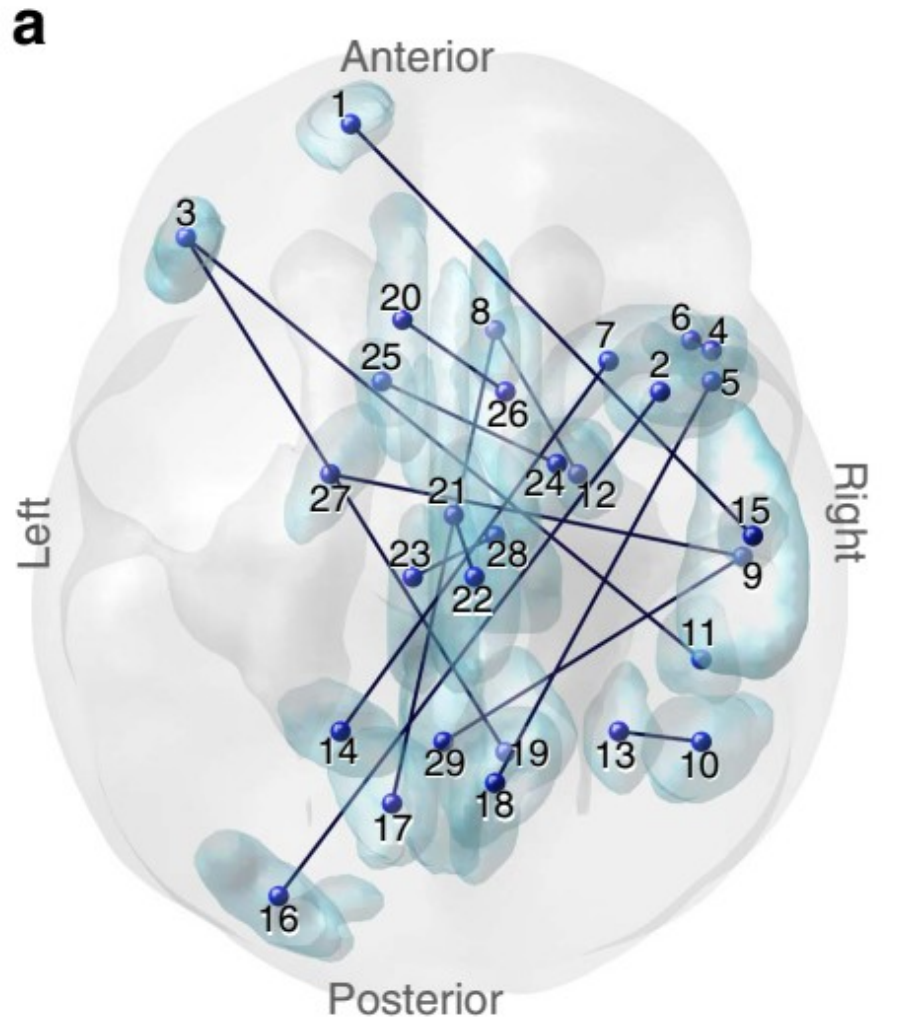
Symboliczna dynamika.



Biomarkery z neuroobrazowania



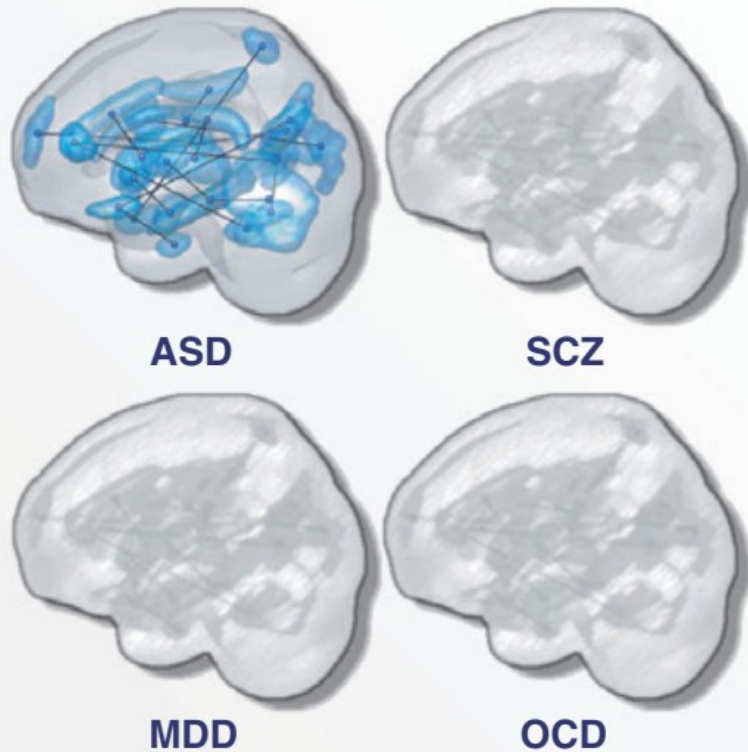
Wybrane połączenia



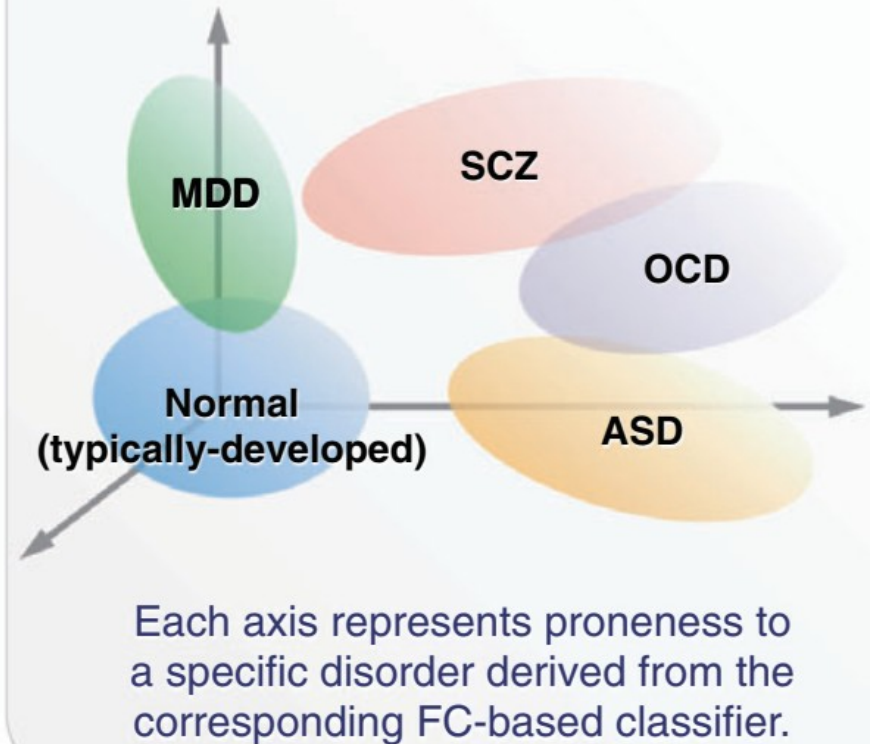
N. Yahata et al (2016): 29 wybrane regiony (ROI) i siła 16 najważniejszych połączeń pozwala rozpoznać autyzm z dokładnością 85% po nauczaniu systemu na pacjentach w Japonii; system w USA bez zmian rozpoznał prawidłowo 75%.

Biomarkery zaburzeń psychicznych

Functional connectivity-based classifiers for mental disorders



Recasting current nosology in more biologically meaningful dimensions



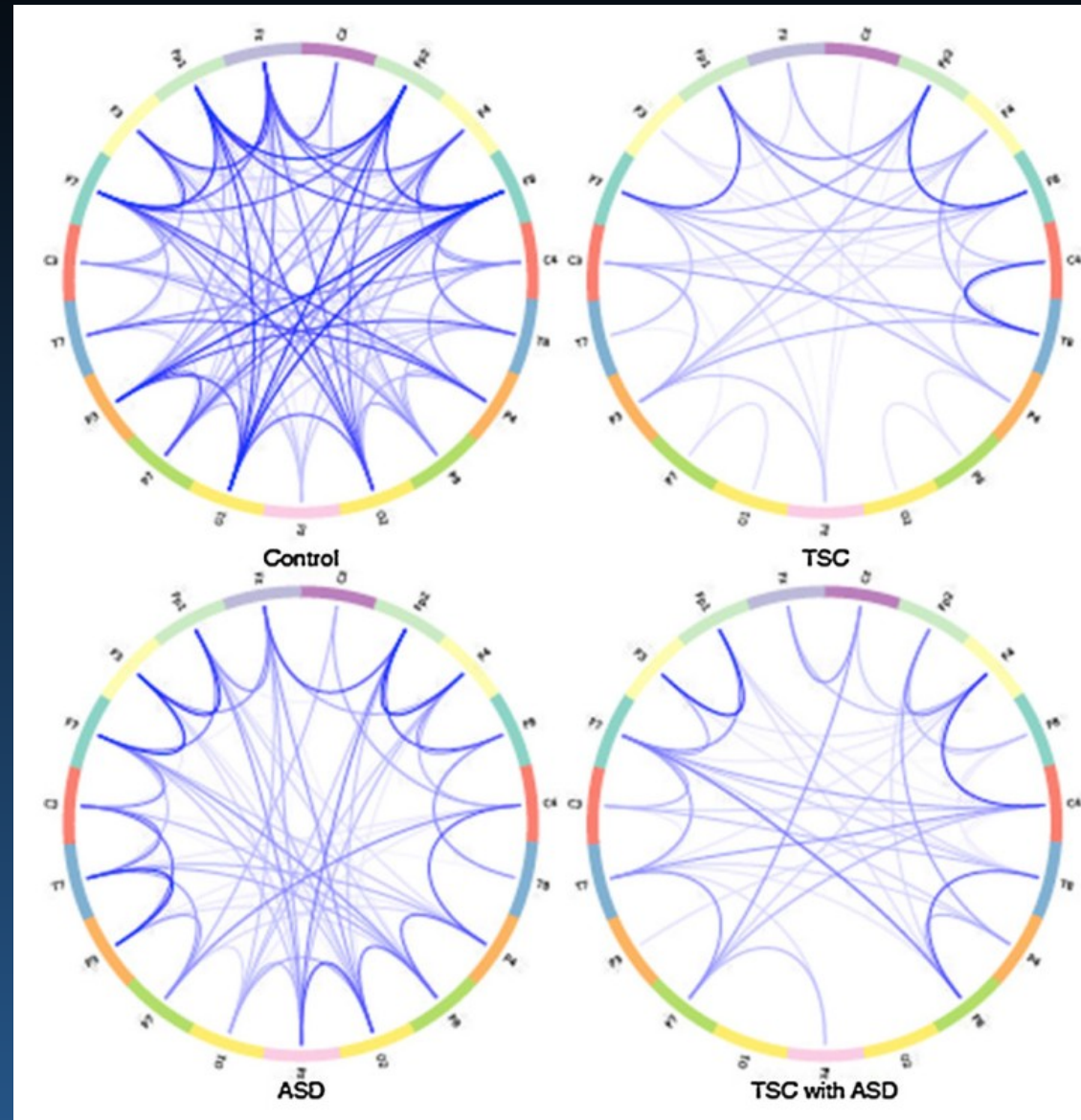
MDD, głęboka depresja, SCZ, schizofrenia, OCD, zaburzenie kompulsyjno-obsesyjne, ASD autyzm. Biomarkery z danych fMRI pozwalają na obiektywne oceny. N. Yahata et al, *Psychiatry & Clinical Neurosciences* 2017; **71**: 215–237

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.

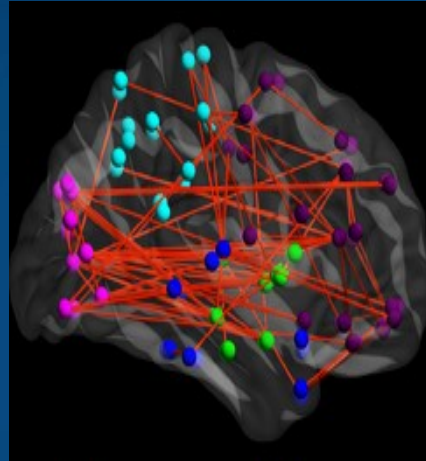


Konektom z MRI/fMRI

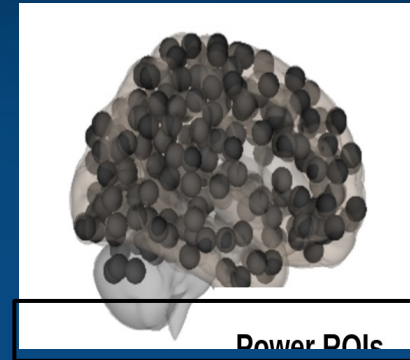
Structural connectivity



Functional connectivity

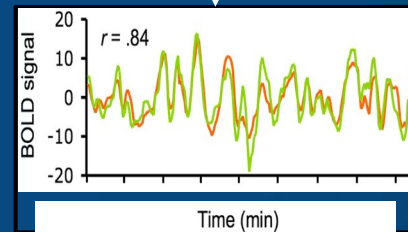


Node definition (parcelation)



