



Jak możemy zrozumieć aktywność mózgu?



Włodzisław Duch

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

Google: Wlodek Duch

Idea i historia

Ćwierć wieku temu ...

1995: European Summer School on Computing Techniques in Physics, Skalsky Dvur. Paper in the special issue of Computer Physics Communication:

Duch W (1996) *Computational physics of the mind*. CPC **97**: 136-153

... Newton, Mayer, Hooke, Helmholtz and Mach were actively engaged in the research on **psychophysics**, trying to relate psychological sensations to intensities of physical stimuli. Computational physics allows to simulate complex neural processes giving a chance to answer not only the original psychophysical questions but also to create models of mind. ...

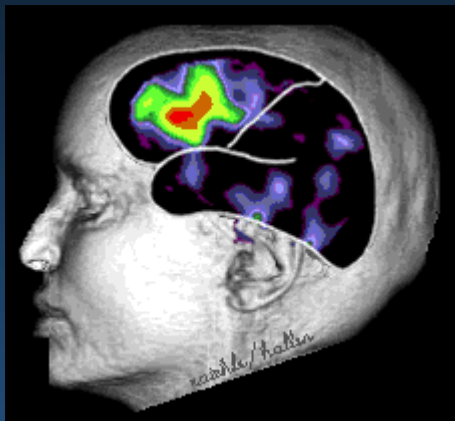
The path from the brain, or computational neurosciences, to the mind, or cognitive sciences, is sketched, with emphasis on higher cognitive functions such as memory and consciousness.

- **A Note from the Editor of the CPC special issue, Frederick James:**

... conferences and schools often offer the opportunity to attract papers of considerable interest which would not normally be submitted to a research journal, and this school is no exception. We hope our readers will find inspiration in these more unusual contributions, such as that of Duch on „Computational Physics of the Mind”.

Stany mózgu ↔ zdarzenia mentalne

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



Stan(Mózg) ↔ Stan(Umysł)
Ocena cech dostępnych
na poziomie mentalnym.



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

Aktywność neuronalna ↔ trajektorie w przestrzeniach psychologicznych.

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

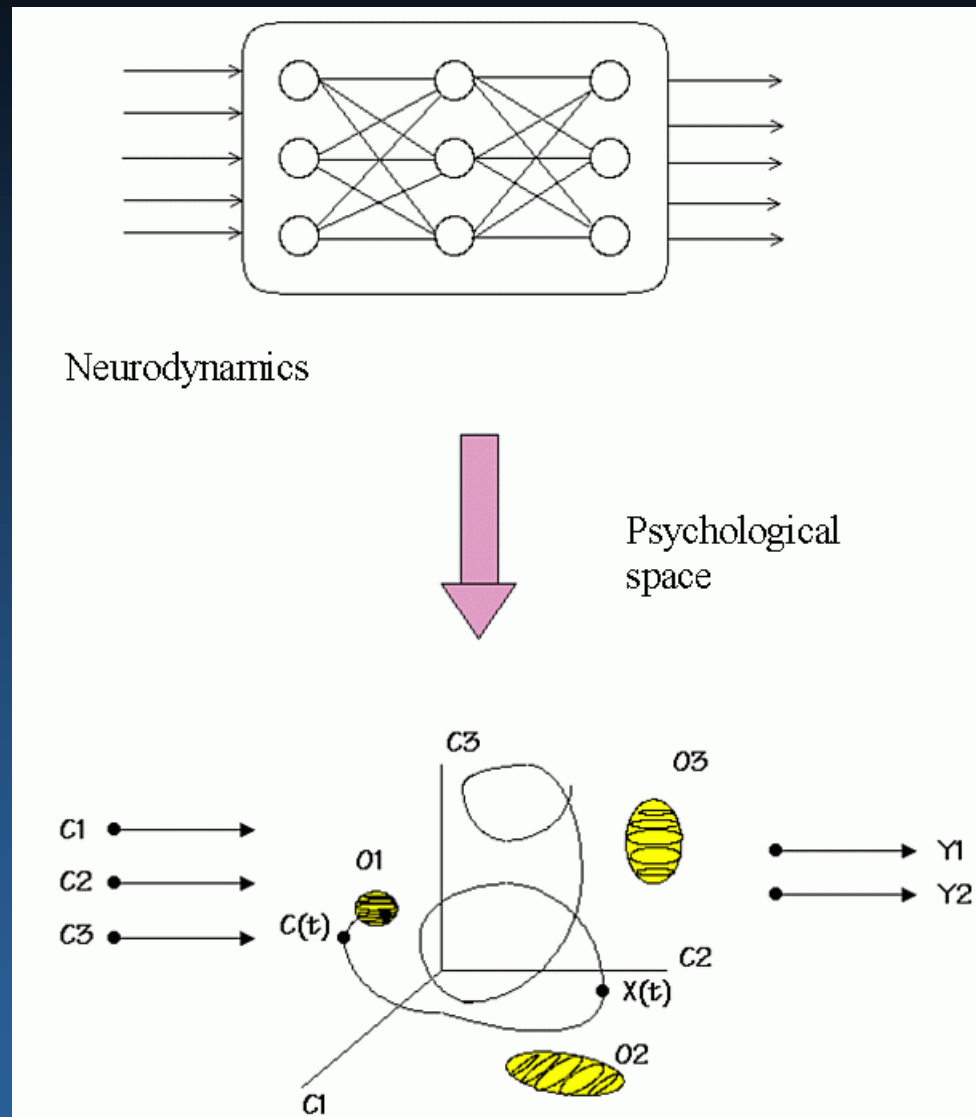
R.T. Hurlburt & E. Schwitzgabel, Describing Inner Experience? MIT Press 2007.

E. Schwitzgabel, Perplexities of consciousness MIT Press 2011.

Zamiast skomplikowanej neurodynamiki spróbujmy przedstawić stan mózgu jako trajektorię w przestrzeni określonej przez cechy, które dają się zidentyfikować dzięki introspekcji stanów mentalnych.

Neurodynamika => zdarzenie mentalne, zdefiniowany w przestrzeni psychologicznej jako kwazistabilny stan układu dynamicznego.

Stan umysłu = wizualizacja trajektorii w przestrzeniach psychologicznych.



Physics of mind

Pojęcie „fizyka umysłu” pojawia się teraz w wielu publikacjach. Leonid Perlovsky, redaktor naczelny „Physics of Life Reviews” napisał wiele książek i artykułów na ten temat.

Cel: ... making psychology a „hard” science.

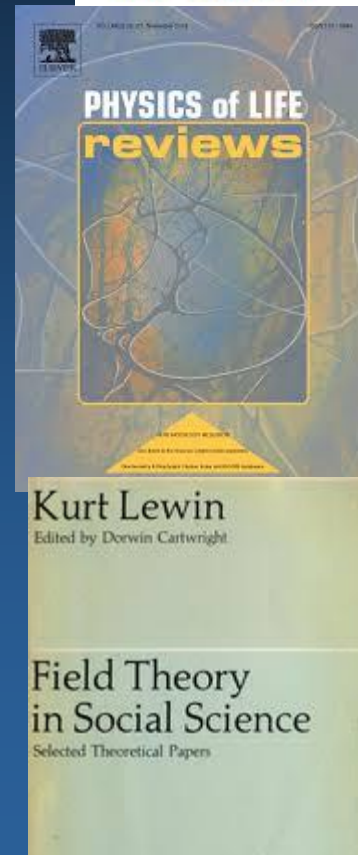
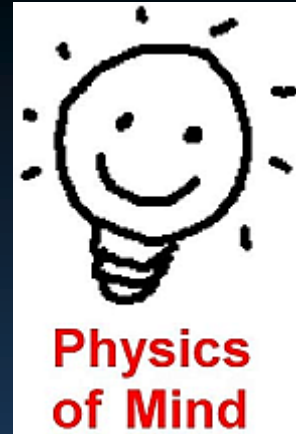
Jest to piękny cel ale wprowadzanie takich abstrakcyjnych pojęć jak „instykt wiedzy”, który maksymalizując podobieństwo wiedzy i obserwacji wszystko tłumaczy, nie pomaga.

Muzyka powstała by wzbudzać emocje niwelujące kognitywne dysonanse pomiędzy różnymi pojęciami? Co to tłumaczy?

Kurt Lewin (1880-1947), „The conceptual representation and the measurement of psychological forces” (1938).

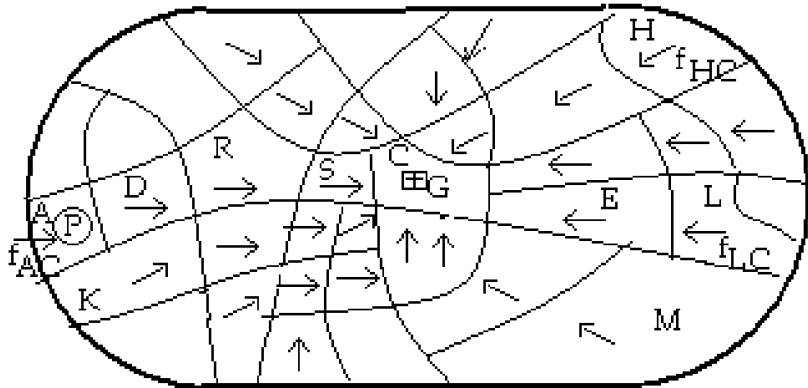
Idea: cognitive dynamic movement in **phenomenological (hodological) space**. Discrete Process Model (DPM) Force \sim transition probability between states in valence fields.

WD: [Lewin, psychological constructs, brain cognitive activity, 2017.](#)



Siły psychologiczne Lewina

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



"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; $f_{X,Y} = f_{X,G}$."

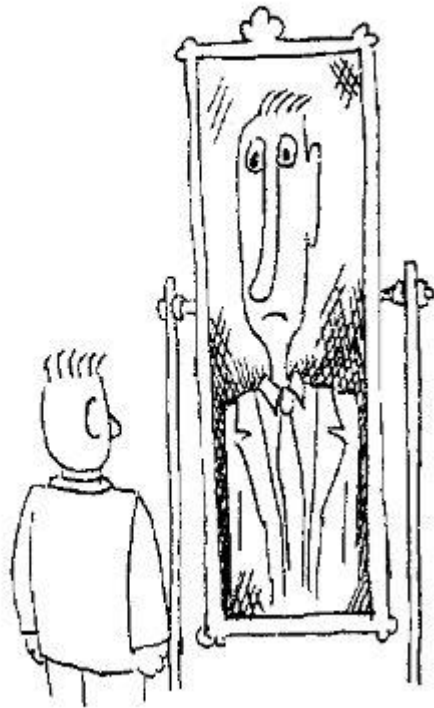
Kurt Lewin próbował analizować wzorce interakcji człowiek-środowisko, tworząc psychologię wzorowaną na teorii pola i topologii.

Przejścia pomiędzy stanami mózgu/umysłu = siły psychologiczne.

Atraktory = obszary o pozytywnej walencji (charakterze emocji).

3 książki Lewina: *Principles of Topological Psychology* (1936); *The Conceptual Representation & Measurement of Psychological Forces* (1938); *Field Theory in Social Science* (1951).

Brain like a distorting mirror



So, your brain is expected to be the most complex object in the universe?



Springer Series in Cognitive and Neural Systems 11

Ioan Opris
Manuel F. Casanova *Editors*

The Physics of the Mind and Brain Disorders

Integrated Neural Circuits Supporting
the Emergence of Mind

 Springer

Modele umysłu

- 1994: Towards Artificial Minds. Pierwsza Konf. Pol. Tow. Sieci Neuronowych
- 1996: Computational physics of the mind. Computer Phys.Comm. 97: 136-153
- 1997: Platonic model of mind as an approximation to neurodynamics. In: Brain-like computing and intelligent information systems, Springer, 491-512
- 2001: Facing the hard question. Commentary on J.A. Gray, BBS 24 (2001)
- 2005: Rules, Similarity, and Threshold Logic. Com. on E.Pothos, The Rules versus Similarity distinction), Behavioral and Brain Sciences, 28 (1): 23
- 2005: Brain-inspired conscious computing architecture. Journal of Mind and Behavior 26(1-2), 1-22.
- 2013: Duch W, Brains and Education: Towards Neurocognitive Phenomics. Book chapter, in: Learning while we are connected, pp. 12-23.
- 2017: Finc K, Bonna K, Lewandowska M, Wolak T, Nikadon J, Dreszer J, Duch W, Kühn S. Transition of the functional brain network related to increasing cognitive demands. Human Brain Mapping 38(7), 3659–3674.
- 2019: Duch, W. Mind as a shadow of neurodynamics. Physics of Life Reviews

W poszukiwaniu źródeł aktywności poznawczej mózgu.