Power ROIs

Signal extraction

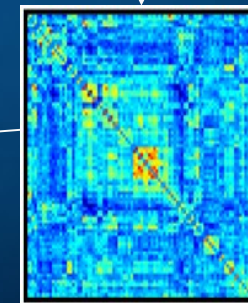


Correlation calculation

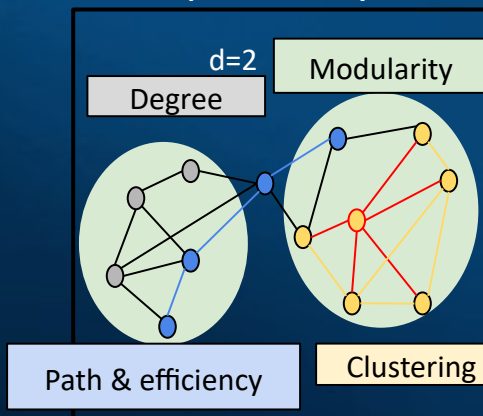
Binary matrix



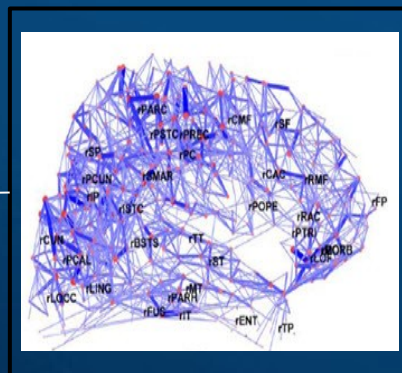
Correlation matrix



Graph theory



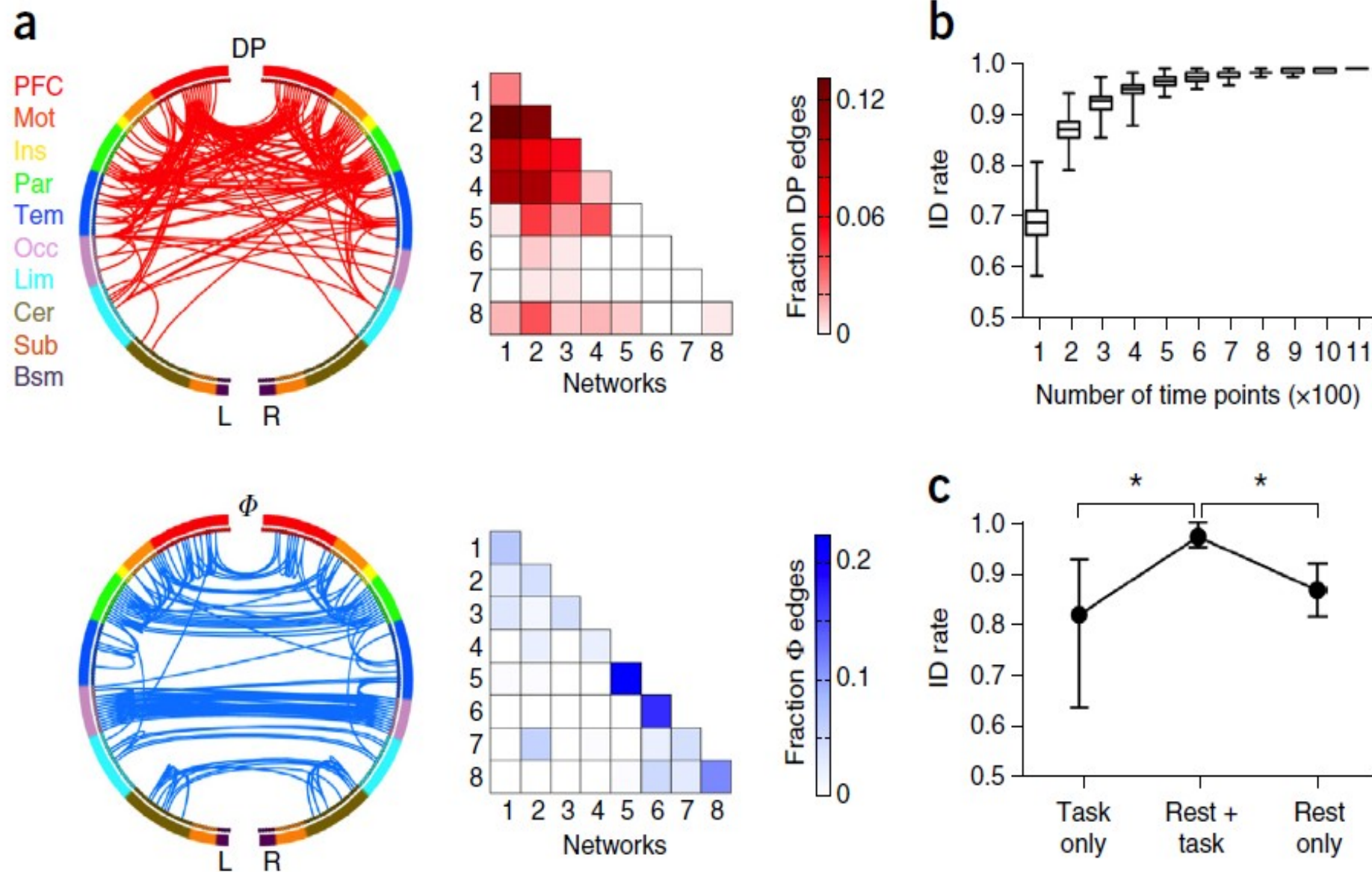
Whole-brain graph



Many toolboxes available for such analysis.

Bullmore & Sporns (2009)

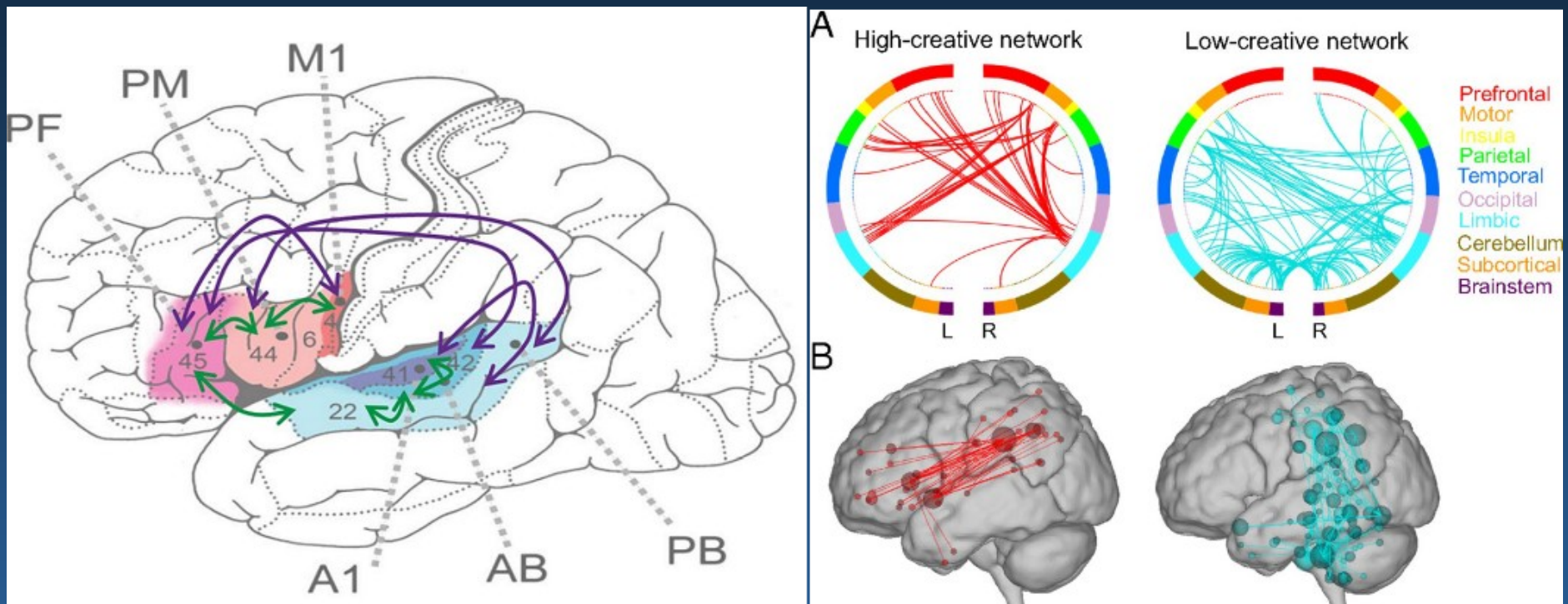
Finn et al. (2015), **Functional connectome fingerprinting**: identifying individuals using patterns of brain connectivity. Nature Neuroscience.
 Góra: duże indywidualne różnice; dół: stabilne połączenia.



Rozwój inteligencji

W okresie niemowlęcym najpierw ruch i związane z nim wrażenia wpływają na organizację przepływu informacji przez mózg. Zanim dziecko zacznie wymawiać słowa pokazuje swoje intencje gestami (nauka .

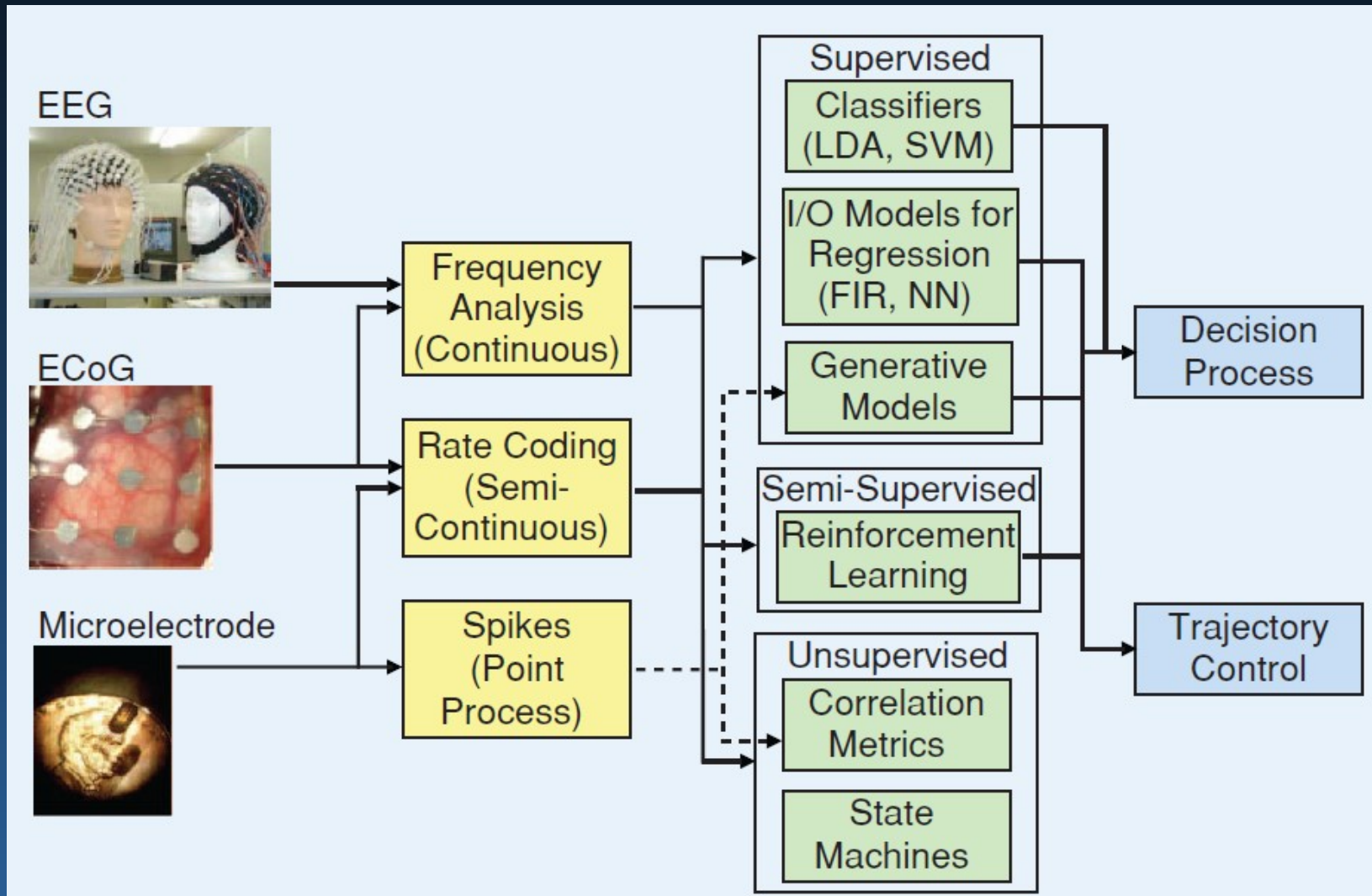
The Developing Human Connectome Project: jak rozwija się konektom, sieć połączeń w mózgu w okresie pre-natalnym, 20 - 44 tygodnia ciąży?
Badania za pomocą neuroobrazowania (fMRI, EEG), obserwacji ruchów i reakcji płodu, genetyce. Neurony wysyłają impulsy dopiero w 24 tyg. ciąży.



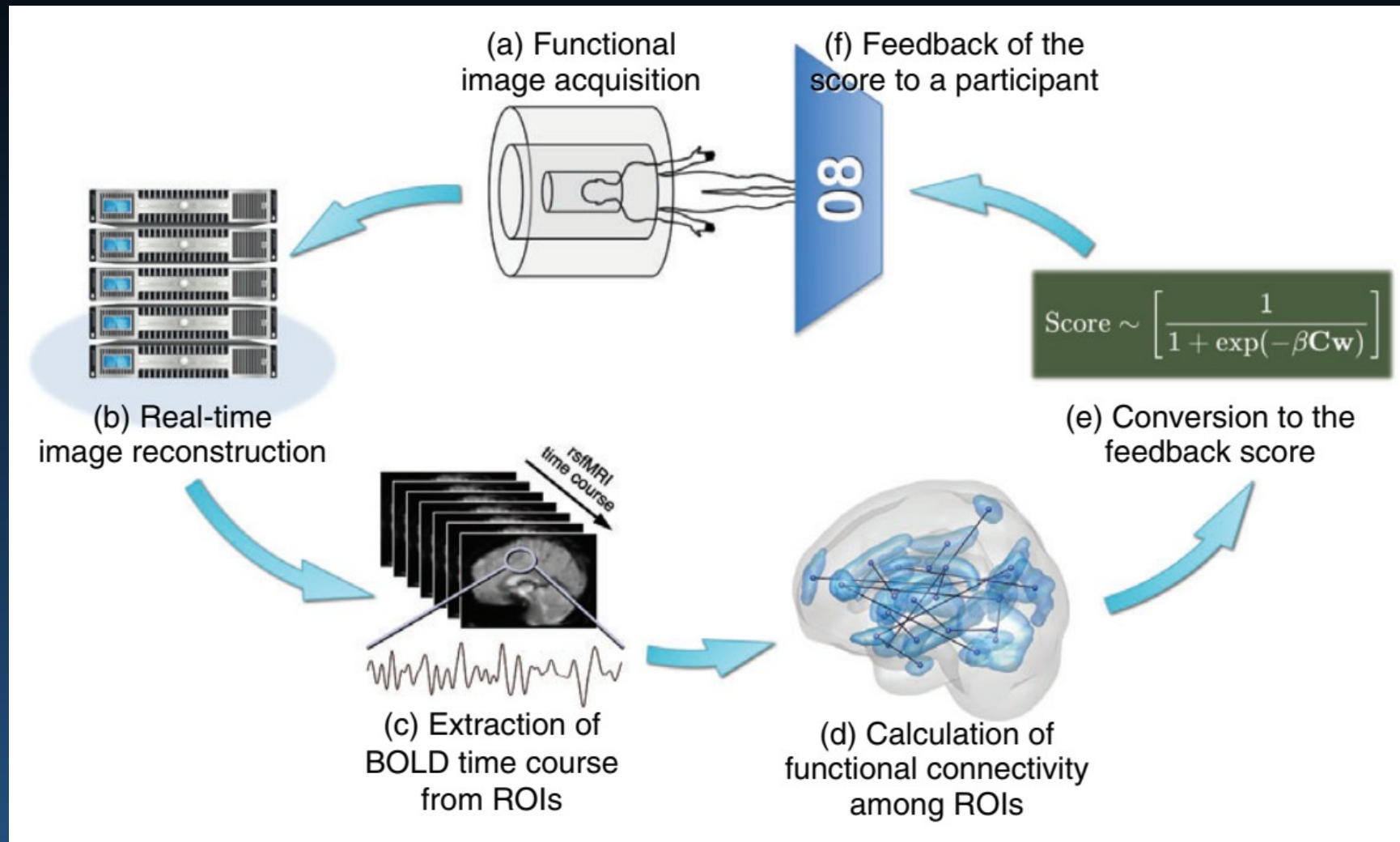
Brain-Computer Interfaces (BCI)

Rozpoznawanie stanów mentalnych (mind reading), intencji działania, pozwala na konstruowanie interfejsów mózg-komputer (BCI).