Projekt „Symfonia 4”, NCN, 2016-2021



Narzędzia

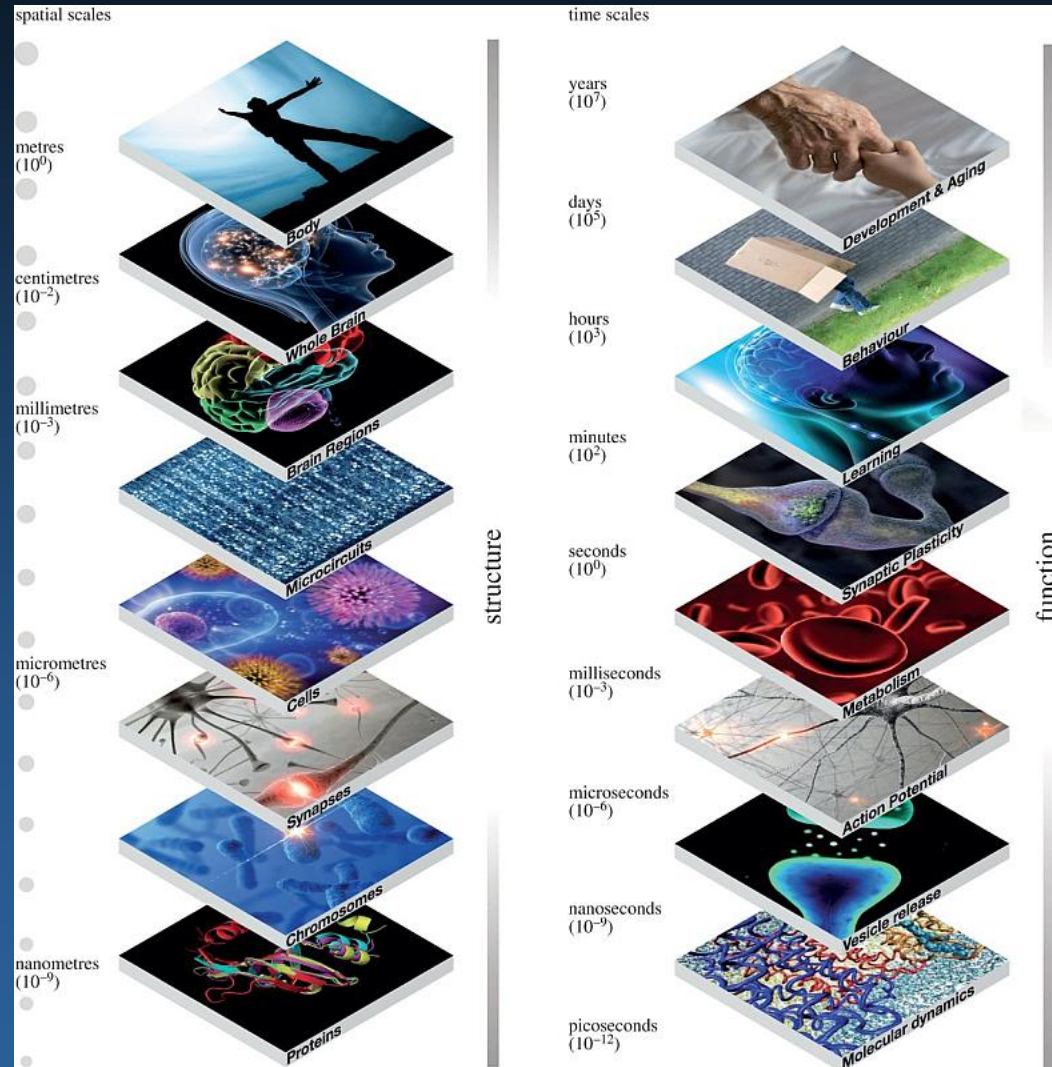
Fenomika neuropsychiatryczna

2008: The Consortium for Neuropsychiatric Phenomics

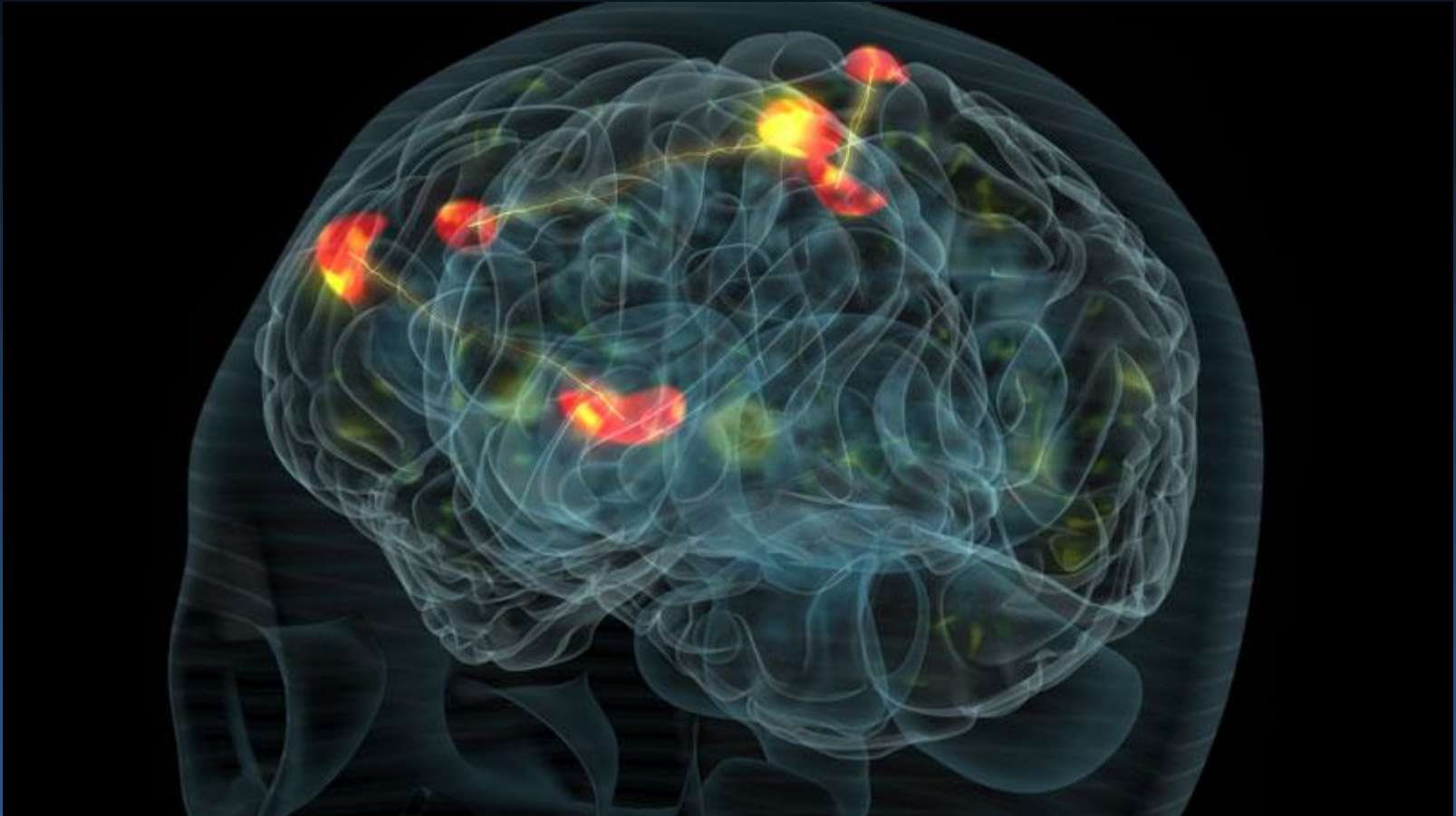
Od genów do sieci neuronów do mechanizmów poznawczych i do ich zaburzeń.

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.

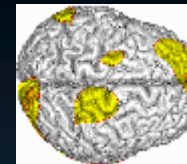


Silne, spójne aktywacje



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?

Mózg jako substrat myśli



Mózg jest substratem, w którym może powstać świat umysłu, labirynt wzajemnych aktywacji dostatecznie silnych, by na tle innych procesów można je było rozpoznać i odróżnić od innych, skojarzyć z fonologicznymi reprezentacjami.

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.

L. Wittgenstein (Tractatus 1922):

Język przestania myśleć.

Myśli wskazują na obrazy tego jak wyglądają rzeczy w świecie, myśleć to mówić do siebie samego, zdania wskazują na obrazy.

„Obrazy” to wzorce aktywacji sieci neuronalnych, można to symulować komputerowo (Emergent, TVB).



Teoria: FEP Fristona

The free-energy principle (FEP): każdy samoorganizujący się system, który jest w stanie równowagi ze swoim środowiskiem musi minimalizować energię swobodną ⇔ aktywnie przewidywać prowadząc wnioskowanie (Bayesowsko), minimalizując liczbę i złożoność możliwych stanów wewnętrznych (K. Friston, 2006).

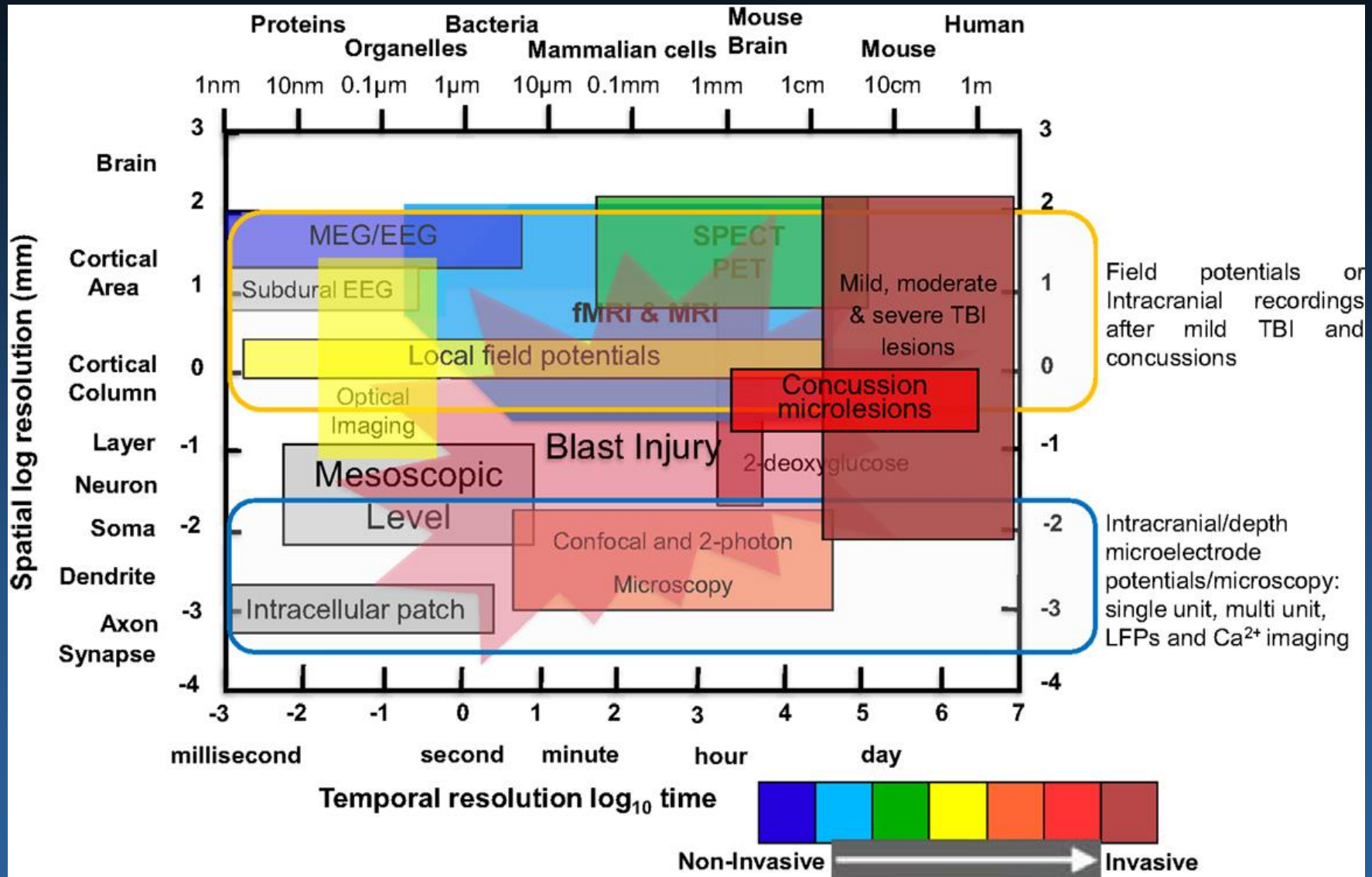
Jakie możliwe architektury realizują FEP?
Ograniczenia narzuca ewolucja,
minimalizacja niespodzianek możliwa jest
przez wnioskowanie i dostosowanie swojego
środowiska. Evolutionary Systems Theory,
EST (Badcock, 2012).

Kombinacja FEP z EST jest obecnie
kandydatem na standardową teorię
systemów poznawczych, sztucznych i
biologicznych.

Czy FEP wynika z symulacji biologicznych
systemów neuronowych?



Podglądanie mózgu



Neuroobrazowanie

EEG: do 512 elektrod, może być bezprzewodowe, mokre lub suche elektrody, dobra rozdzielczość czasowa poniżej 1 ms, lokalizacja źródeł $> 1\text{cm}$, tylko płytkie źródła, do ok. 50 Hz, słaby sygnał powyżej.

MEG: $>1\text{ mm}$, $\sim 1\text{ms}$, do 200 Hz, ale duże i kosztowne

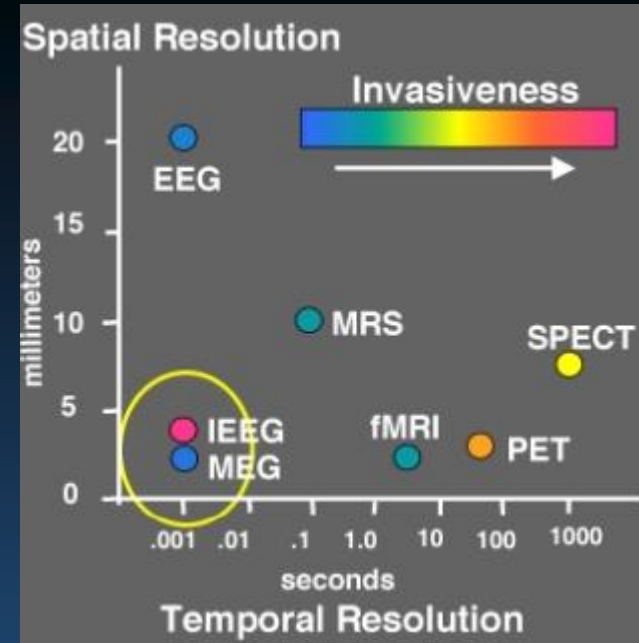
fMRI: $\sim 1\text{ mm}$, $>1\text{ sek}$, duże i hałaśliwe, sygnał BOLD.

fNIRS: może być bezprzewodowe i razem z EEG, około 1.5 cm głębokość, rozdzielczość przestrzenna $>1\text{ cm}$, czasowa $\sim 0.1\text{ sek}$.

Obrazowanie mikrofalowe, [Furaxa, Berkeley](#).

Potencjalnie rewolucyjne: tanie, bezprzewodowe, wysoka rozdzielczość czasowa i przestrzenna.

Ultra Wide Band (UWB) pulser/antenna/sampler ICs impulsy 5- 300ps o małej mocy, setki anten na powierzchni głowy.



ICNT: skaner GE Discovery MR750 3T



Geometryczny model mózg-umysł

Stan(Mózg) \leftrightarrow Stan(Umysł)

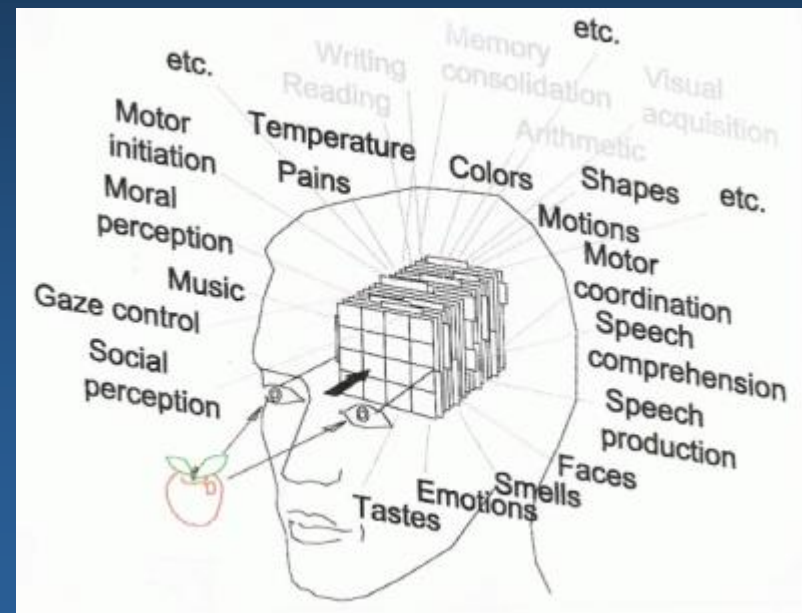
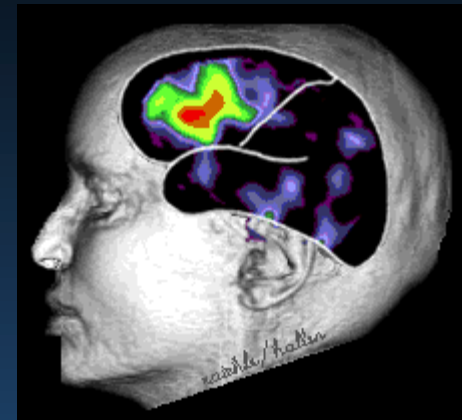
Neurodynamika \leftrightarrow Psychodynamika

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

Mapowanie $S(M) \leftrightarrow S(U)$, ale jak można opisać stan umysłu, psychodynamikę?

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

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



Przestrzenie psychologiczne

Psychologiczne przestrzenie, topologiczna psychologia i inne idee z fizyki:

Kurt Lewin, The conceptual representation and the measurement of psychological forces (1938). Idea: dynamika kognitywna to ruch w fenomenologicznej (**hodologicznej**) przestrzeni.

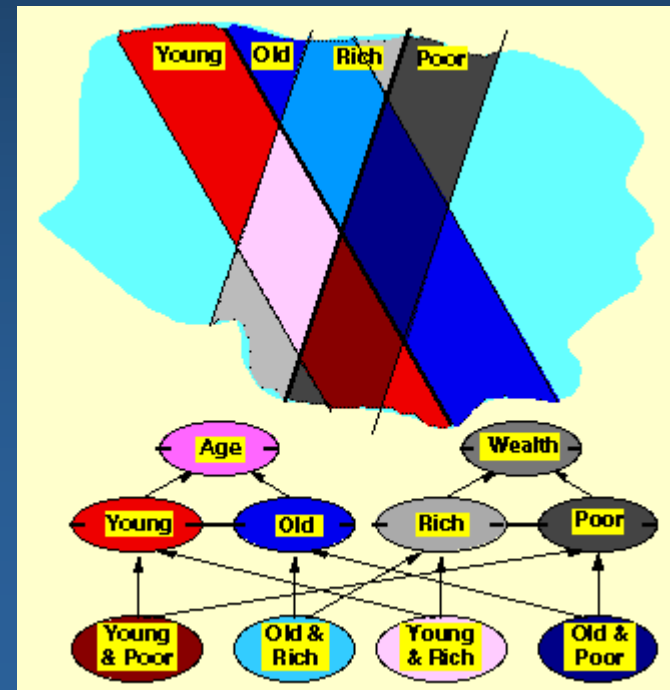
Teoria Discrete Process Model (DPM) ocenia siłę ~ prawdopodobieństwa przejść pomiędzy stanami w polu walencji (atrakcyjności danego stanu).

George Kelly (1955), teoria **personal construct psychology**, opiera się na geometrii przestrzeni psychologicznych zamiast logiki. Jest to pełna teoria stanów poznawczych, działania i uczenia się.

P-space to region w którym można umieścić i klasyfikować elementy naszego doświadczenia, ewoluując i konstruując sytuacje, „przestrzeń niemetryczna”, w której są dychotomie.

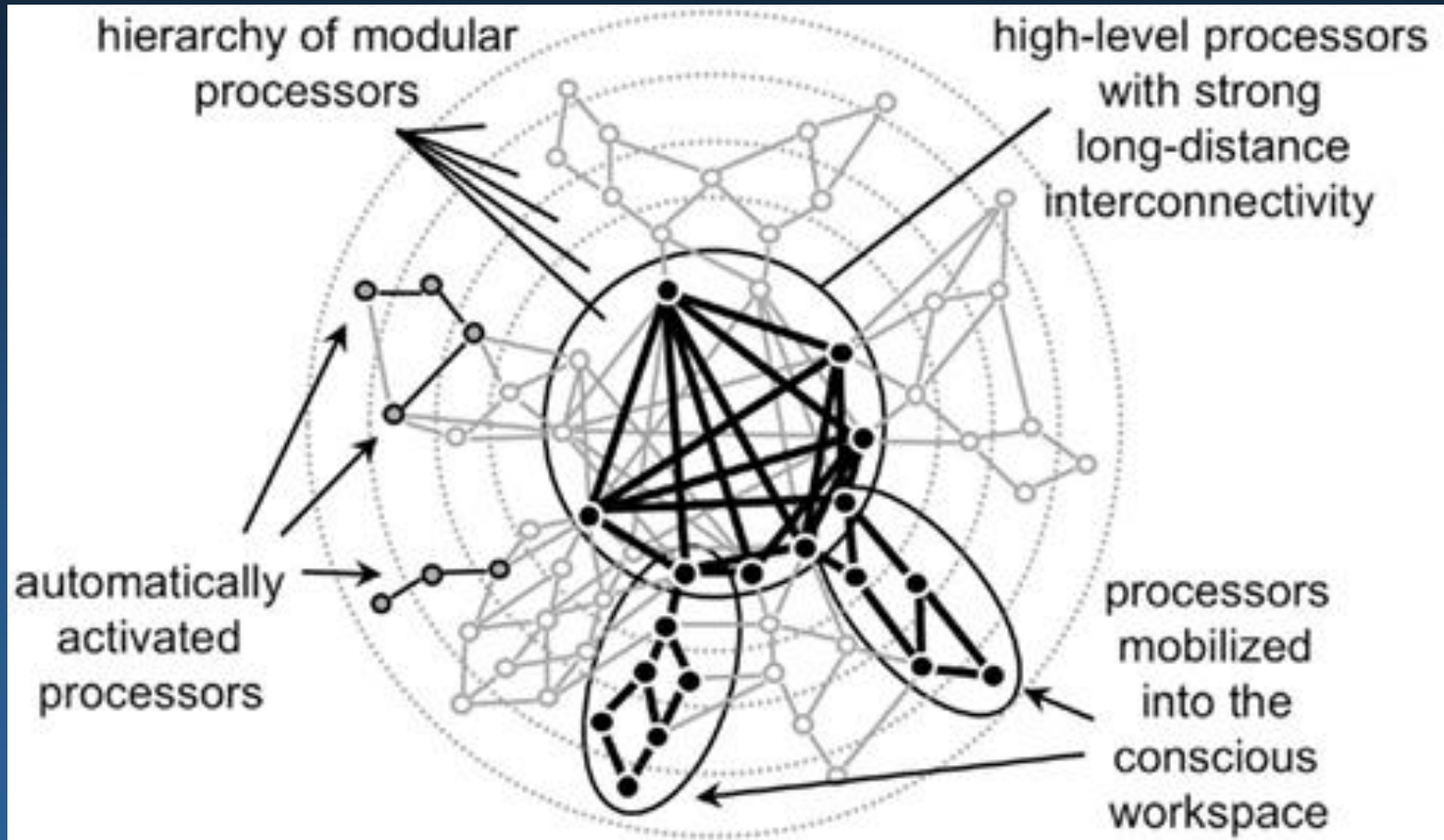
Roger Shepard (1957-2001), P-spaces :

- minimalna wymiarowość
- odległości maleją monotonicznie wraz z wzrastającym podobieństwem (multi-dimensional non-metric scaling).

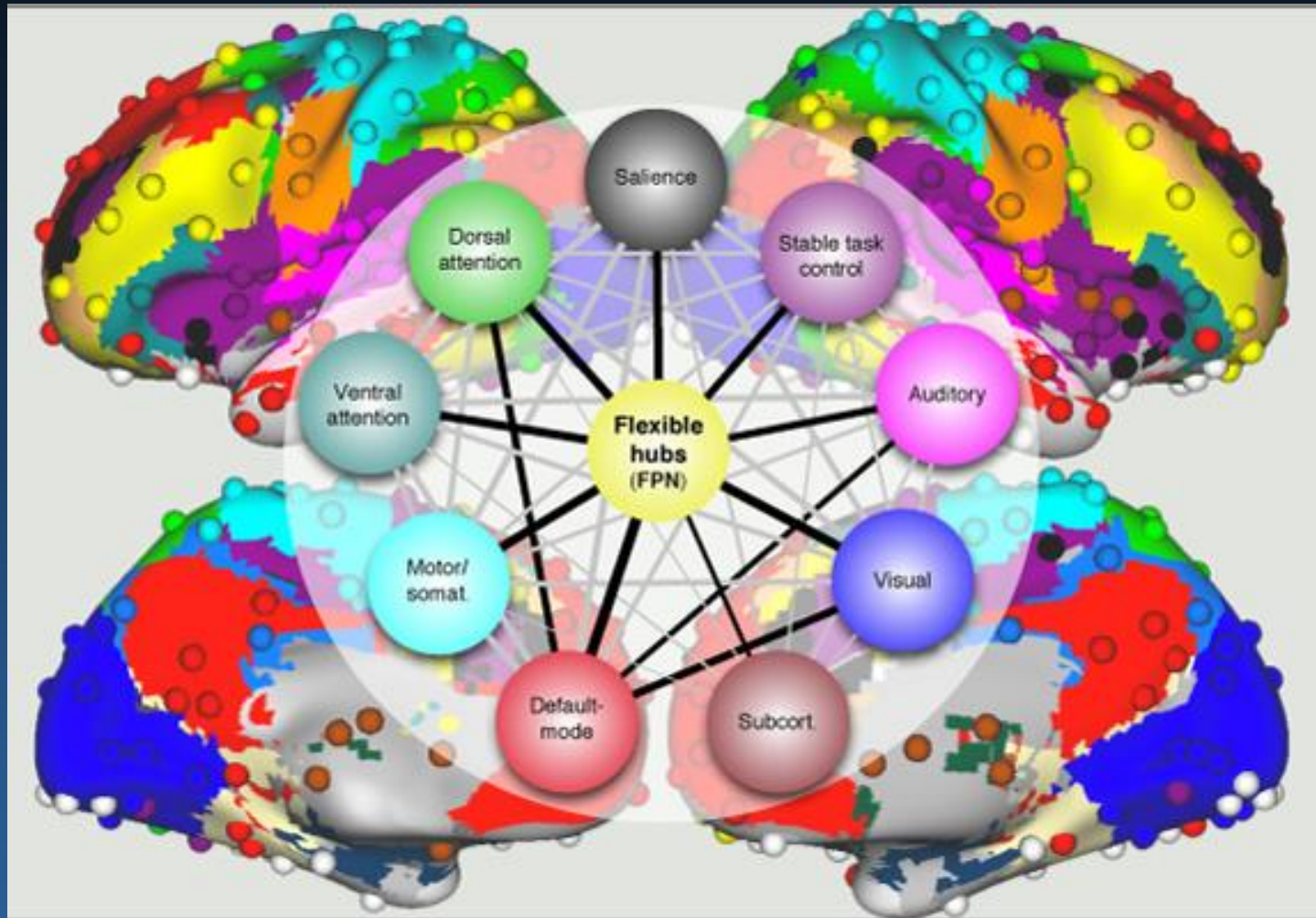


GNWT

Global Neuronal Workspace Theory (Dehaene et al. 1998)