Im lepszy dostęp do neuronów tym więcej informacji można odczytać.



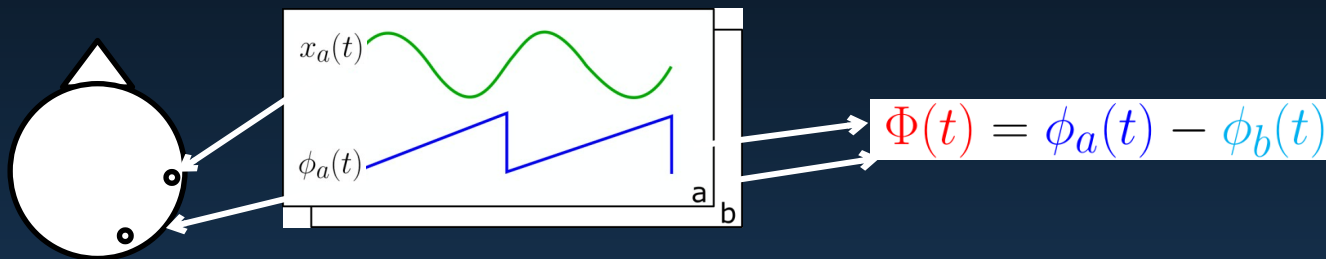
BCBI naprawia mózgi



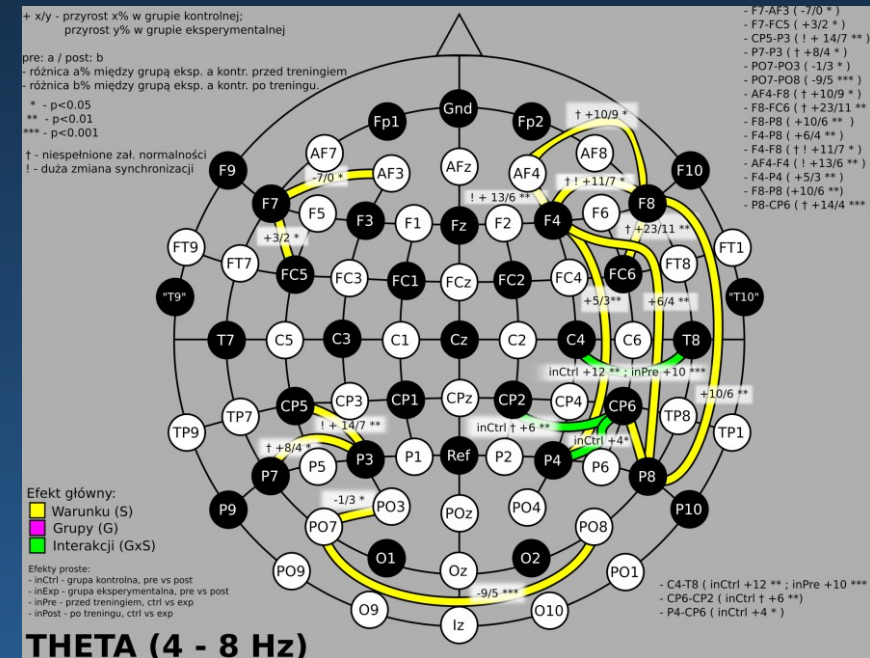
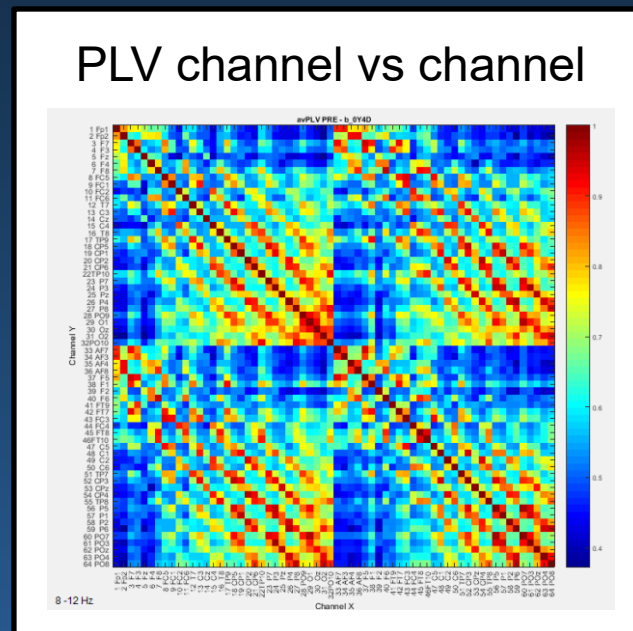
Megumi F, Yamashita A, Kawato M, Imamizu H. Functional MRI neurofeedback training on connectivity between two regions induces long-lasting changes in intrinsic functional network. *Front. Hum. Neurosci.* 2015; 9: 160.

Zmiany funkcjonalnej łączliwości

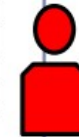
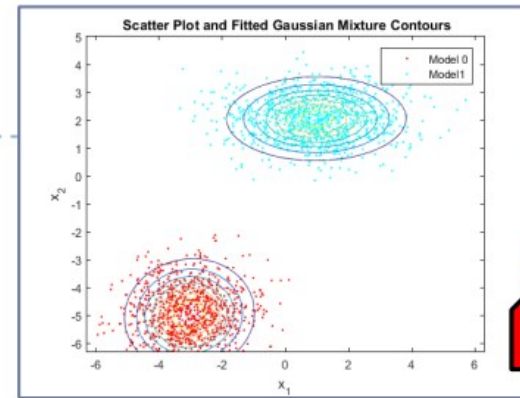
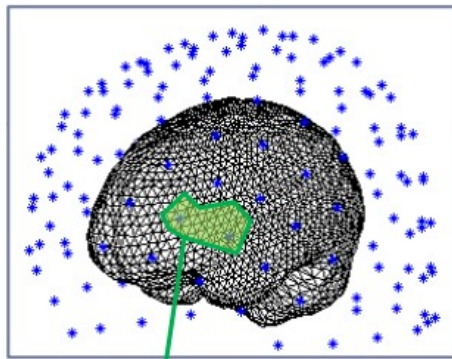
Wpływ treningu gier logicznych vs. zręcznościowych na sieci funkcjonalne. **Phase Locking Value** (Lachaux 1999), indeks oparty na różnicy fazy między sygnałami z dwóch elektrod. PLV => mapy synchronizacji, ~ przepływ info.



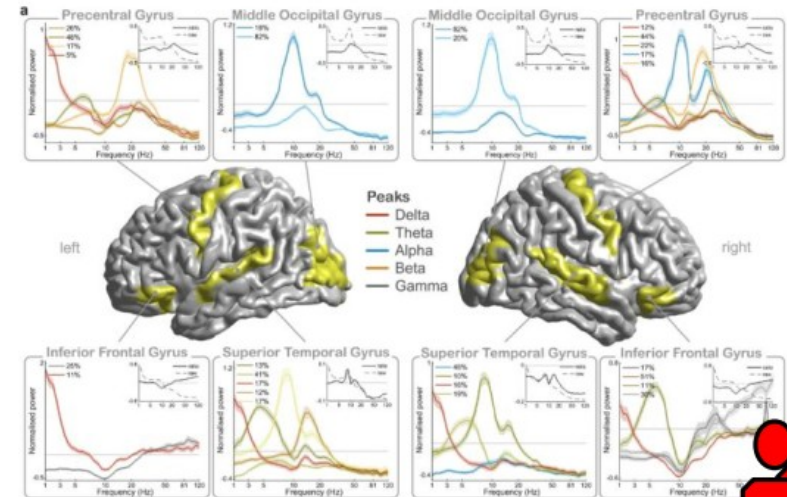
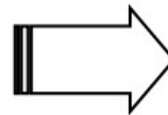
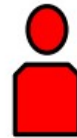
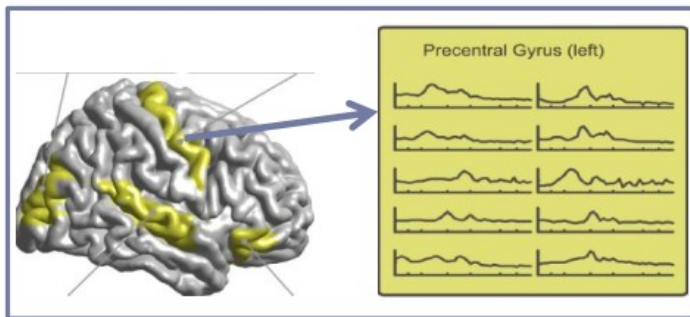
$$PLV(a, b) = \frac{1}{T} \left| \sum_t e^{i\Phi(t)} \right|$$



Spectralne fingerprinty



Single subject



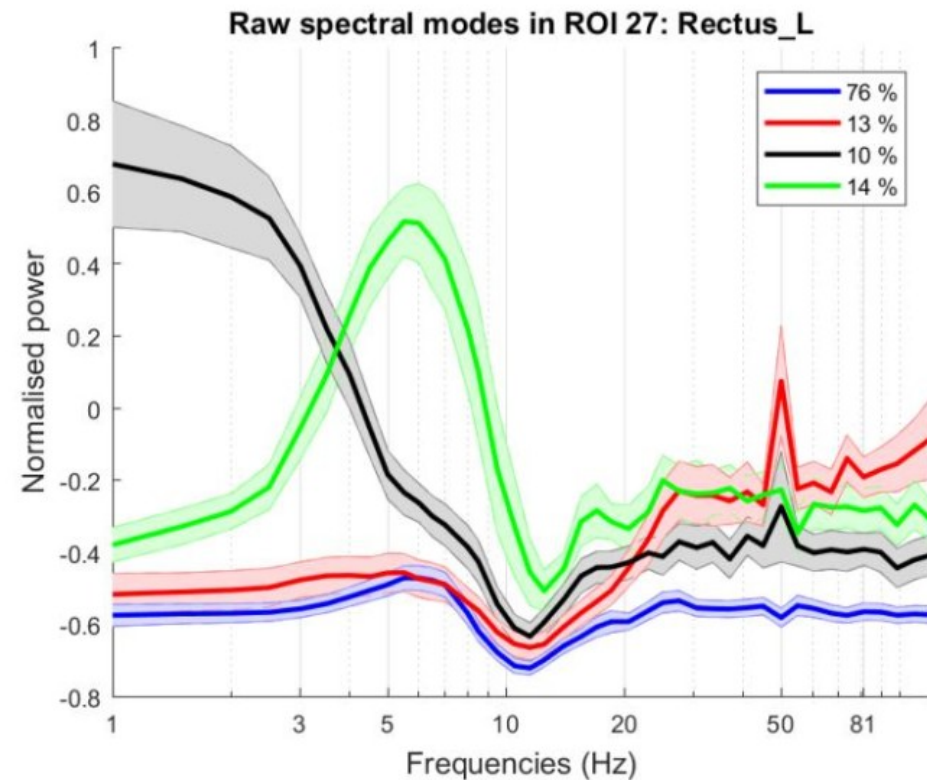
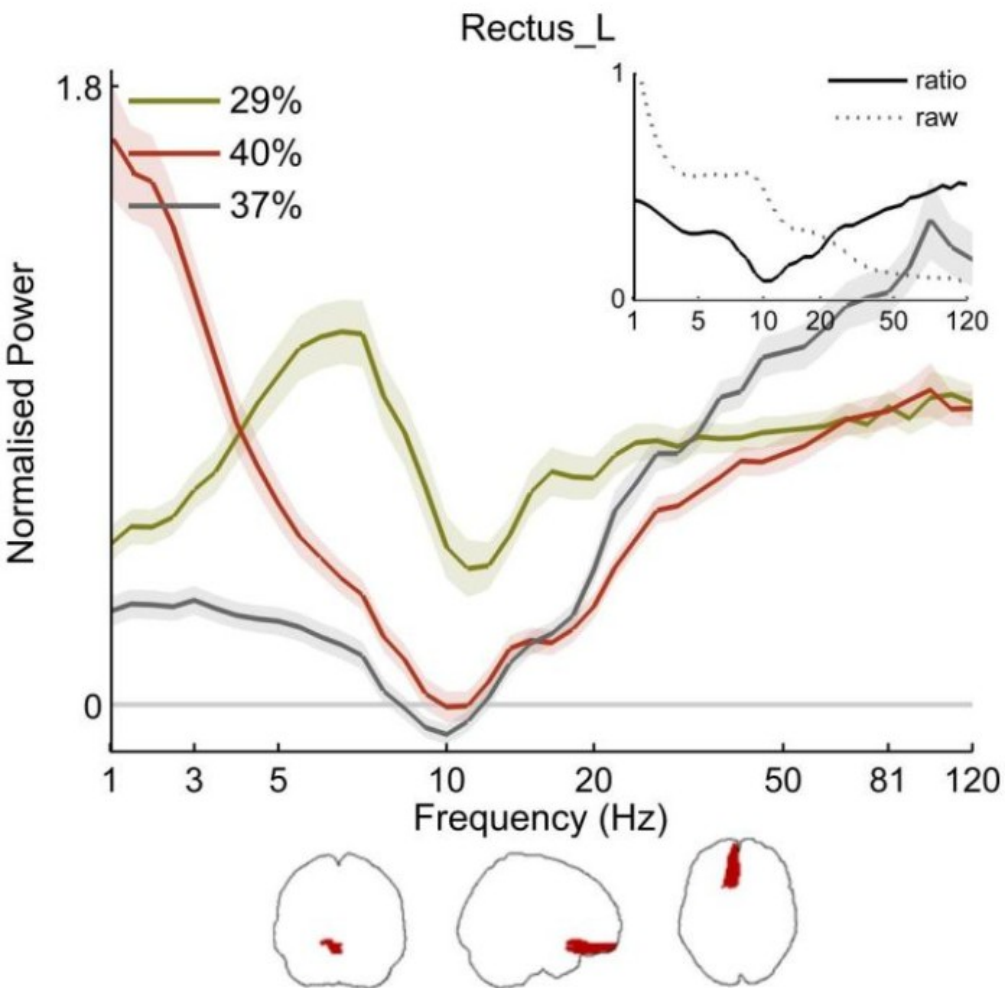
Group model