Neurokognitywne podstawy kontroli



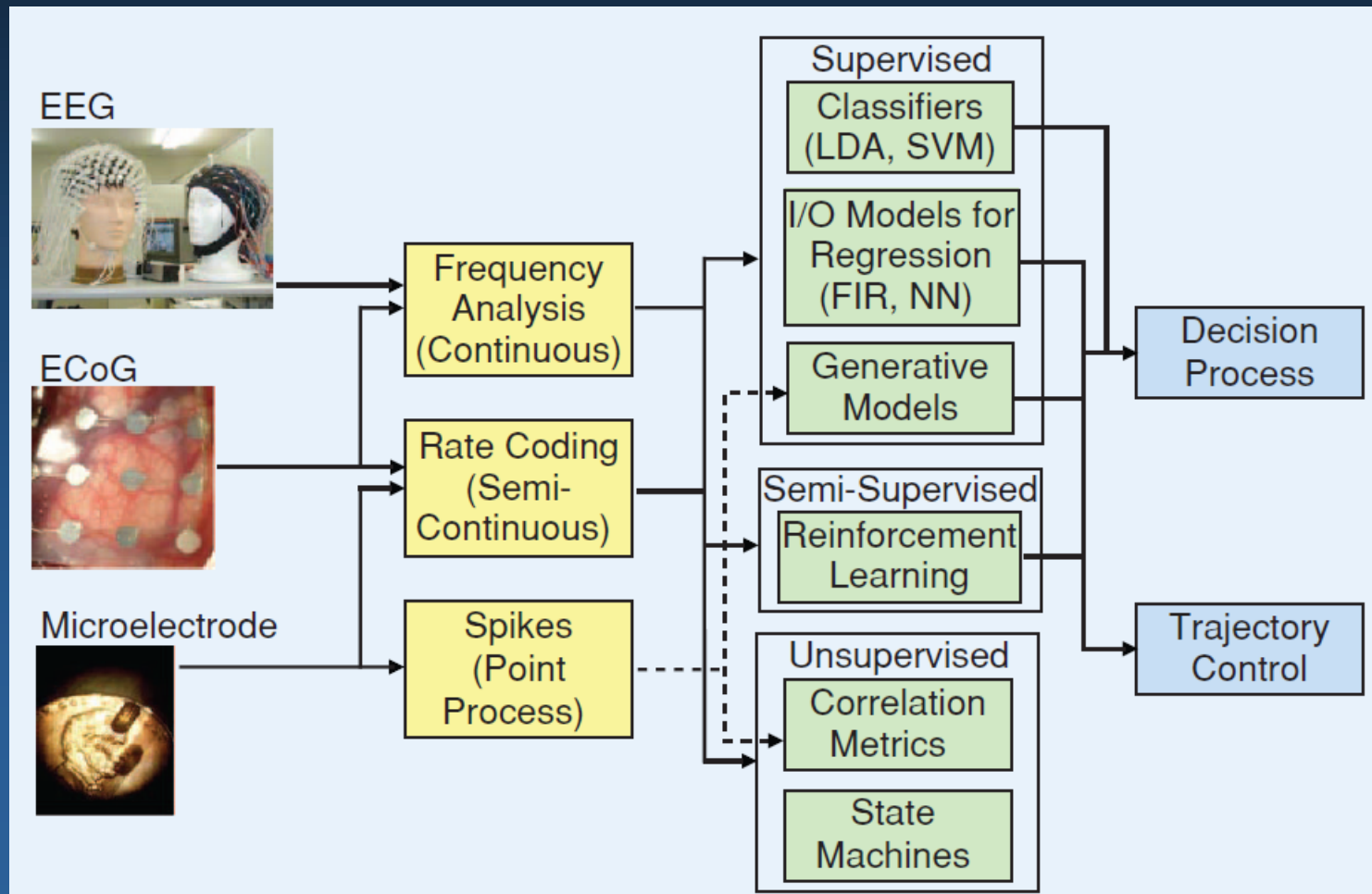
Cole M.W. et al. (2013). Multi-task connectivity reveals flexible hubs for adaptive task control. *Nature Neuroscience*; 2013

Intencje i myśli w mózgu

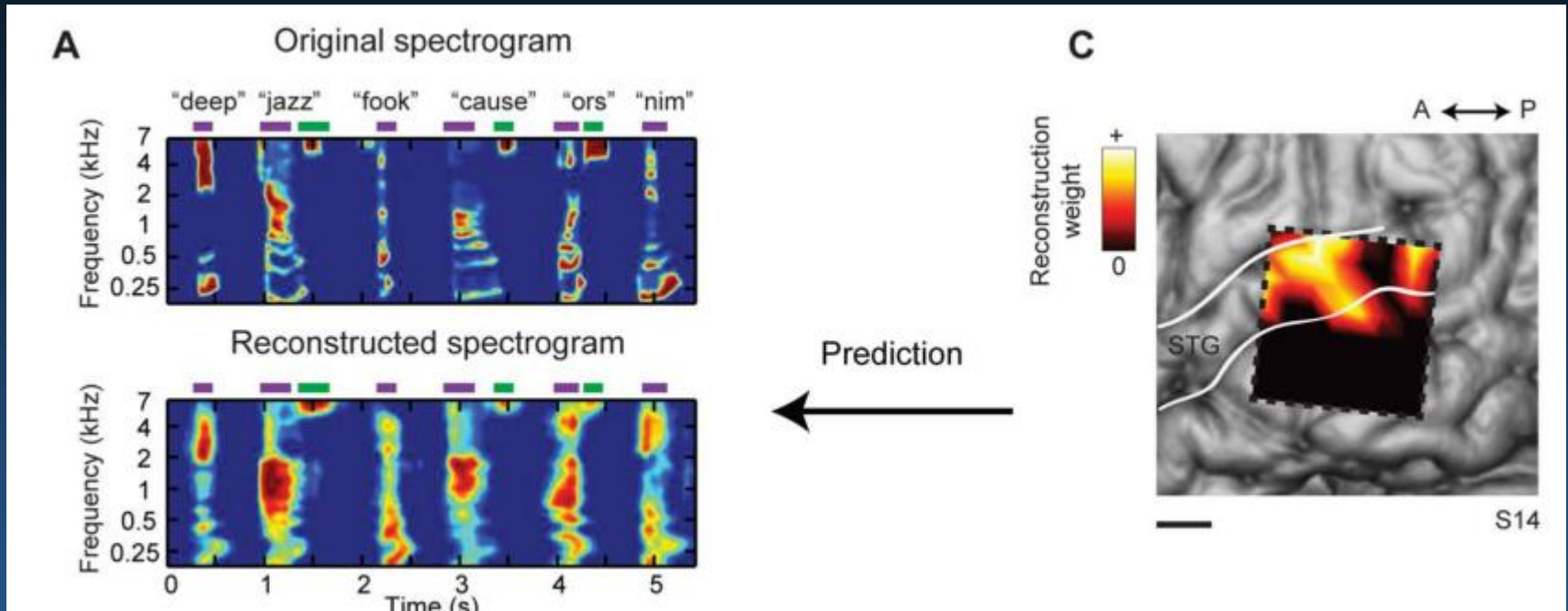
Brain-Computer Interfaces (BCI)

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

Im lepszy dostęp do neuronów tym więcej informacji można odczytać.



Myśl: czas, miejsce, energia, częstotliwość



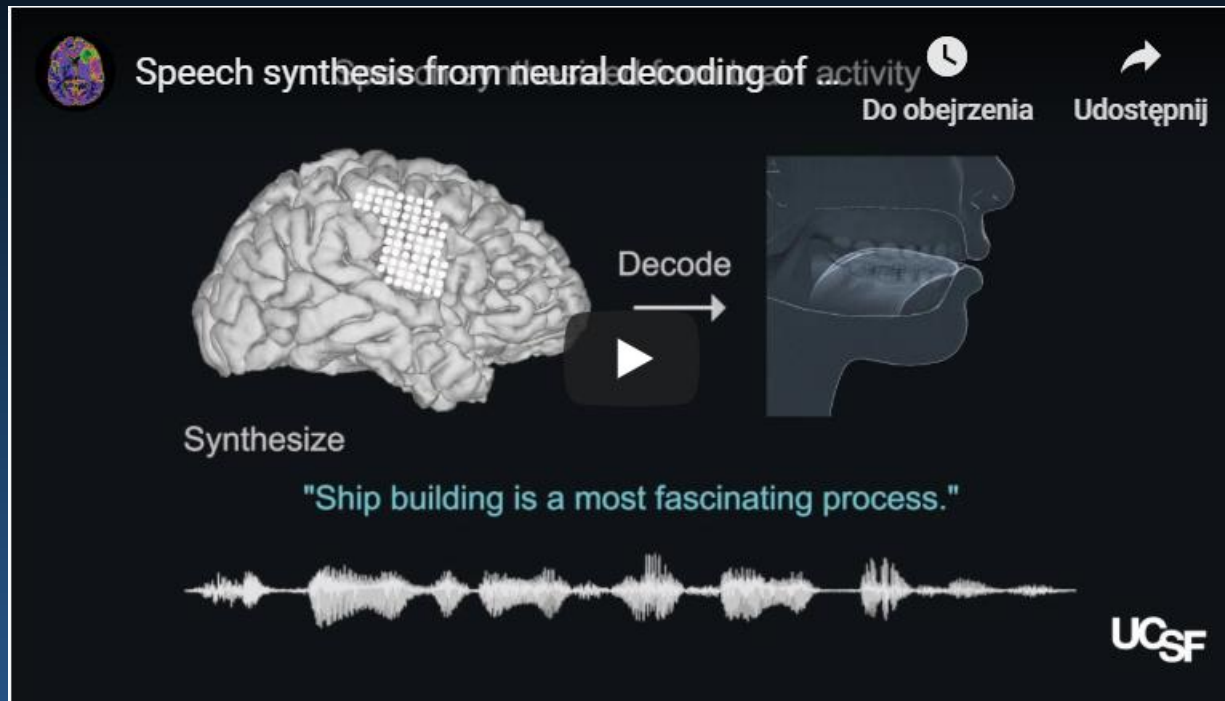
Oscylacje w sieciach: możesz czytać po cichu a ja będę to głośno słyszał!
Ale potrzebuję dostęp do kory Twojego mózgu ...

Mając rekonstrukcję spektrogramu można użyć syntezeru mowy by ją usłyszeć.

Pasley et al. Reconstructing Speech from Human Auditory Cortex (2012)

Ale niezbyt wyraźnie ...

Słuchanie myśli



Oscylacje w sieciach: możesz czytać po cichu a ja będę to głośno słyszał!
Ale potrzebuję dostępu do kory Twojego mózgu ...

Pasley et al. Reconstructing Speech from Human Auditory Cortex (2012)

Sparaliżowana osoba, 150 słów/minutę. [Nature 24/4/2019](#)

ML rozpoznaje efekty ruchów artykulacyjnych w korze słuchowej.

Słowa w mózgu



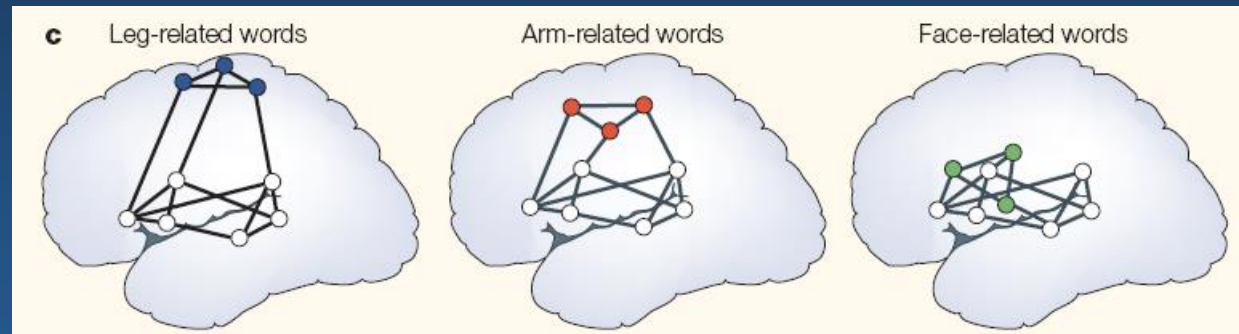
Eksperymenty psycholingwistyczne dotyczące mowy pokazują, że w mózgu występują dyskretne reprezentacje fonologiczne, a nie akustyczne.

Sygnal akustyczny => fonemy => słowa => koncepcje semantyczne.

Aktywacje semantyczne następują 90 ms po fonologicznych (N200 ERPs).

F. Pulvermuller (2003) *The Neuroscience of Language. On Brain Circuits of Words and Serial Order*. Cambridge University Press.

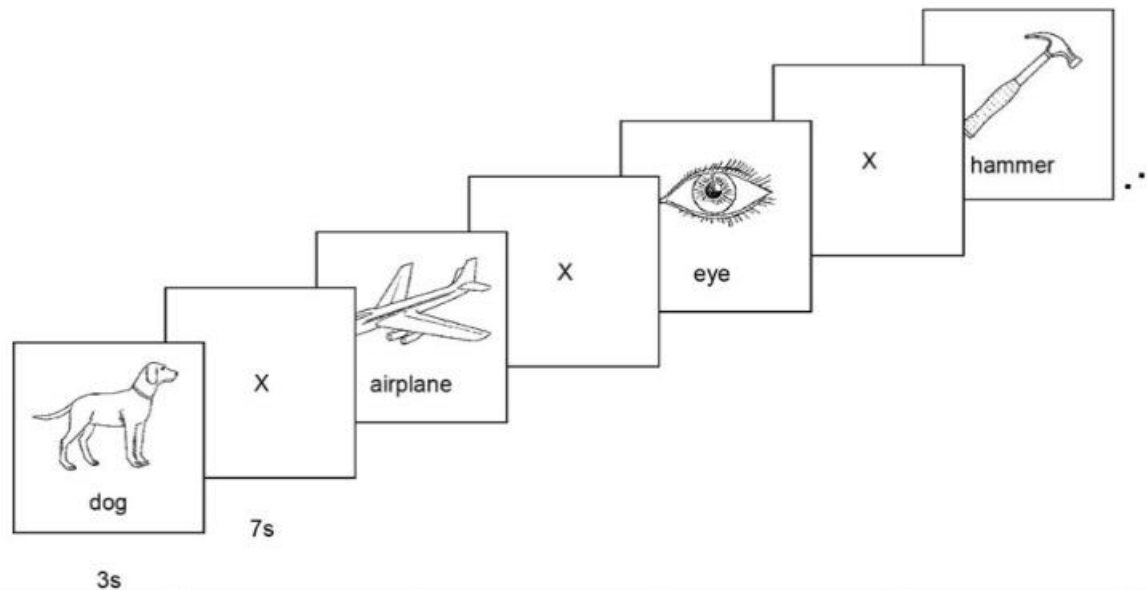
Sieci działania –
postrzegania, wnioski
z badań ERP i fMRI.



Lewa półkula – symbole wskazujące na sens słowa, skorelowane z pobudzeniem rozległych obszarów mózgu. Prawa półkula – bardziej ogólne kategorie, gestalt, klastry pojęć nie mające jednoznacznej reprezentacji fonologicznej.

Słowa: mikrostanu aktywacji mózgu.

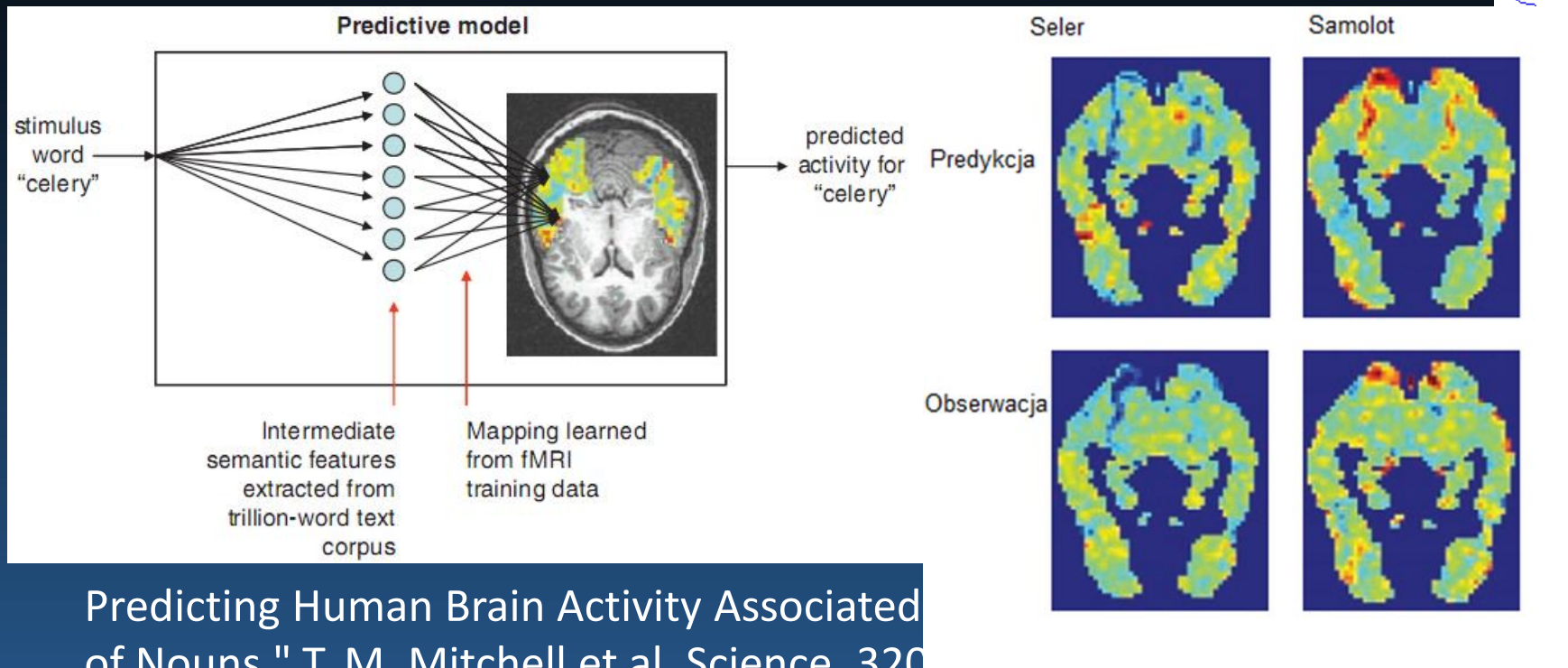
Oglądanie obrazów, wideo, dźwięki pomagają skupić uwagę na danym obiekcie



| Category | Exemplar 1 | Exemplar 2 | Exemplar 3 | Exemplar 4 | Exemplar 5 |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| animals | bear | cat | cow | dog | horse |
| body parts | arm | eye | foot | hand | leg |
| buildings | apartment | barn | church | house | igloo |

Czy można skategoryzować różne aktywacje mózgu i powiązać je ze stanami mentalnymi?

Neuroobrazowanie słów?



Predicting Human Brain Activity Associated
of Nouns," T. M. Mitchell et al, Science, 320, 1191, 2005

Słowo => 25 cech semantycznych, które odnoszą się do postrzegania/działania.
Wektor(słowa) \Leftrightarrow Macierz(BOLD). Klasyfikator trenowany na N-2 skanach.

Zmysły: wzrok, słuch, zapach, smak, dotyk, strach i inne emocje.

Ruch: jedzenie, podnoszenie, manipulowanie, poruszanie, pchanie, pocieranie ...

Relacje: zbliżanie, łamanie, czyszczenie, wchodzenie, wypełnianie, otwieranie,
noszenie, podróżowanie ...

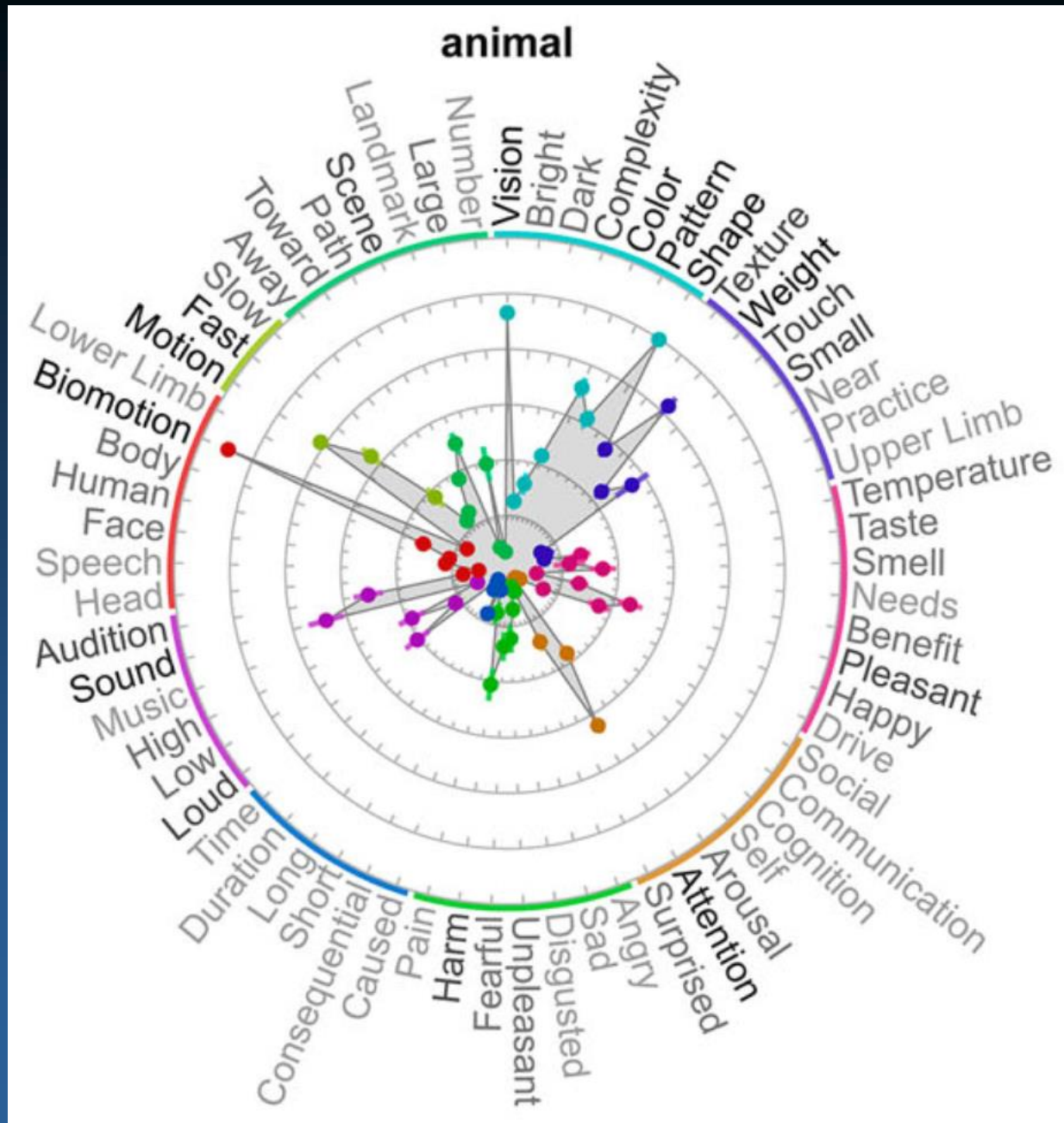
Semantyka oparta na naturalnych wymiarach.

J.R. Binder et al.
Toward a Brain-Based Componential Semantic Representation, 2016

65 cech/własności związanych z percepcją, emocjami, neuronalnymi funkcjami.

Kolory na okręgu: ogólne kategorie.

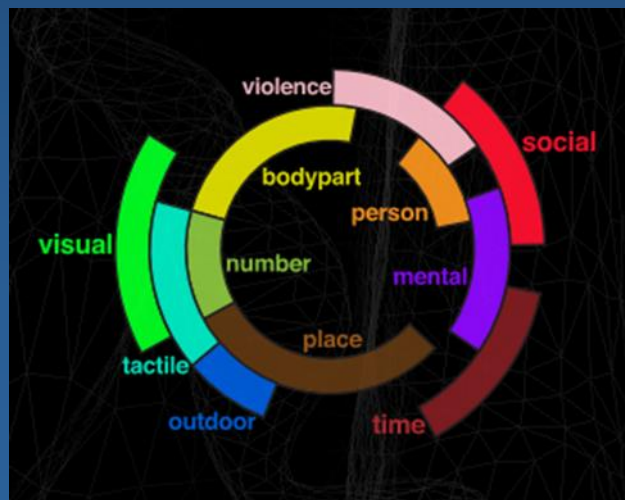
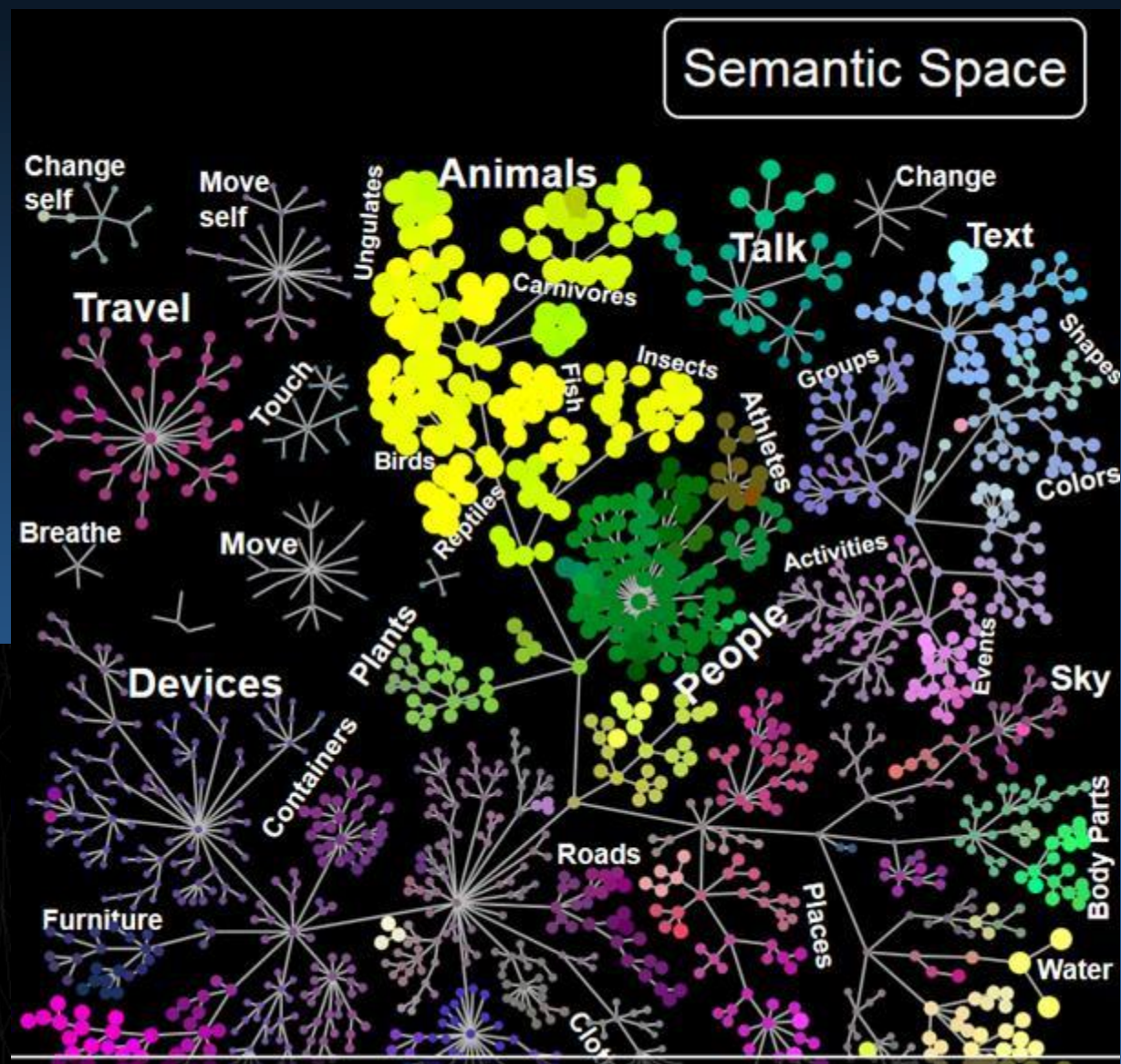
Nie tylko obiekty dające się zobaczyć, inne pojęcia również!