5

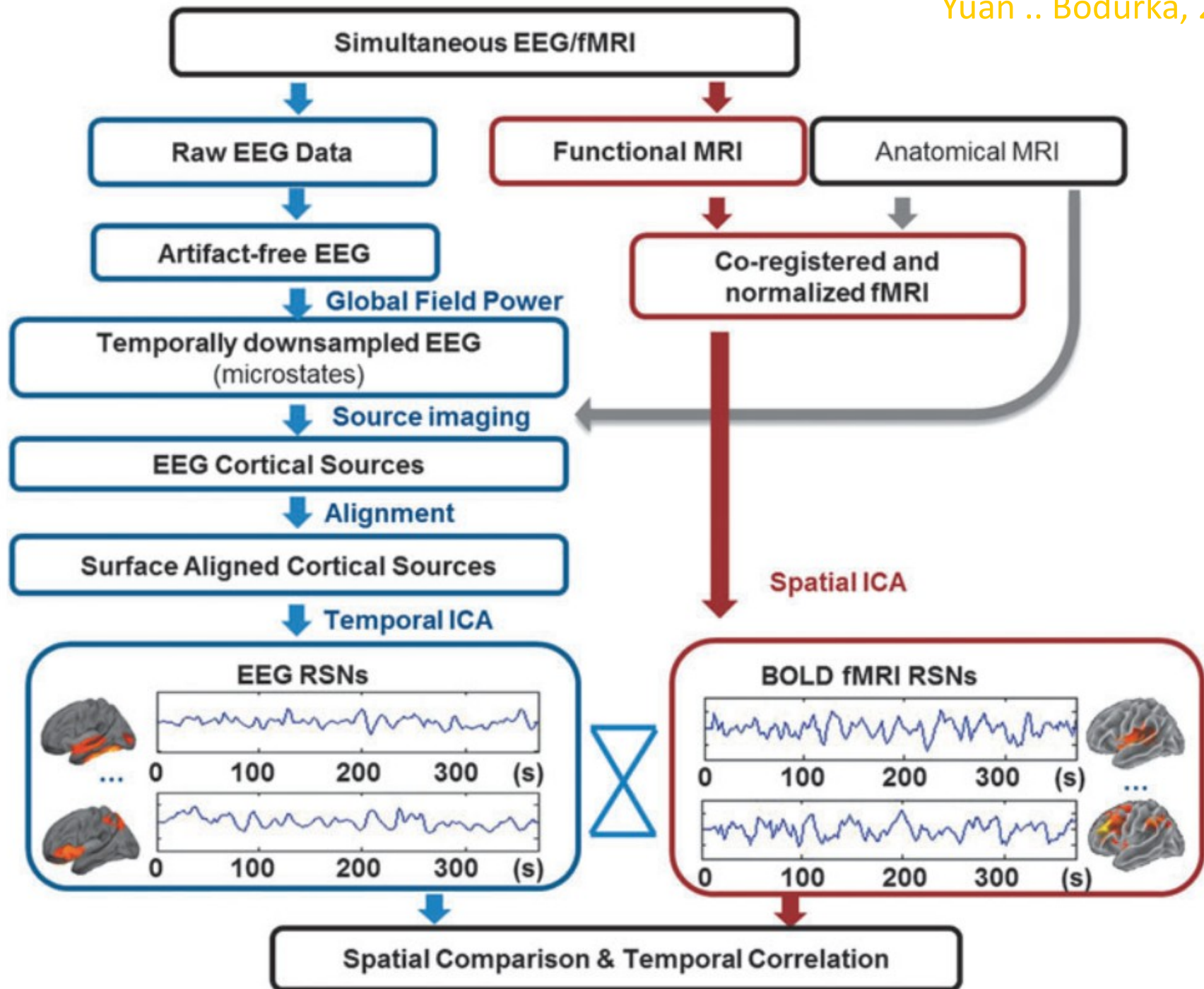
* Pictures from Keitel & Gross 2016 and Fieldtrip beamforming tutorial

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

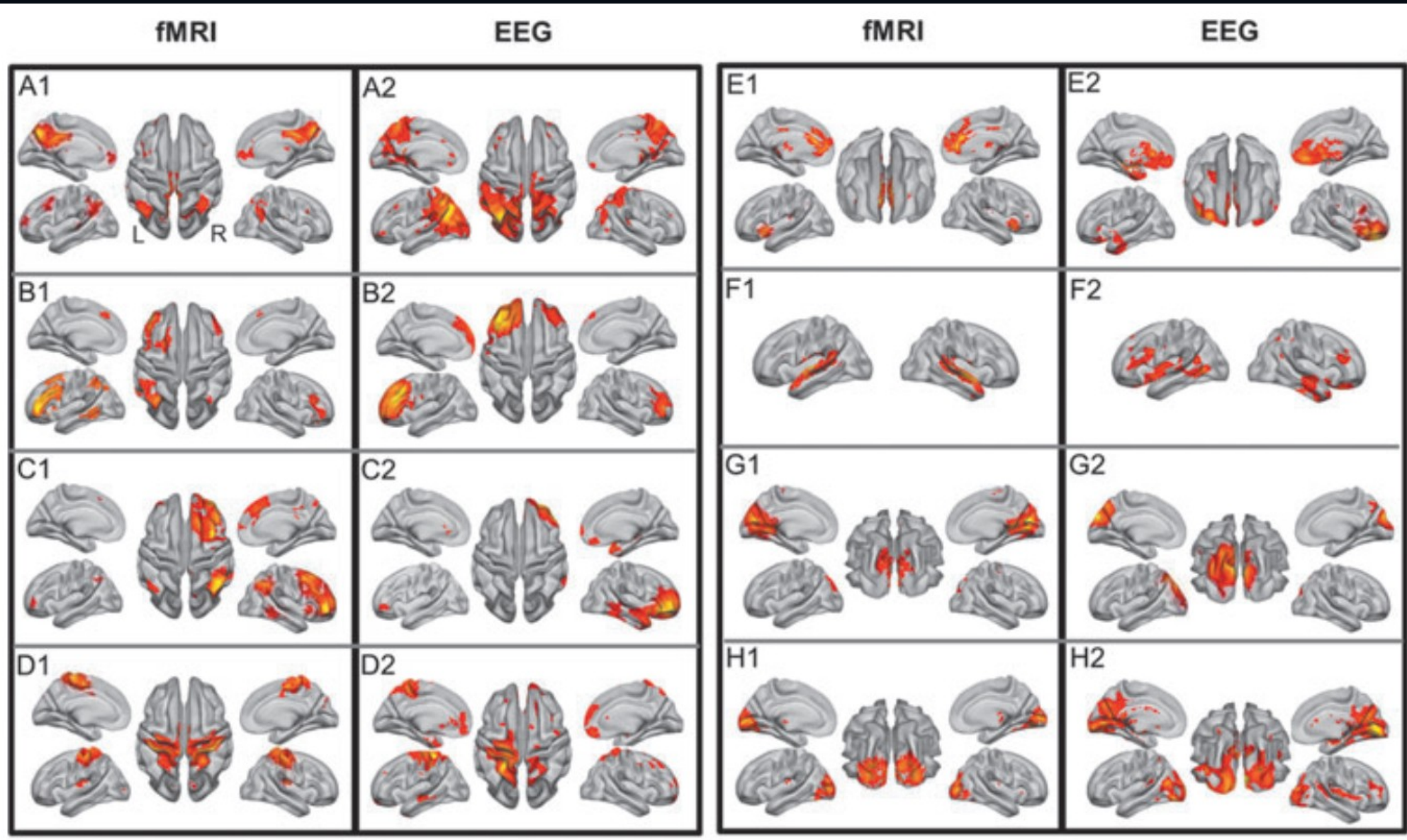
Przykłady widm



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

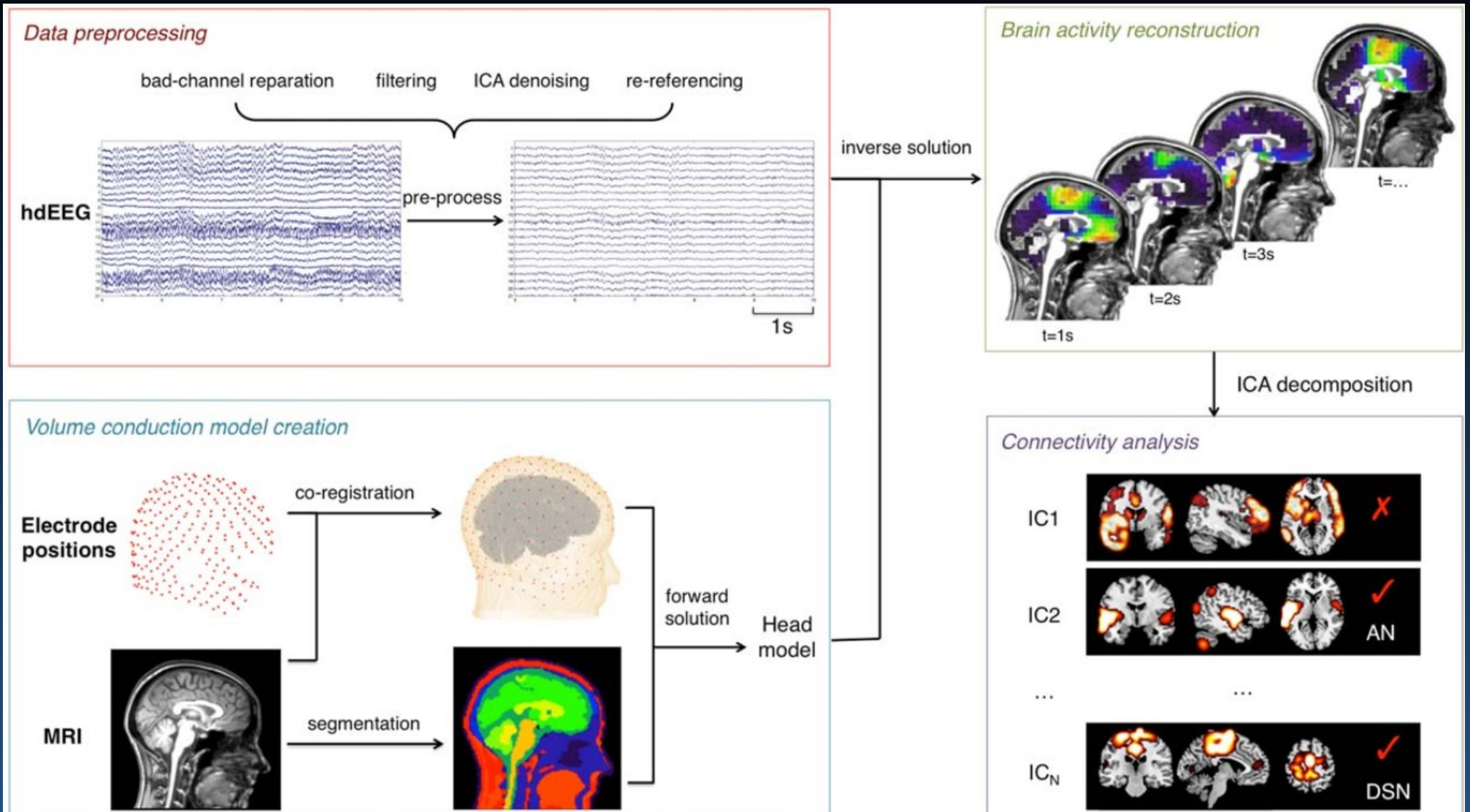


8 rozległych sieci z BOLD-EEG

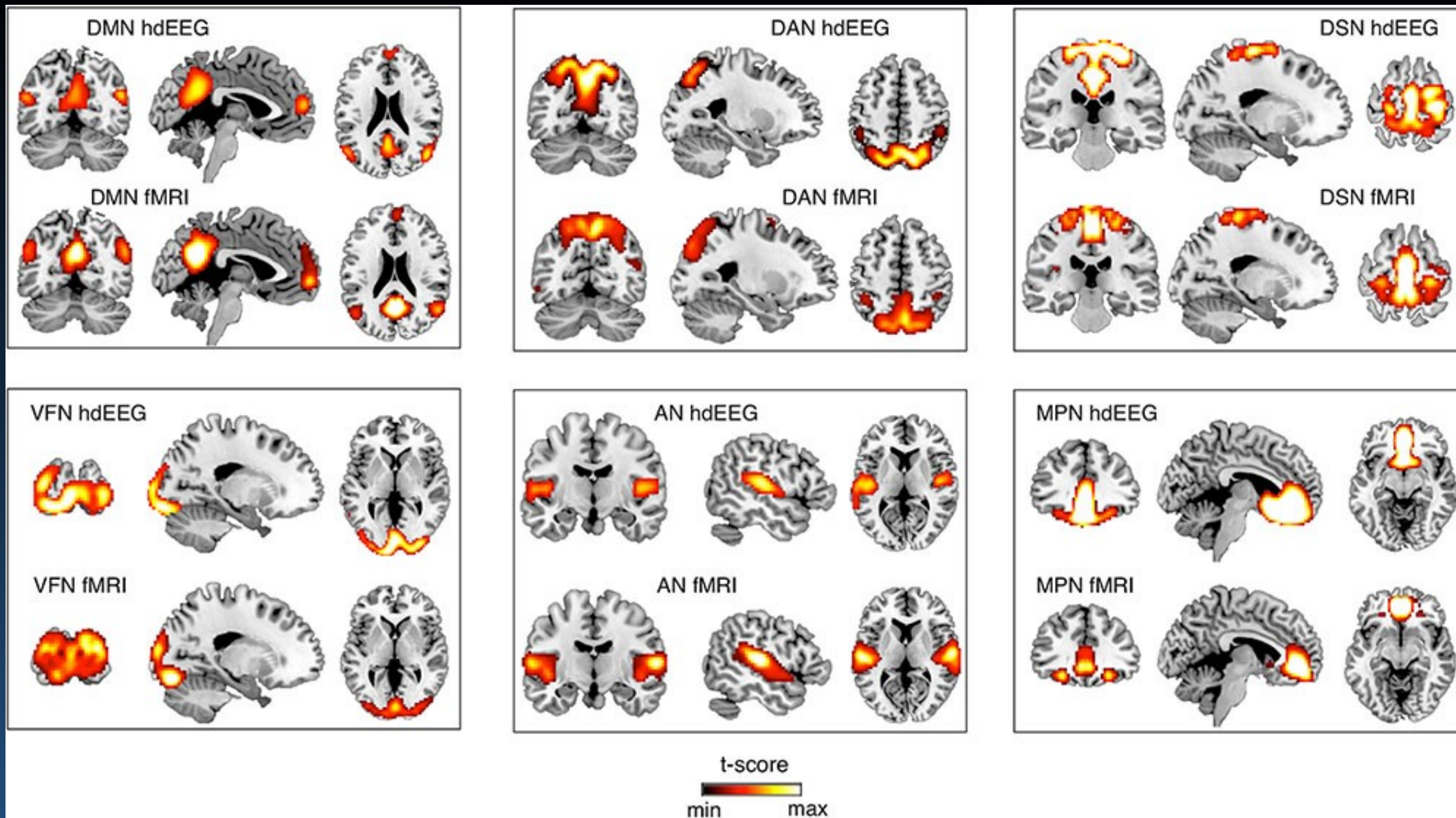


DMN, FP (frontoparietal)-left, right, sensorimotor, ex, control, auditory, visual (medial), (H) visual (lateral). Yuan ... Bodurka (2015)