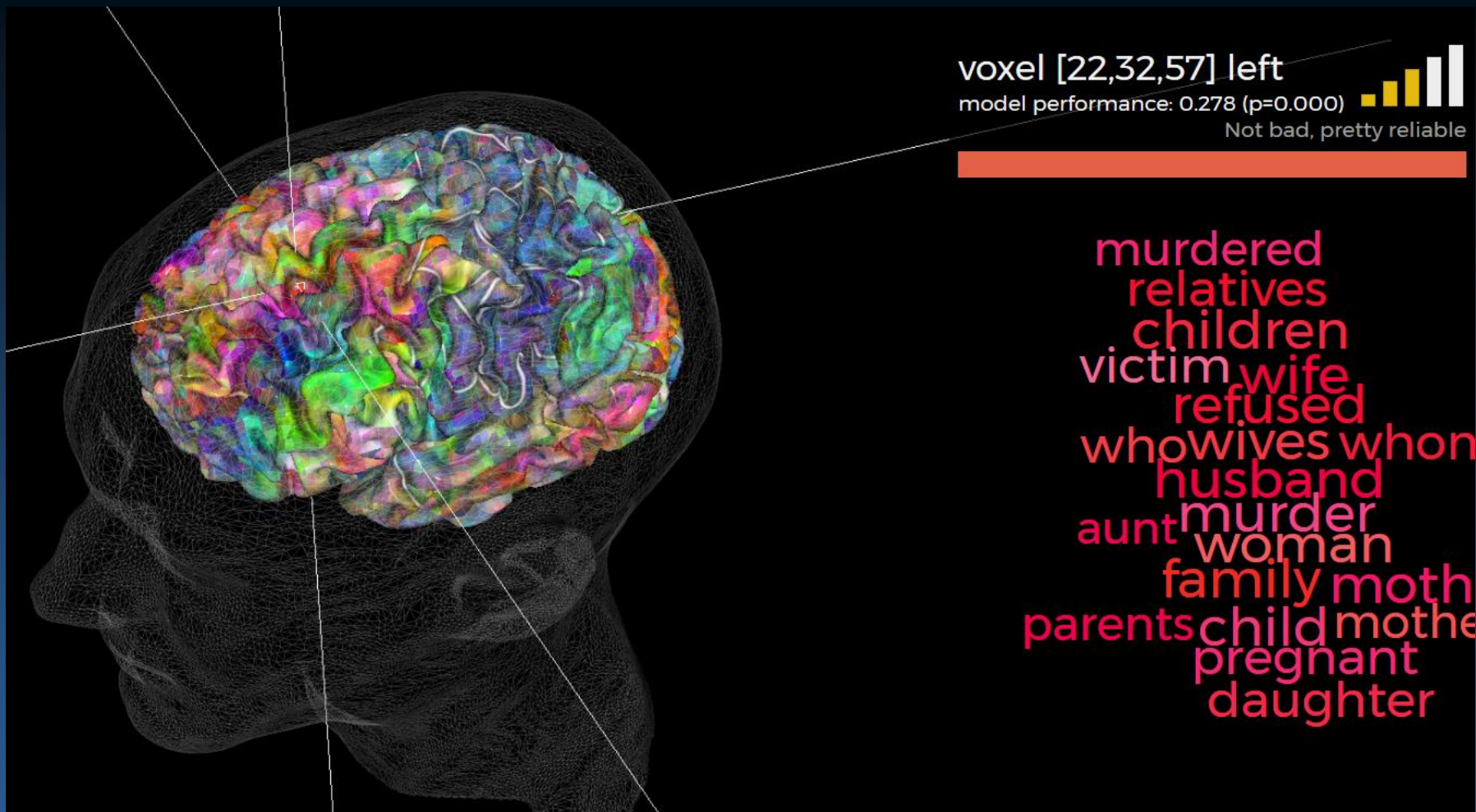


Semantyczna przestrzeń neuronalna

Atlas pokazujący aktywacje mózgu w czasie semantycznej interpretacji pojęć opracowano dla ponad 1700 słów z pomocą fMRI (60.000 voxel).

[Laboratorium Gallanta w Berkeley.](#)



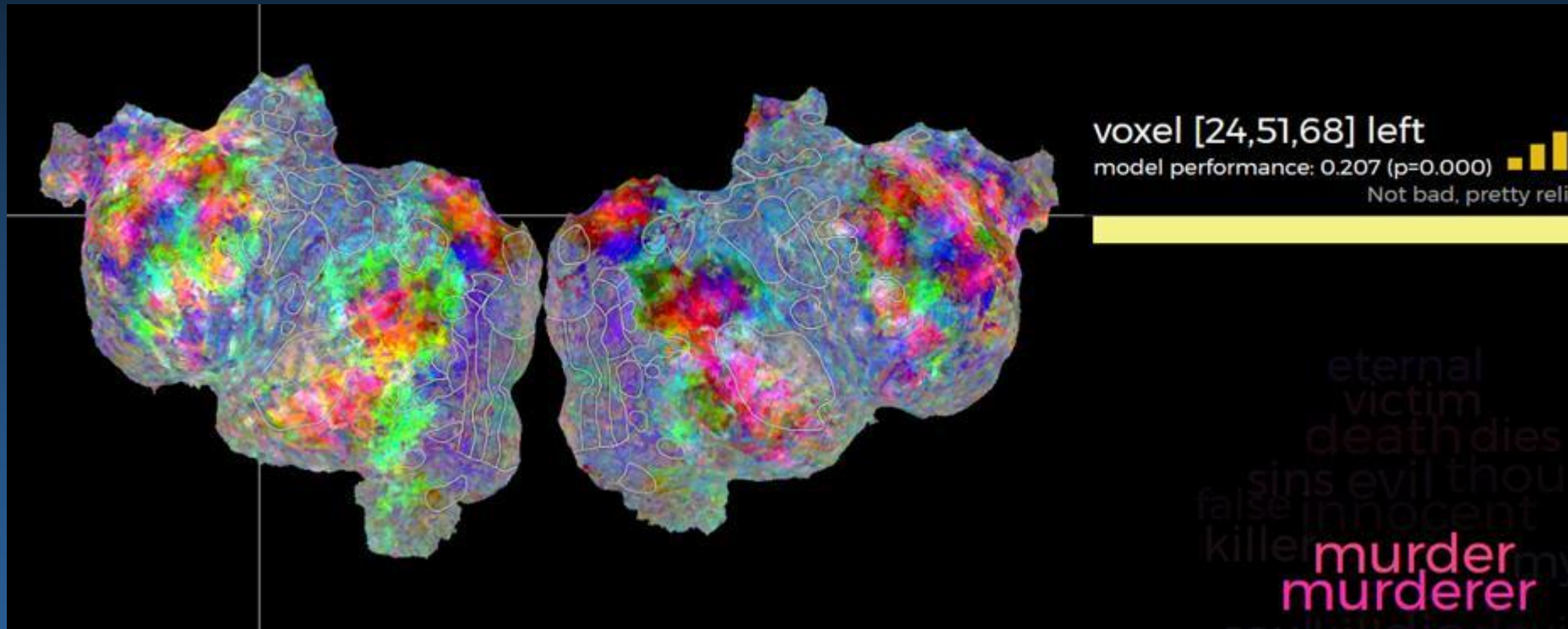


Interaktywne narzędzie atlasu pozwala na różne sposoby oglądania aktywacji kory: <http://gallantlab.org/huth2016/>

Uśrednione wartości dla 7 osób oglądających wideo przez ponad 2 godziny.

Aktywacja kory

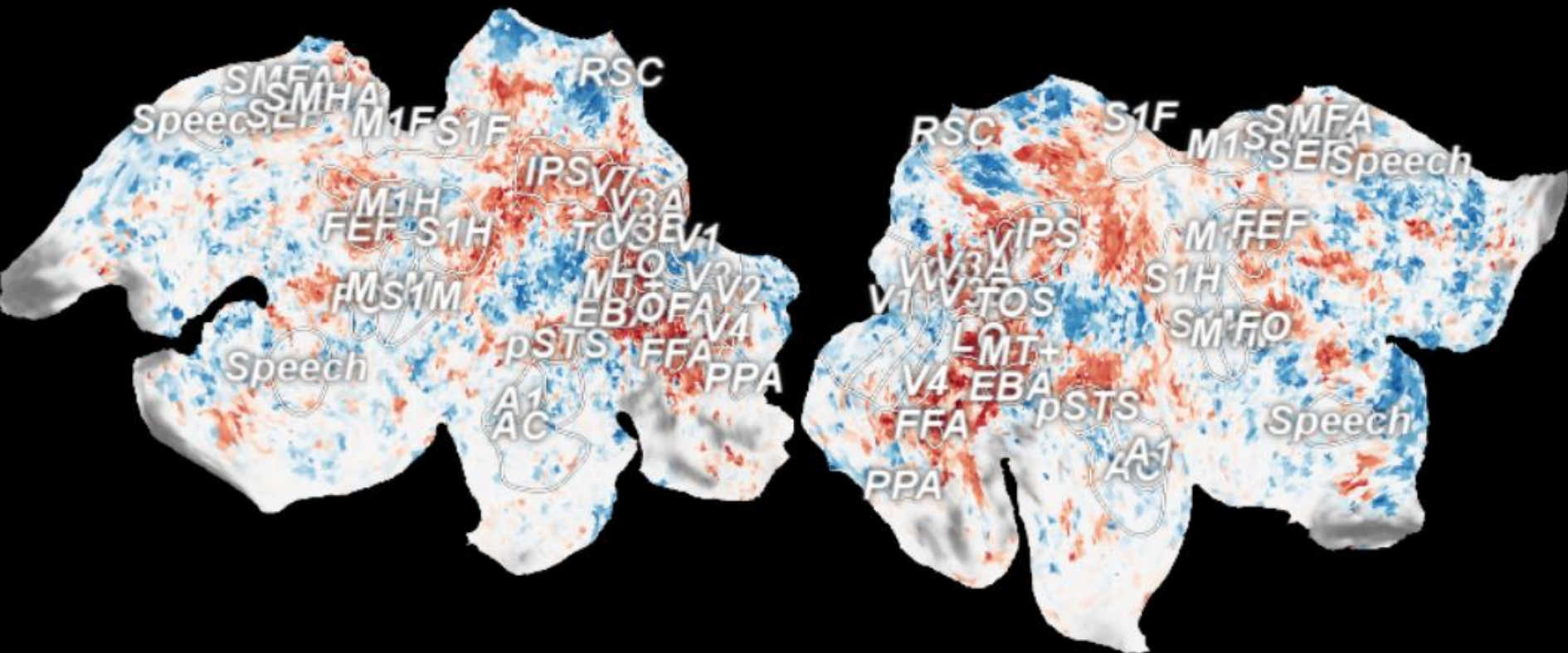
Większość wokseli bierze udział w kodowaniu wielu pojęć, ale niektóre mają silne preferencje, jak w tym przypadku.



Aktywacja pojęć prowadzi do aktywacji określonych struktur mózgu. Każda ze struktur uczestniczy w semantycznej interpretacji wielu pojęć. <http://gallantlab.org/huth2016/> oraz [krótki film](#).



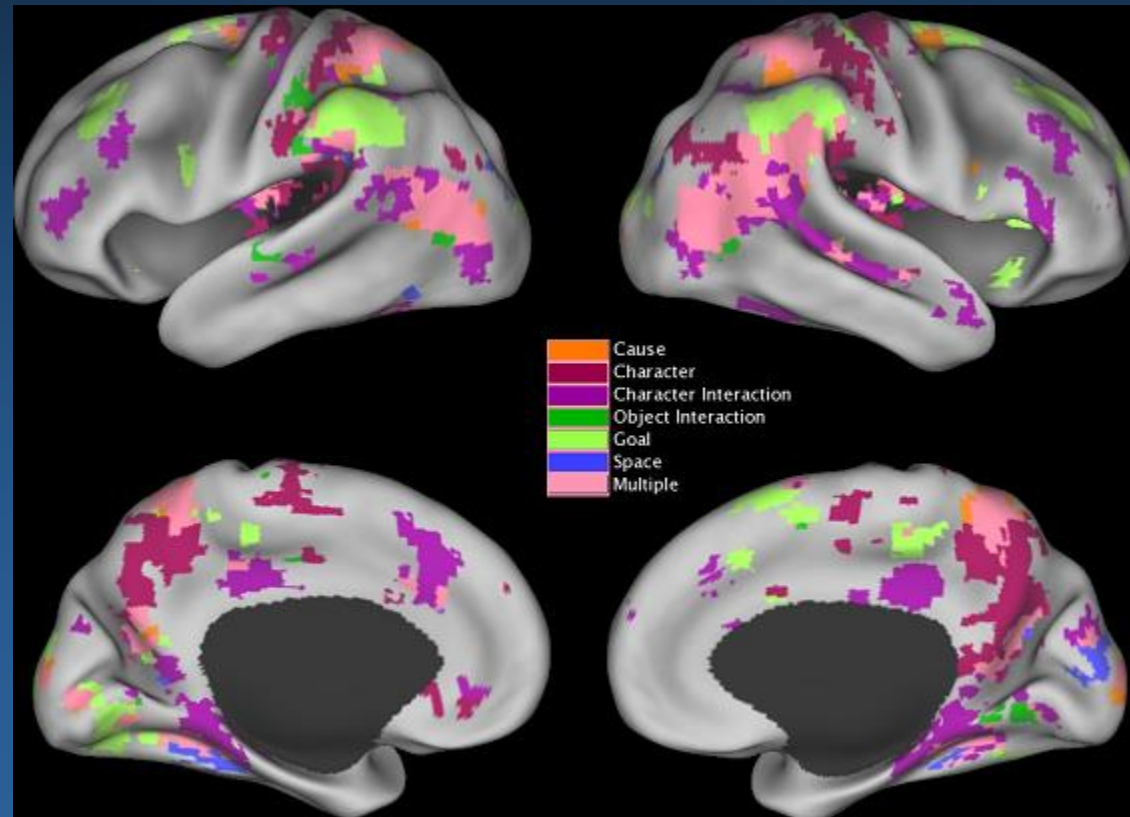
Category zebra: Passive Viewing



Segmentacja doświadczenia

Świat naszych przeżyć jest sekwencją scen (Szekspir: „Cały świat to scena”. Stany przejściowe nie są postrzegane (J.M. Zacks, et al. The brain's cutting-room floor: segmentation of narrative cinema. 2010).