14 sieci z BOLD-EEG

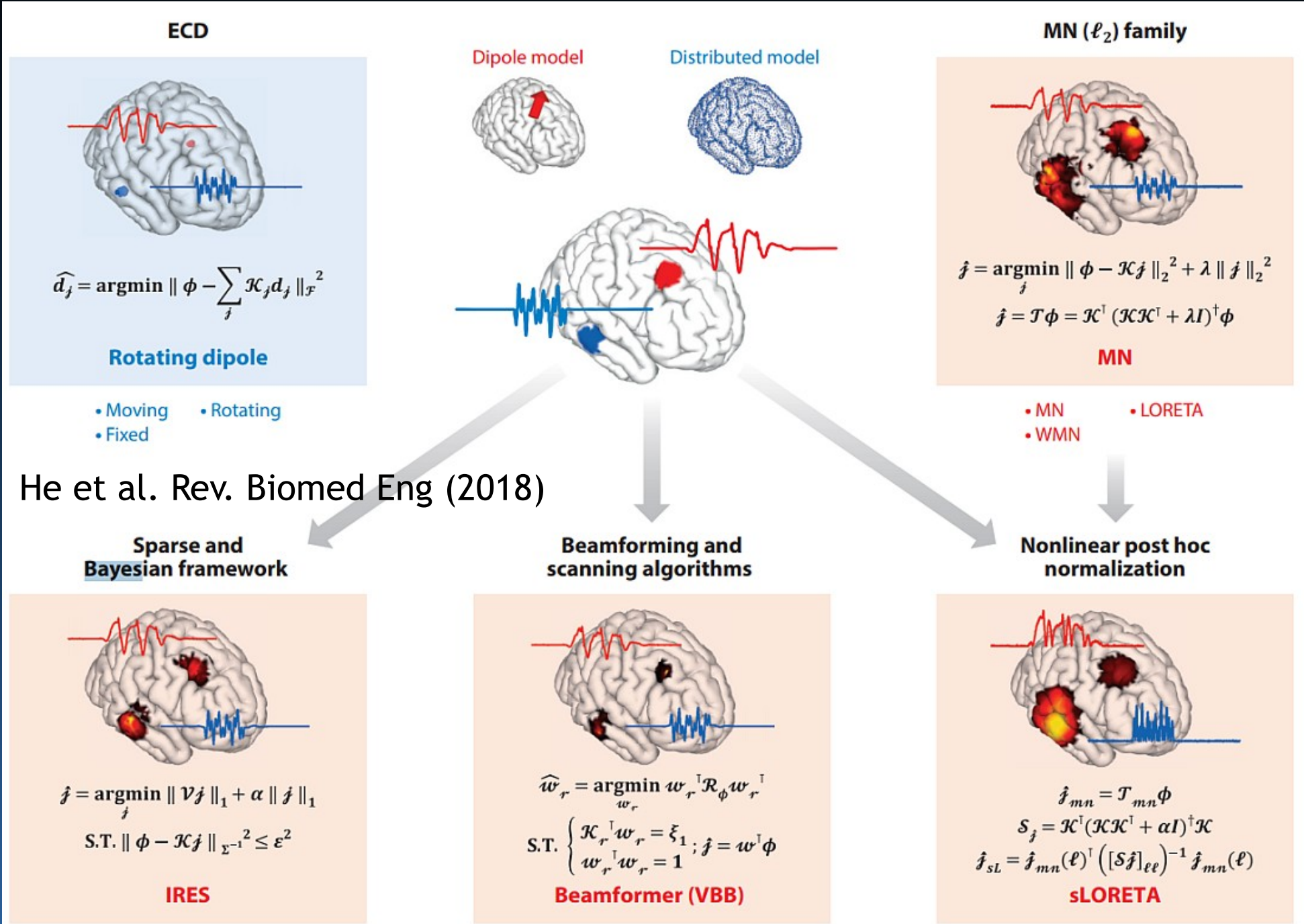


Liu et al. Detecting large-scale networks in the human brain. HBM (2017; 2018).



sICA on 10-min fMRI data ($N = 24$, threshold: $p < 0.01$, TFCE corrected). DMN, default mode network; DAN, dorsal attention network; DSN, dorsal somatomotor network; VFN, visual foveal network; AN, auditory network; MPN, medial prefrontal network.

Rekonstrukcja i lokalizacja EEG



SupFunSim

SupFunSim: our library/Matlab /tollbox, direct models for EEG/MEG.

Provides many spatial filters for reconstruction of EEG sources: 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.

Works with FieldTrip EEG/ MEG software. Modular, object-oriented, using Jupyter notes, allowing for comments and equations in LaTeX.

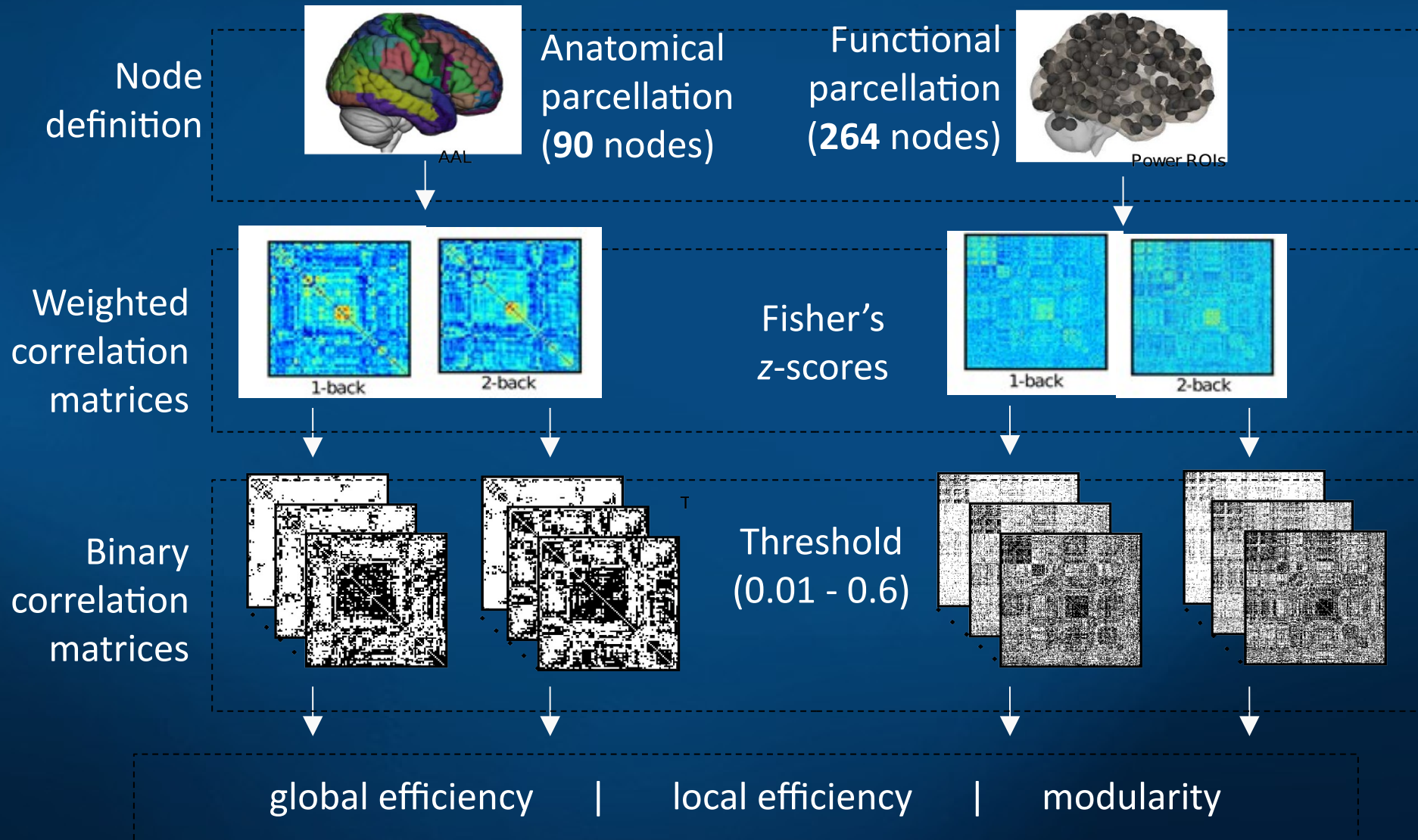
$$A := H_{Src,R} := R^{-1/2} H \quad (34)$$

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

```
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
```

Wpływ obciążenia poznawczego

Two experimental conditions: 1-back, 2-back



Procesy kogntywne i moduły w mózgu

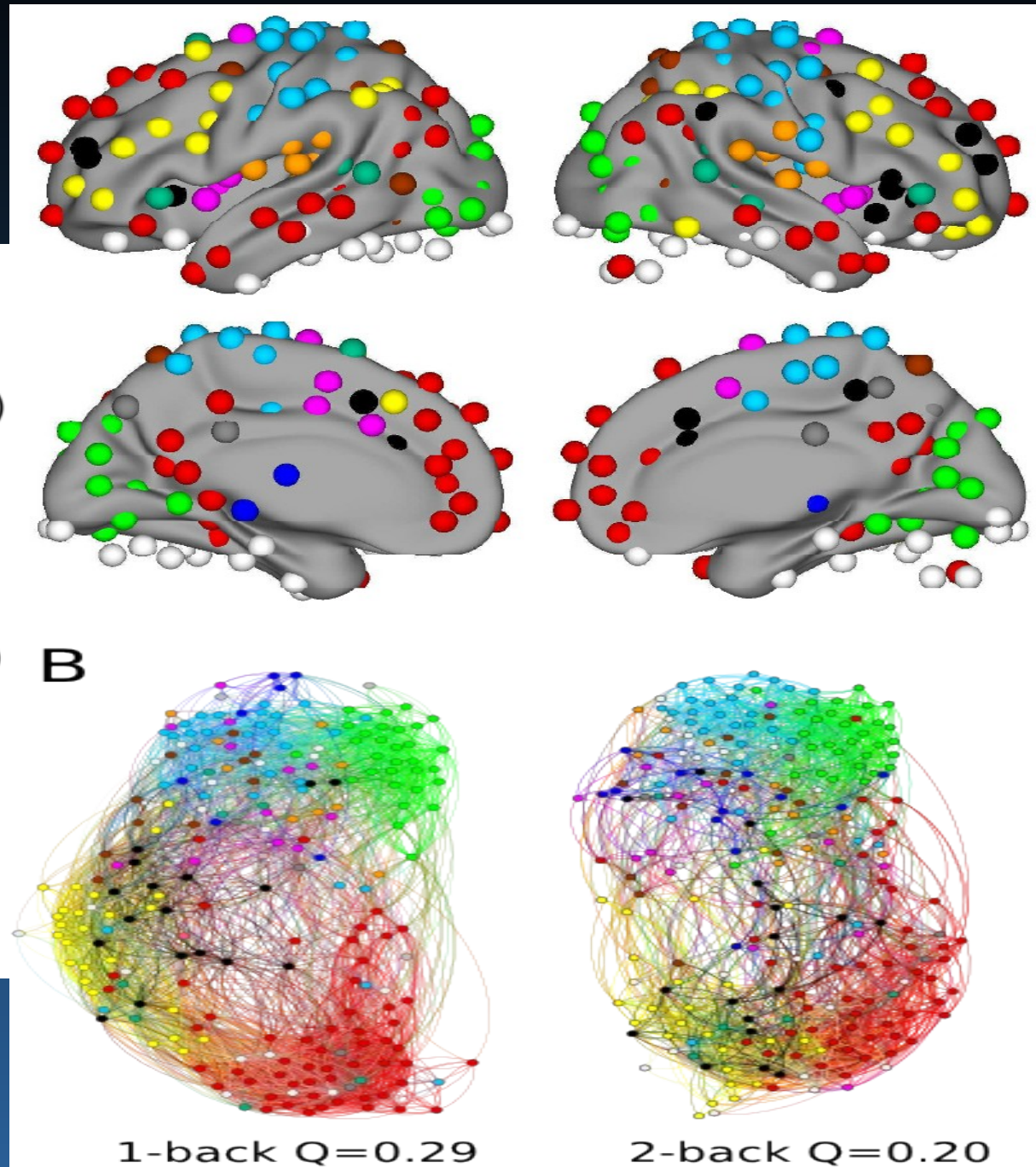
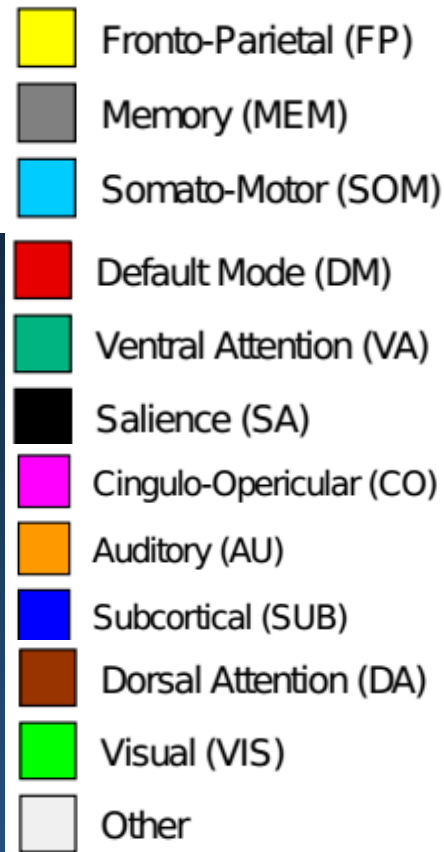
Simple and more difficult tasks,
requiring the whole-brain
network reorganization.

Left: 1-back

Right: 2-back

Average over
35
participants.

Left and
midline
sections.