Automatyczna segmentacja doświadczenia to podstawa percepcji, ułatwiająca planowanie, zapamiętywanie, łączenie informacji. Przejścia pomiędzy segmentami wynikają z obserwacji istotnych zmian sytuacji, pojawienia się postaci, ich interakcji, miejsca, celów, jak na filmie.



Obrazy w mózgu

Widziane w mózgu

Skany fMRI umożliwiają rekonstrukcję widzianych obrazów; korelacja obraz-skan.
S. Nishimoto et al. 2011

Jack Gallant: rekonstrukcja obrazów z aktywności kory wzrokowej, skany ~2 s.

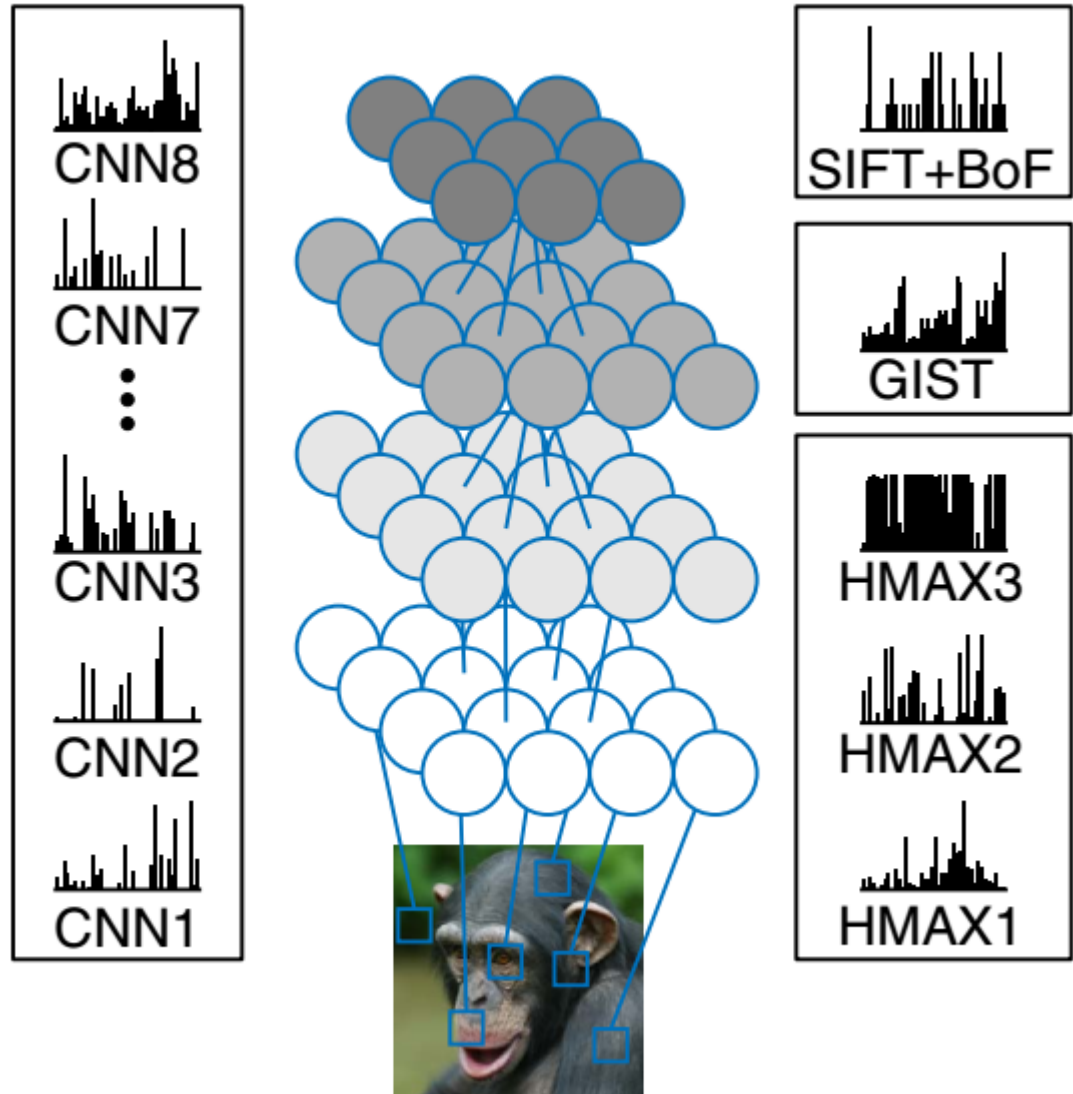


Opis obrazów

W analizie obrazu stosuje się typowe cechy, np. GIST, gradienty fragmentów obrazu.

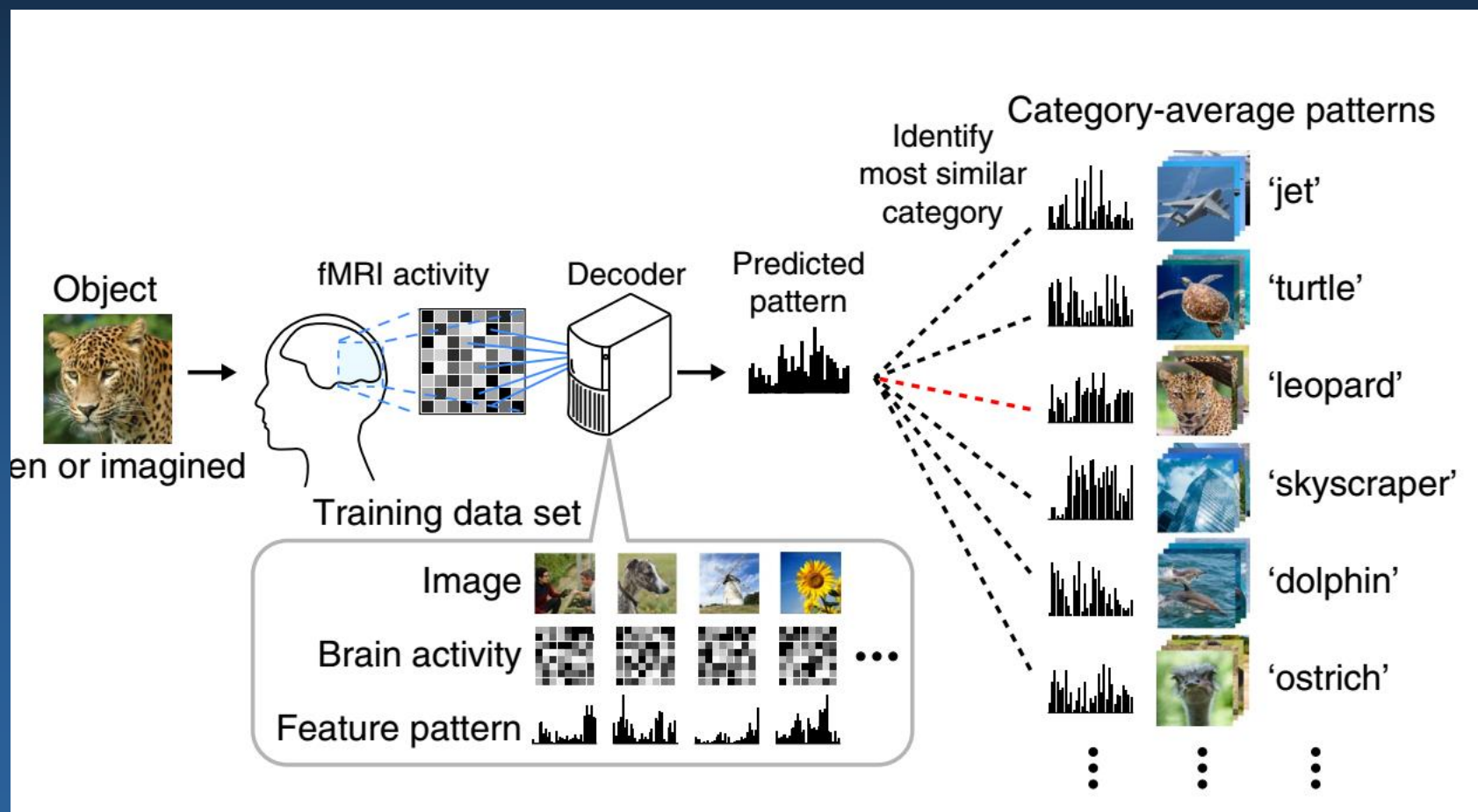
Głębokie sieci neuronowe CNN, np. 8-warstwowa sieć ~60 mln parametrów, dają użyteczne deskryptory. 1000 przypadkowo wybranych elementów z każdej warstwy daje wektor CNNx, upraszcza obliczenia.

Bashivan, P et al. [Neural population control via deep image synthesis](#). *Science* 3.05. 2019



Dekodowanie generyczne

Skany fMRI można skorelować nie z obrazami ale z ich cechami, np. z analizy głębokich sieci konwolucyjnych (CNN) i typowych cech używanych do analizy obrazów; skan => {zbiór cech}. Horikawa, Kamitani, Generic decoding of seen and imagined objects using hierarchical visual features. Nature Comm. 2017.



fMRI \leftrightarrow CNN

Generic decoding: recognizing also images that did not appear in training.
Data from dreams, imagery, visual activity.

1. Use CNN to analyze >15.000 images O_i from ImagNet database classifying them into 1000 categories; for each image generate 13 types of features (CNN1–8, HMAX1–3, GIST and SIFT + BoF) coded as template feature vectors $V(O_i)$ for images.
2. Analyze fMRI data $F(O_i)$ for 150 image categories (8 examples in each), select 500 voxels for V1–V4, LOC, FFA and PPA responding strongly to images vs scrambled images; decode feature values $V(O_i)$ using regression analysis $R[F(O_i)] = V(O_i)$.
3. For a new image O_n (test, imagery, dream) use regression to calculate feature vector $R[F(O_n)] = V(O_n)$.
4. Find in the database vector $V(O)$ for category of images most similar to the predicted $V(O_n)$, representing mental image, or recreate using activation maximization method an image from $V(O_n)$ vector.

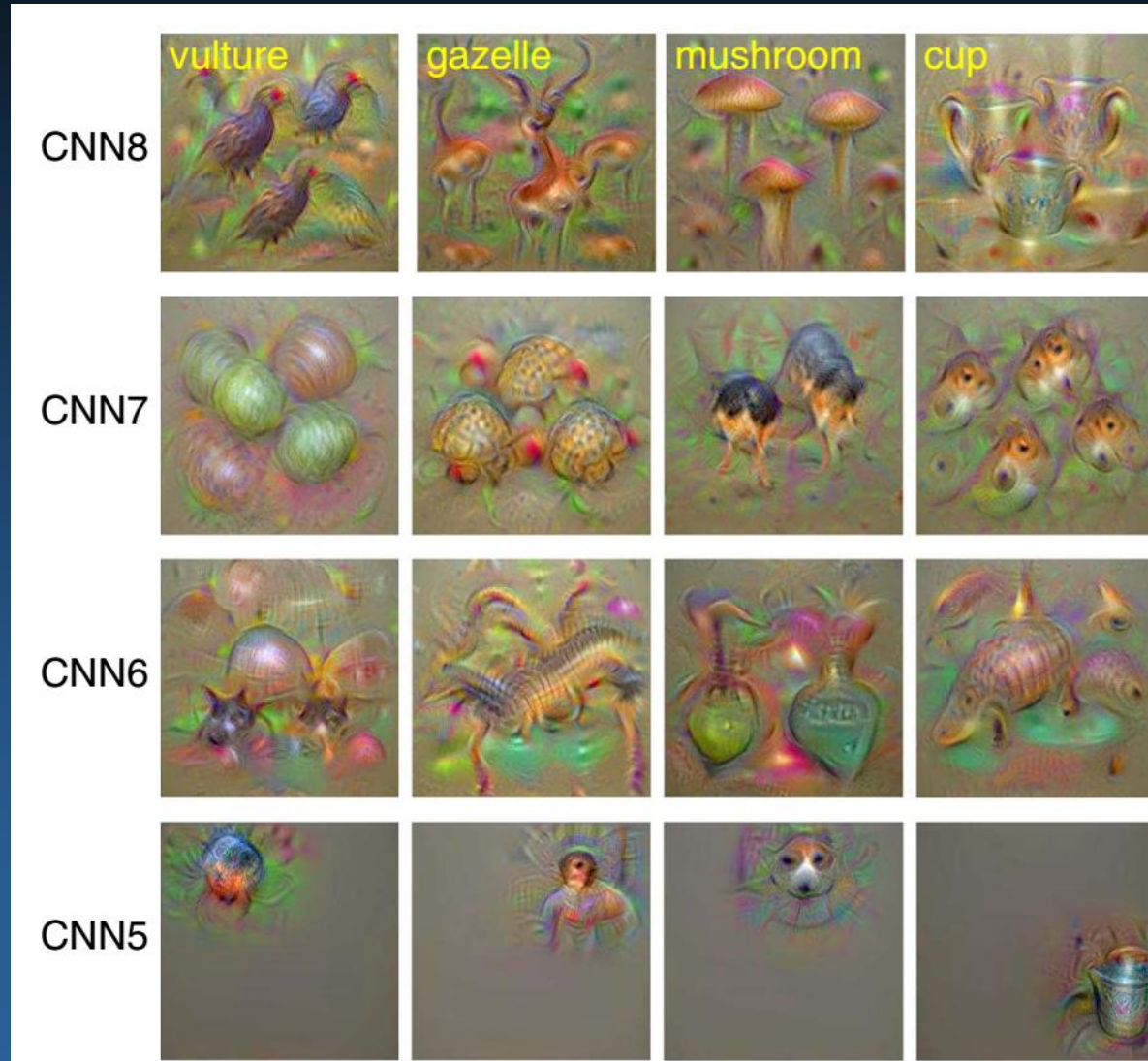
fMRI \leftrightarrow CNN

Skany dla 150 kategorii z 15.000 w ImageNet.