K. Finc et al, HBM (2017).

Modularność i procesy poznawcze

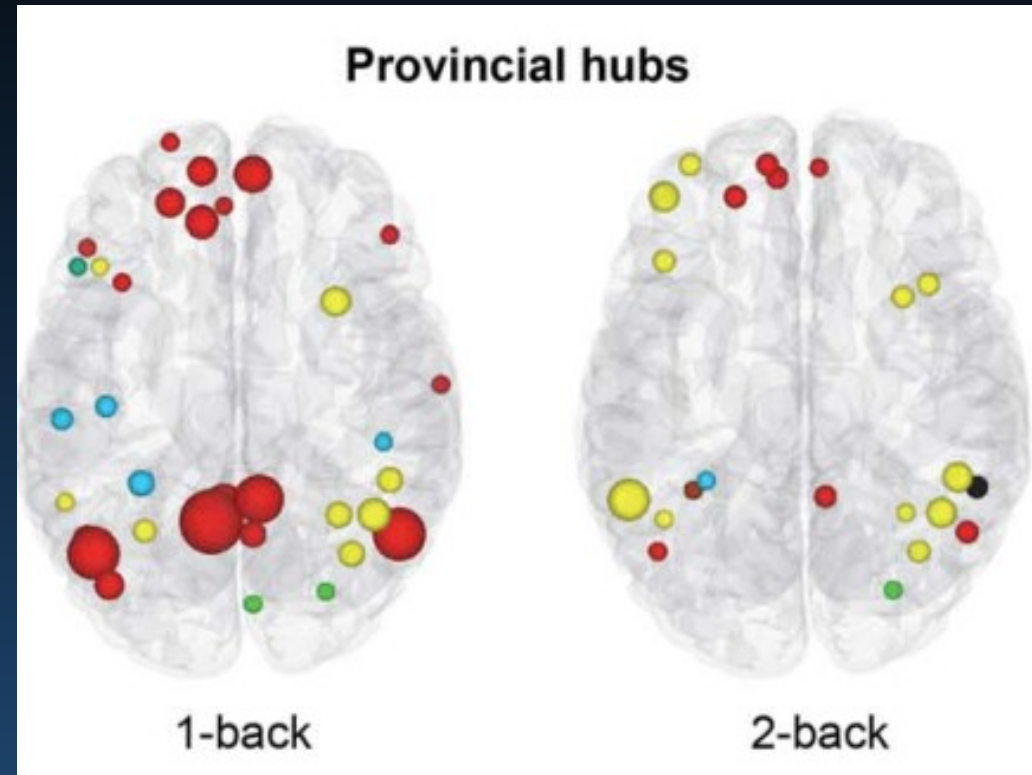
Proste i trudniejsze zadanie pokazuje jak zachodzi reorganizacja sieci całego mózgu, globalnych hubów.

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 podsieci integrujące pracę mózgu.



Finc, Bonna, He, Lydon-Staley, Kühn, Duch, Bassett, Nature Communications (2020).

Modularność i procesy poznawcze

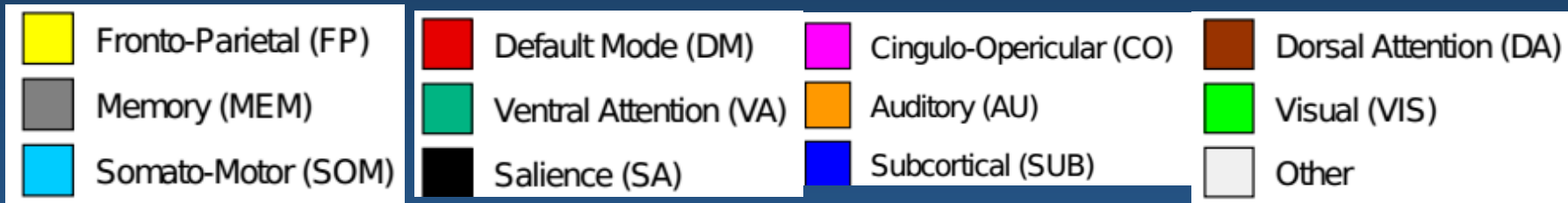
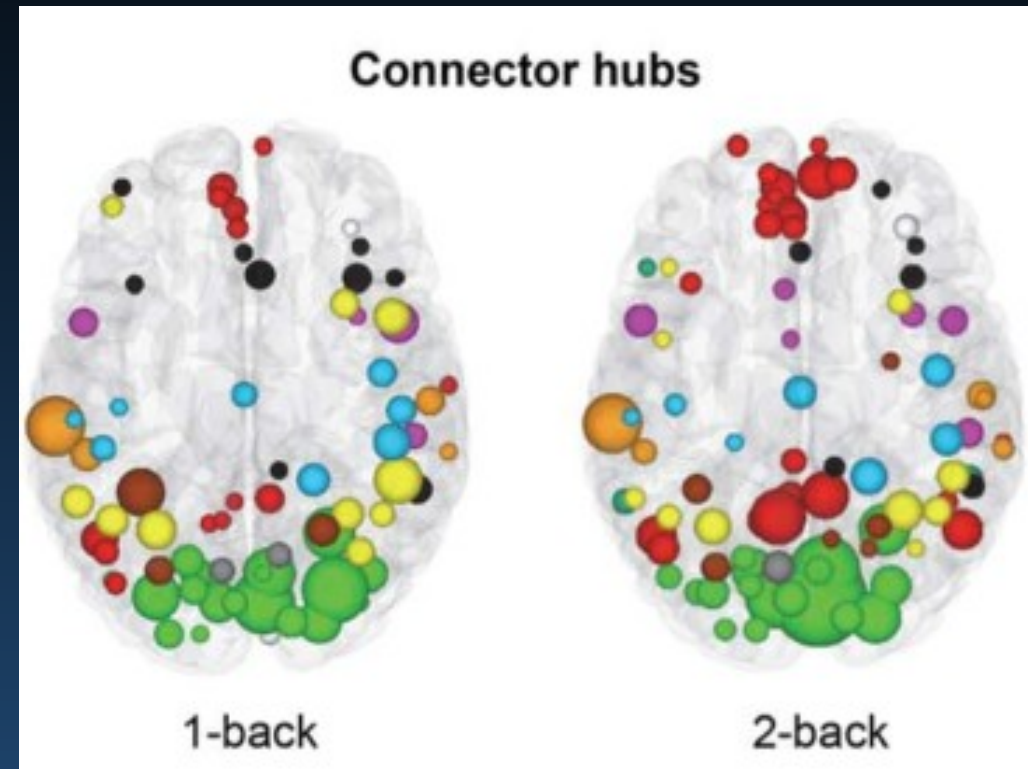
Proste i trudniejsze zadanie pokazuje jak zachodzi reorganizacja sieci całego mózgu, globalnych hubów.

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.



Changes in modularity

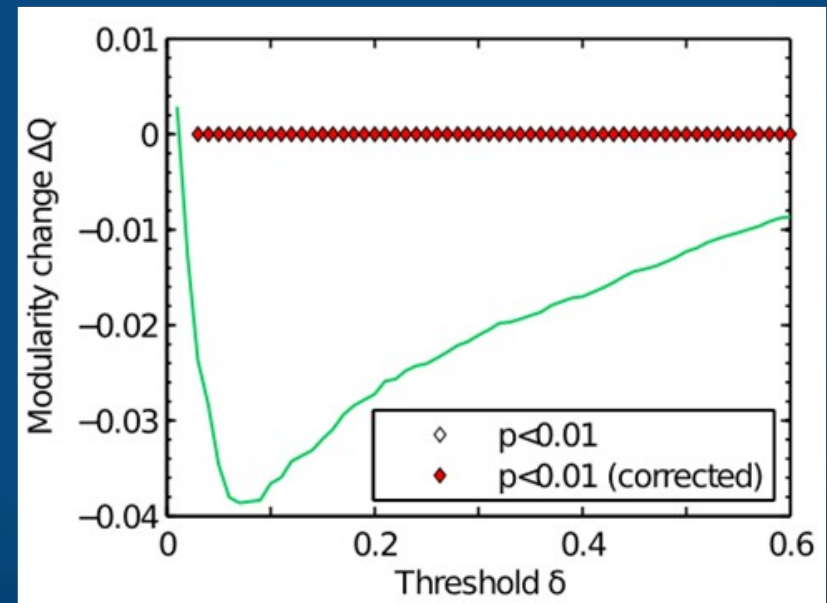
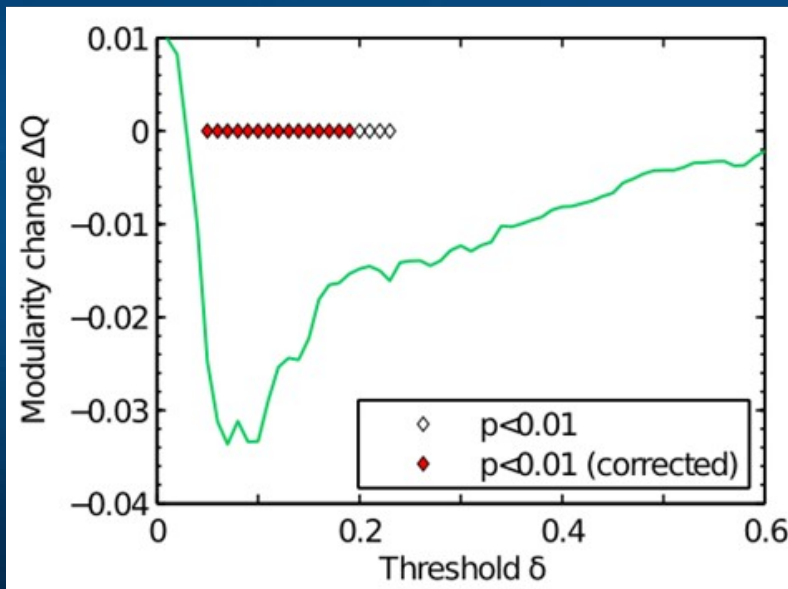
Modularity metric: fraction of within-community edges in the network minus such fraction for randomly connected network with unchanged community structure.



Parcellation
AAL, 90 ROI



Parcellation
264 ROI
functional

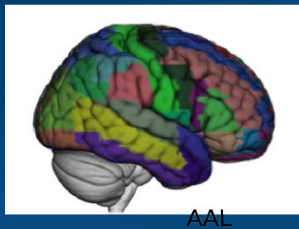


Modularity for both parcellations significantly decreases for thresholds ~ 0.1 .
Coarse parcellation washes out many effects, especially strong correlations.

Changes in efficiency

Global efficiency \sim inverse of characteristic path length

Local efficiency \sim clustering coefficient (Latora & Marchiori, 2001).



AAL

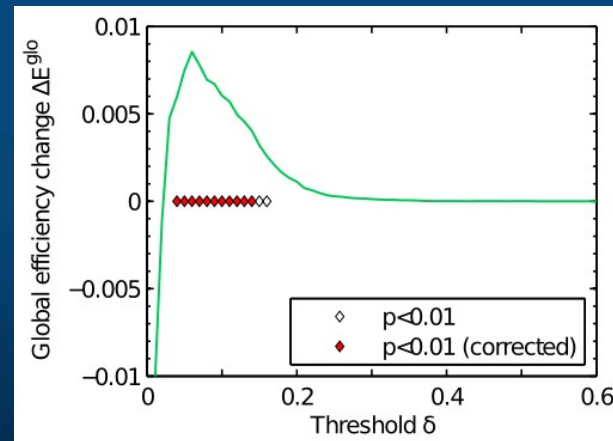
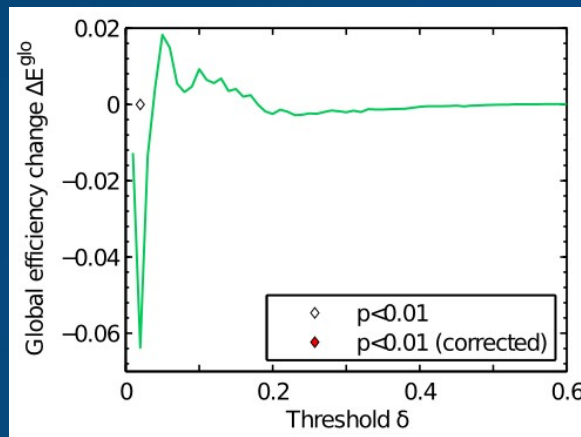
Parcellation
AAL, 90 ROI



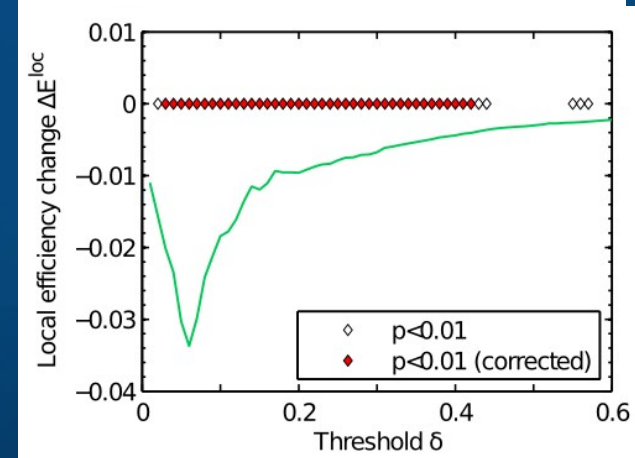
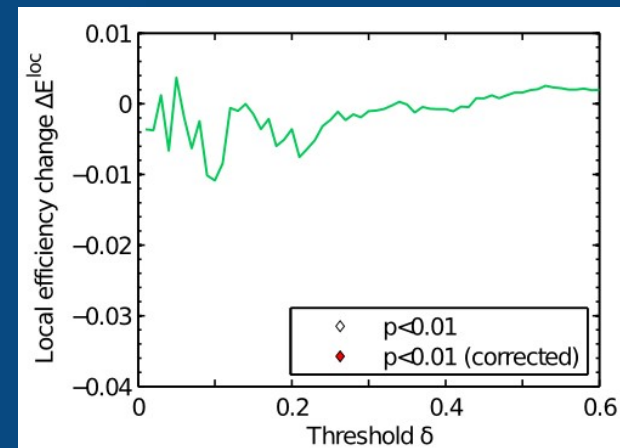
Power ROIs

Parcellation
264 ROI
functional

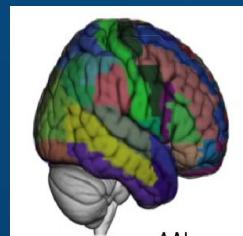
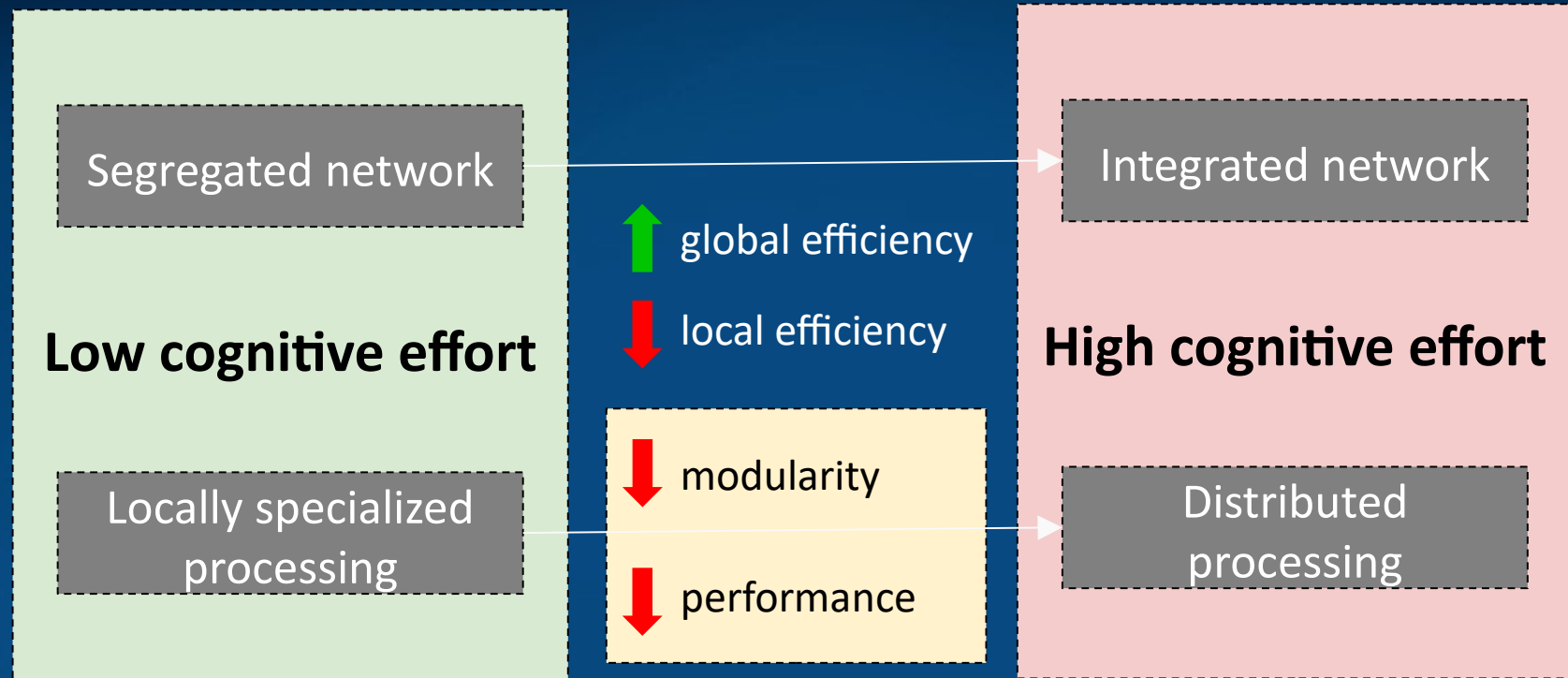
Global efficiency



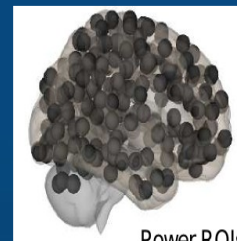
Local efficiency



Cognitive load

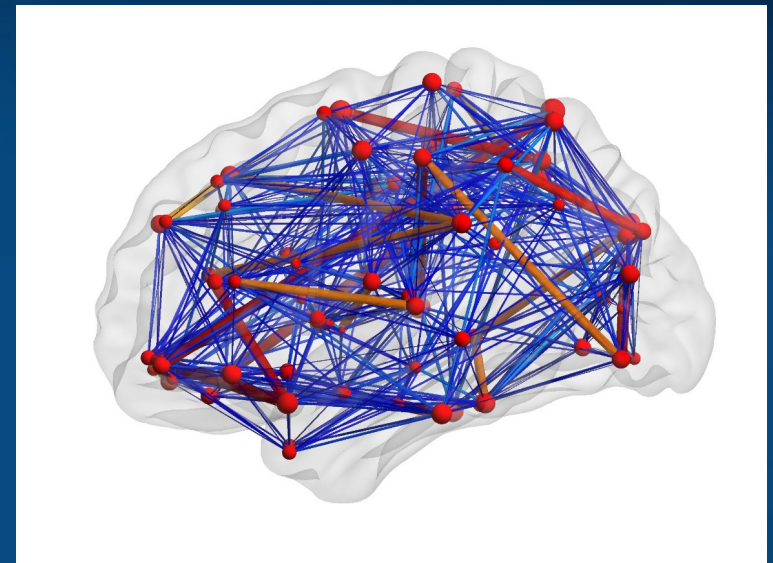
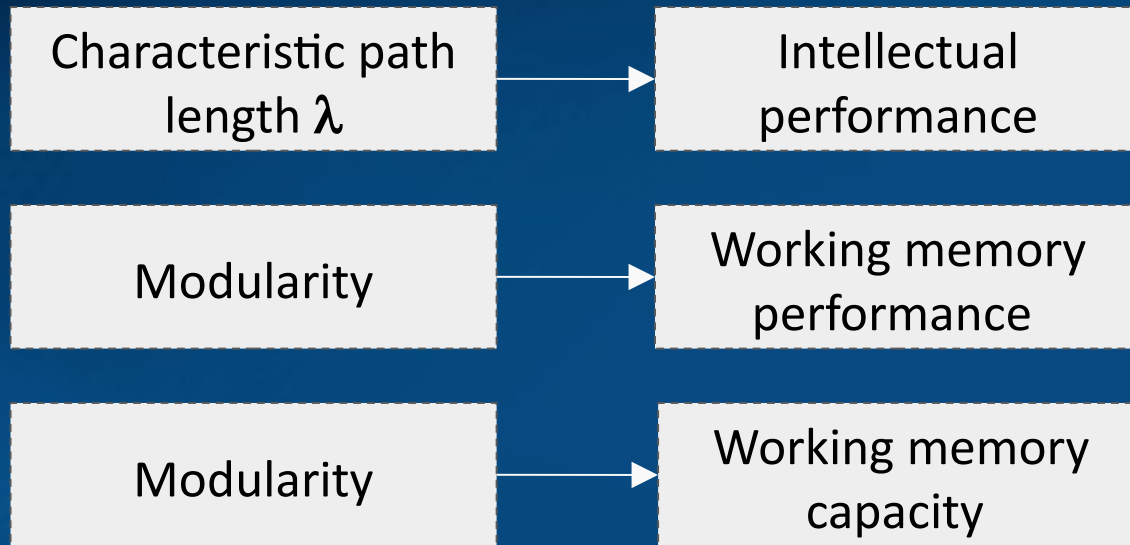


≠



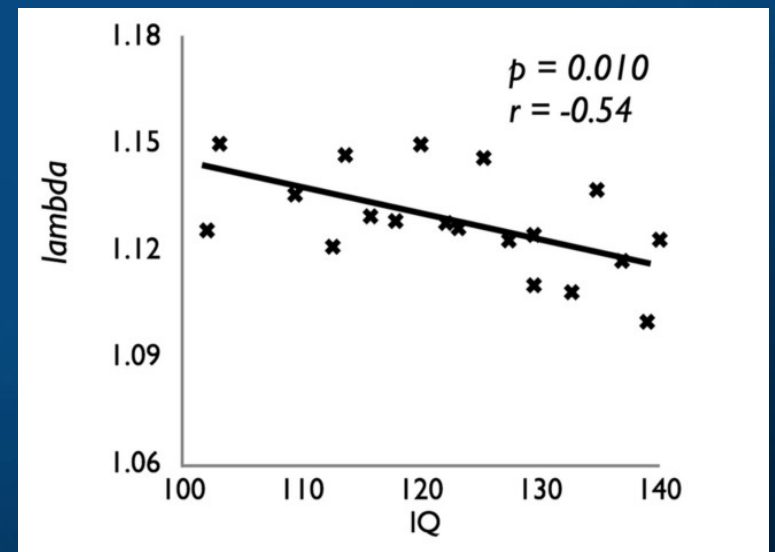
Parcellation into 264 regions (10 mm spheres) shows subnetworks more precisely than for 90 regions; only a small subgroup of neurons in each ROI is strongly correlated.

Resting state/cognitive performance

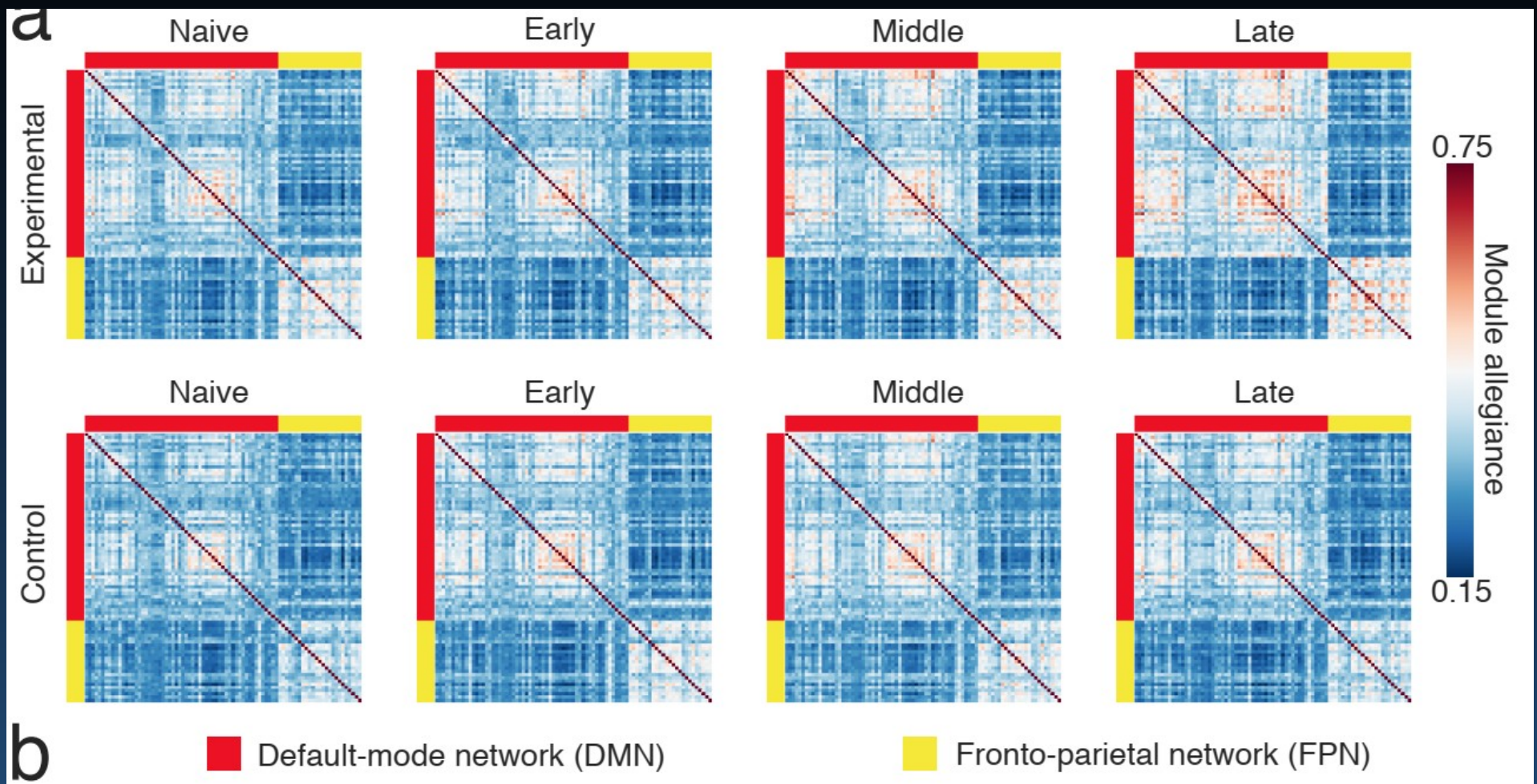


Network modularity \Leftrightarrow higher working memory capacity and performance.

High connectivity within modules and sparse connections between modules increases effective cooperation of brain regions, is associated with higher IQ.



Trening pamięci roboczej

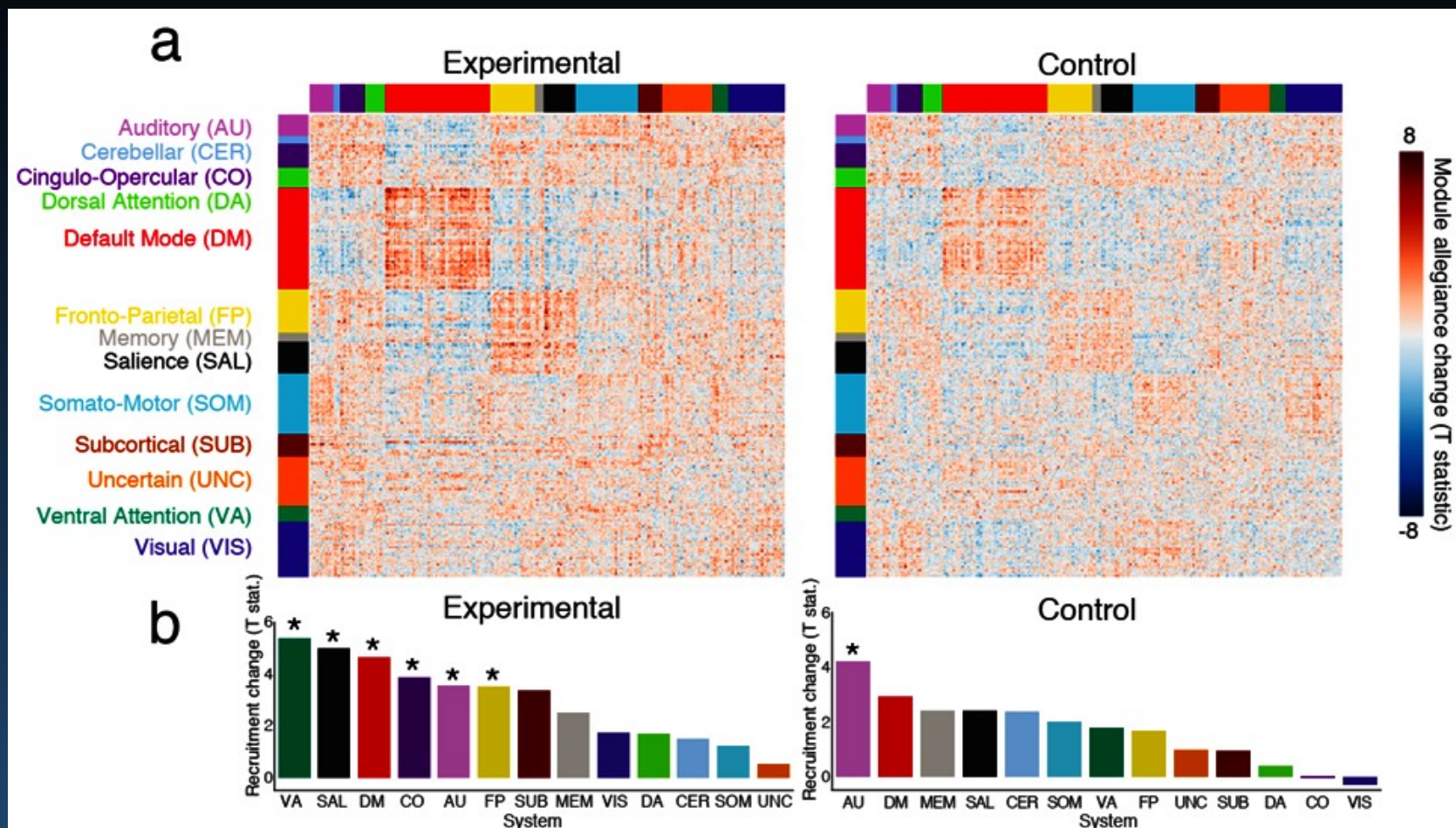


Trening trwał 6 tygodni, podwójne zadanie n-back, na wykresach zmiany współczynnika przypisania do sieci FP i DMN, czyli prawdopodobieństwa, że para ROI (atlas POWERa, 264 ROI) zostanie przypisana do tej samej sieci.

Automatyzacja od świadomej do automatycznie wykonywanej czynności.

Finc et al. Nature Com 11, 2435, 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 słuchowej AU.

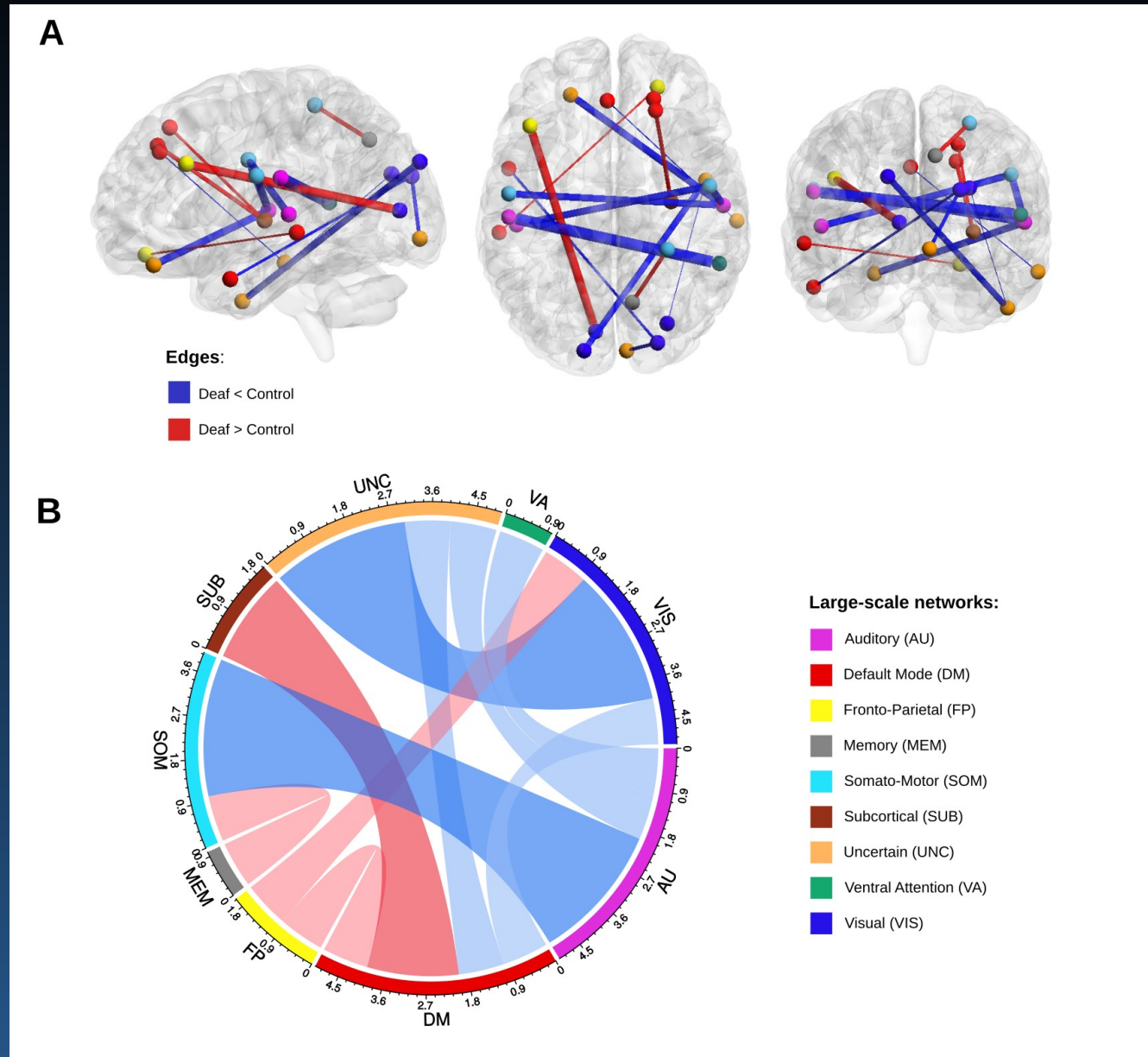
K. Finc, K. Bonna, X. He, D. Lydon-Staley, S. Kühn, W. Duch & D.S. Bassett, Nature Communication 11, 2435, 2020

Głusi vs. Kontrola

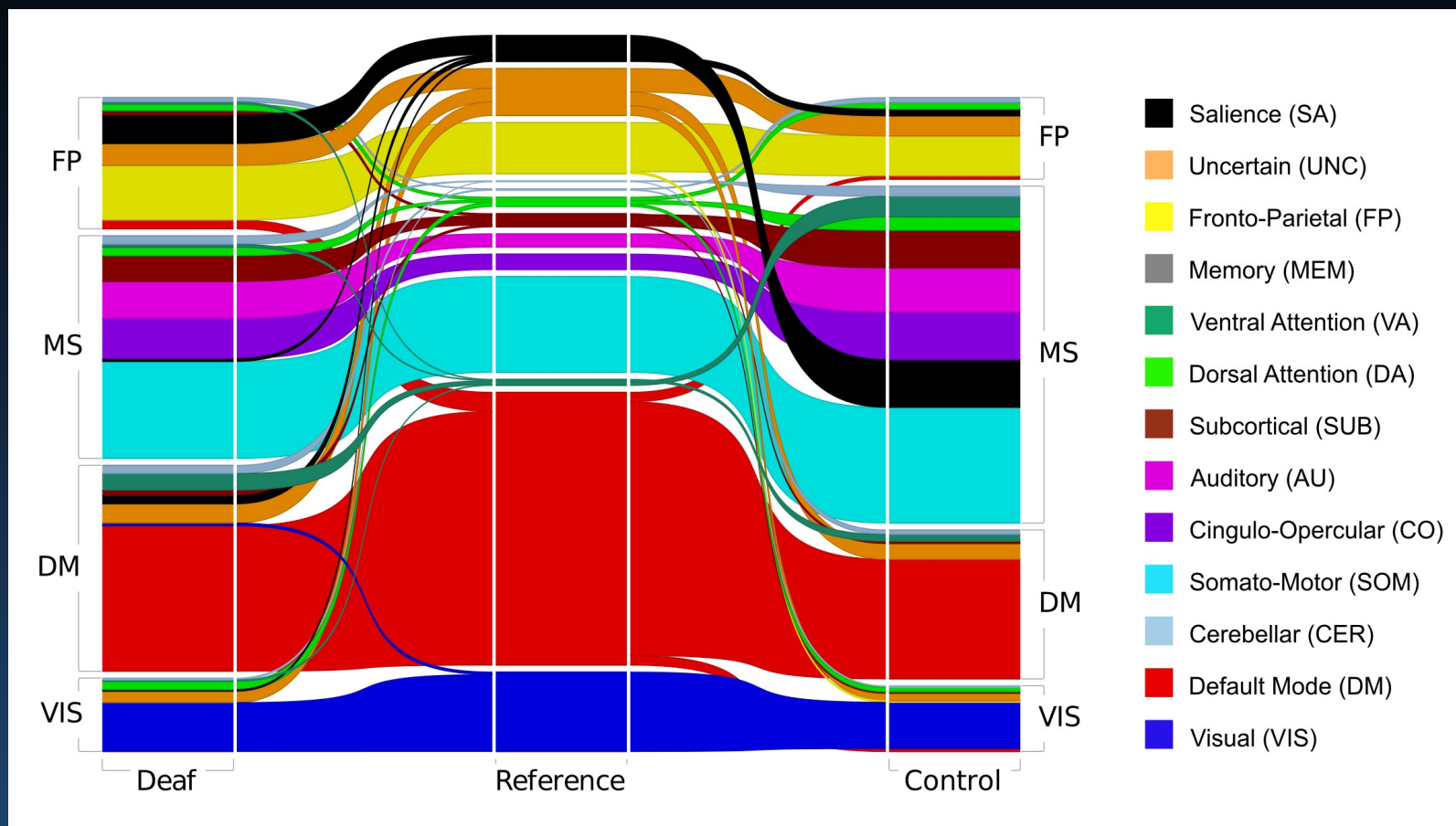
Bonna, Finc ... Szwed,
Early deafness leads to re-
shaping of global functional
connectivity beyond the
auditory cortex. Brain
Imaging and Behavior
(2020)

Różnice w funkcjonalnej
łączliwości pomiędzy
osobami głuchymi i
słyszącymi, czerwone =
silniejsze, niebieskie =
słabsze u głuchych.
(B) Liczba istotnych
połączeń pomiędzy
rozległymi sieciami.
Czerwone silniejsze,

niebieskie słabsze u głuchych w stosunku do osób słyszących.



Reorganizacja modułów



Sieci funkcjonalne osób głuchych są nieco inaczej pogrupowane (po lewej) niż osób słyszących (po prawej); referencyjny podział ROI pomiędzy sieci rozległe wg. atlasu (Power et al., 2011). ROI sieci istotności (SAL, czarne) należą do sieci czołowo-ciemieniowej (FP) u głuchych ale w grupie kontrolnej są w grupie wielu systemów (**multi-system, MS**). ROI sieci orientacji (VA, ventral-attention, ciemnozielone) u osób głuchych wpadają do DMN a słyszących do grupy MS.

Wnioski



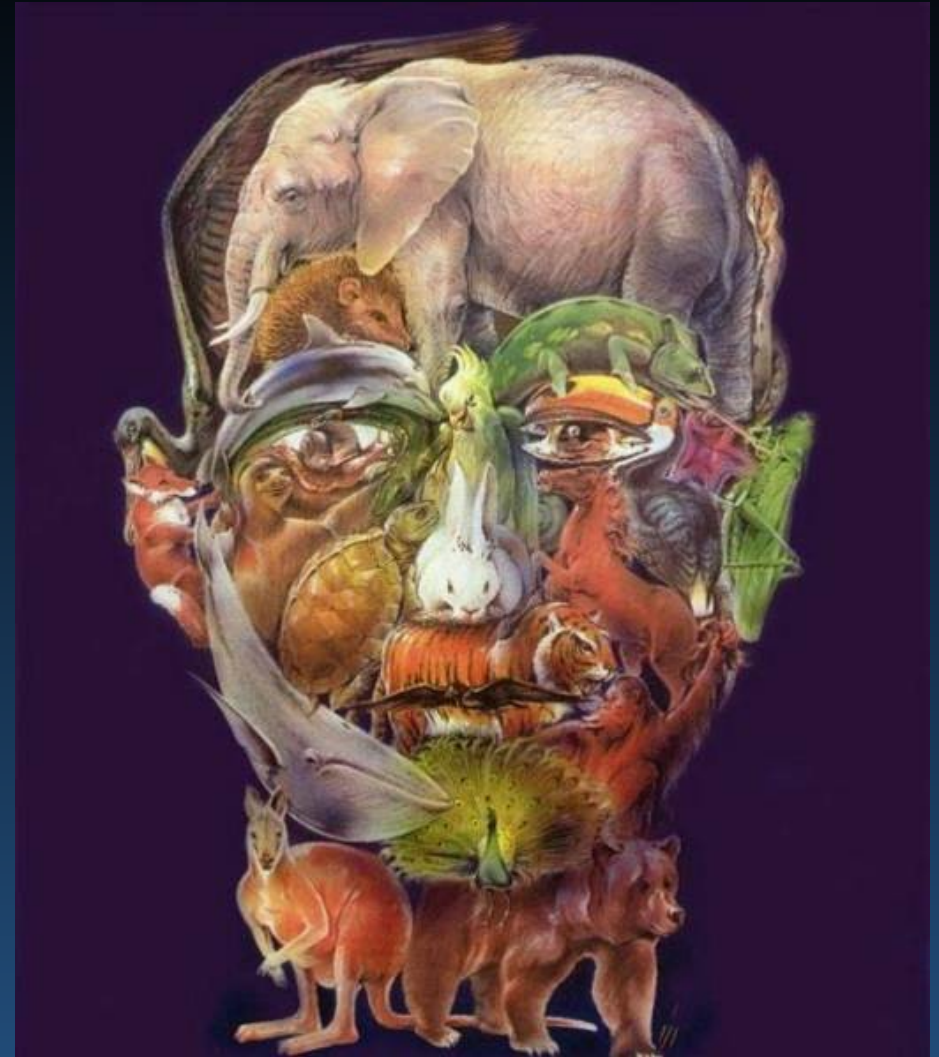
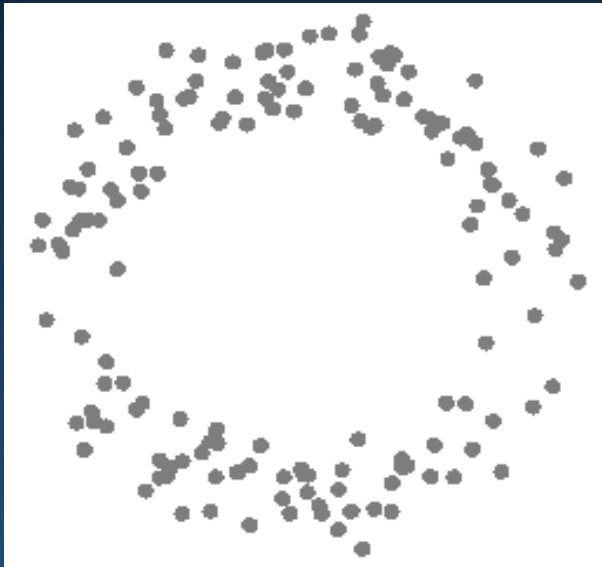
- Zaczynamy rozumieć związki pomiędzy stanami mózgu i wyobrażeniami oraz pojęciami na poziomie mentalnym ale to nadal wierzchołek góry lodowej.
- Werbalny opis za pomocą psychologicznych konstrukcji powinien odzwierciedlać zachodzące w mózgu procesy, ale do niektórych nie mamy świadomego dostępu i nie da się ich zwerbalizować.
- 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 fenomenika neurokognitywna na wielu poziomach, ale to złożone ciągłe procesy.
- 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.

In search of the sources of brain's cognitive activity

Project „Symfonia”, 2016-21



Thank you for
synchronization
of your neurons



Google: W. Duch
=> talks, papers, lectures, Flipboard ...