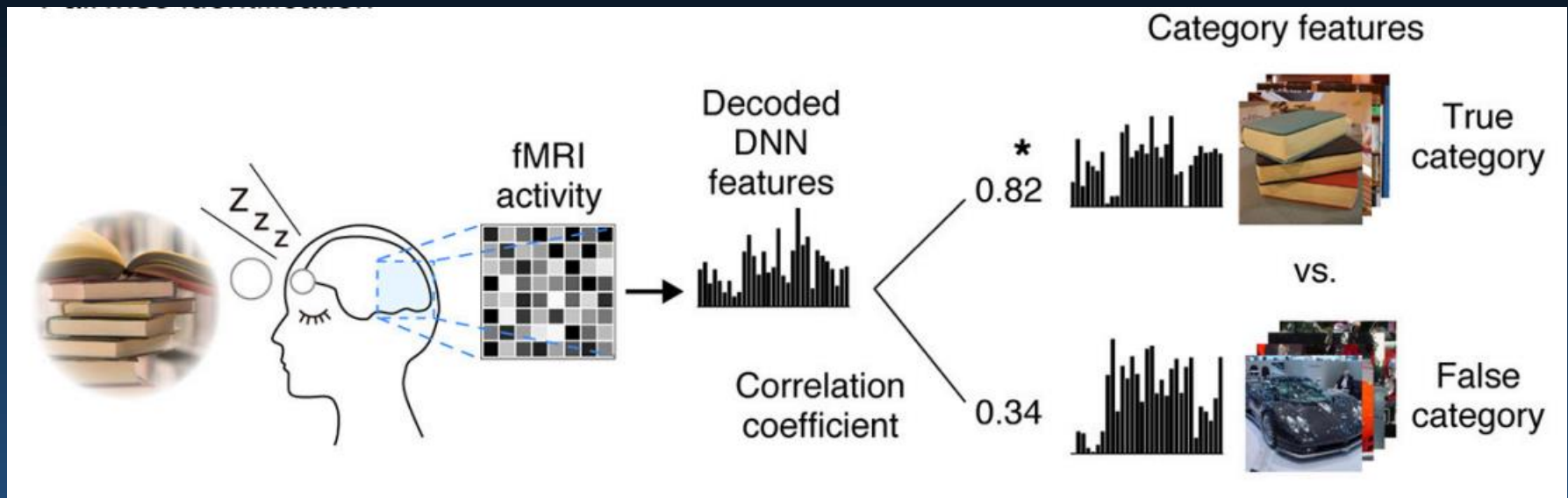
4 neurony wybrane przypadkowo z każdej warstwy, reagują najsilniej na takie obrazy.

Złożoność, inwariancja względem skalowania, obrotów i przesunięć wzrasta w wyższych warstwach, woksele z wyższych obszarów wzrokowych.

Dokładność rozpoznania widzianych obiektów ~90%, a wyobrażonych >70%.



Dekodowanie snów



[Decoding Dreams](#), ATR Kyoto, Kamitani Lab.

Skany fMRI zbierane w fazie snu REM i przy zapadaniu w sen, po obudzeniu badani opisywali co im się śniło. Dokładność ~65% (20 kategorii), wyobrażonych ~75%, oglądanych 90% (50 kategorii).

Horikawa, Kamitani (2017). Hierarchical Neural Representation of Dreamed Objects Revealed by Brain Decoding with Deep Neural Network Features.

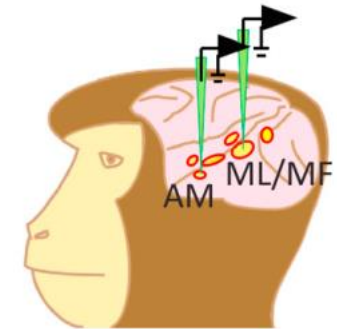
Neuronalne obrazy

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

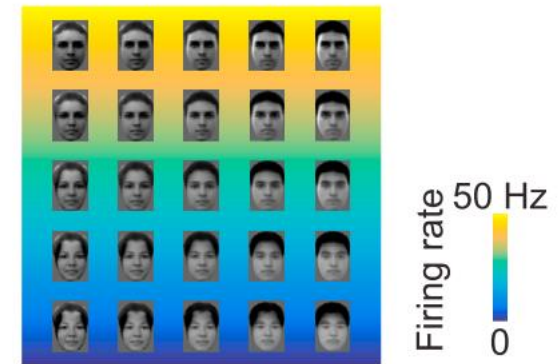
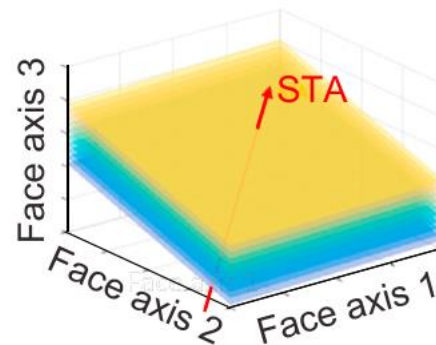
L. Chang and D.Y. Tsao, "The code for facial identity in the primate brain," *Cell*, doi:10.1016/j.cell.2017.05.011, 2017

Wkrótce na ludziach?
DARPA (2016): 1 mln nanodrutów w mózgu

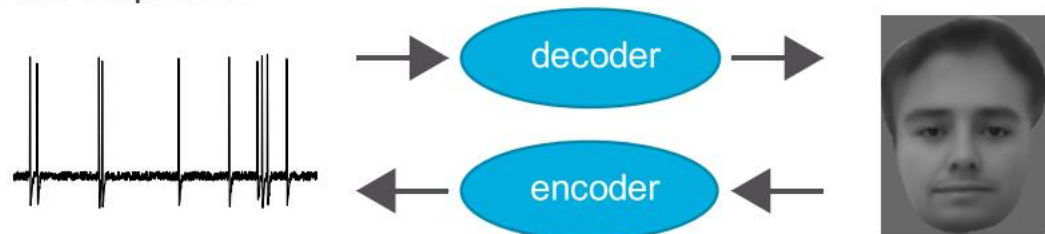
1. We recorded responses to parameterized faces from macaque face patches



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

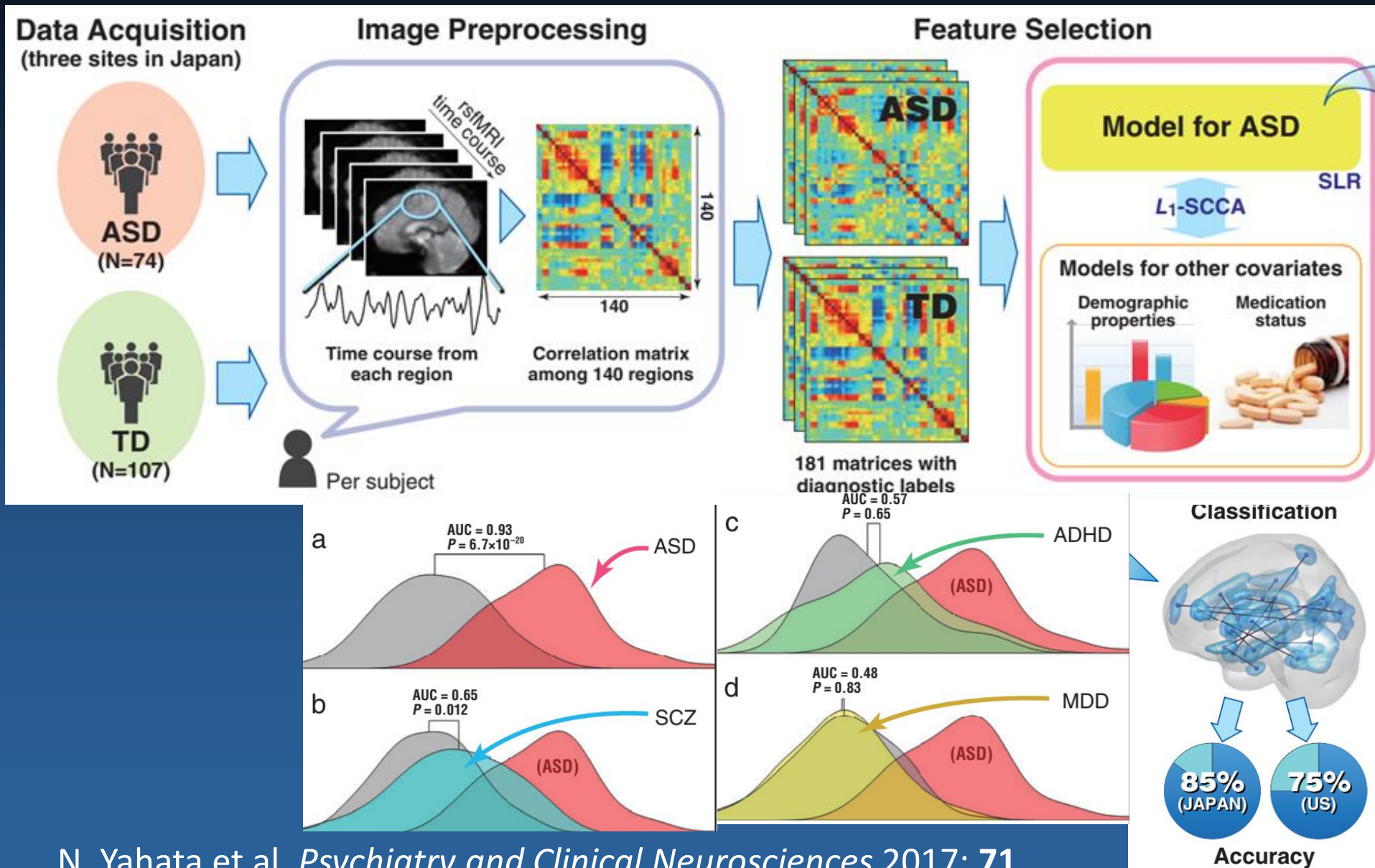
Predicted
face

Actual
face

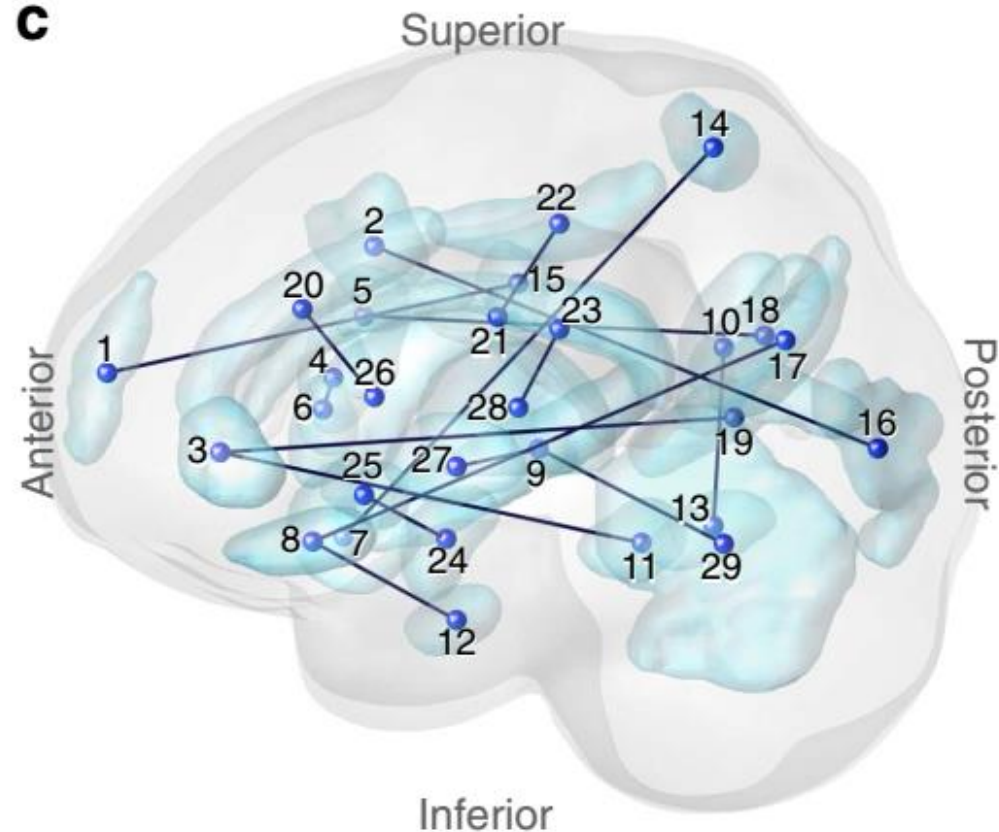
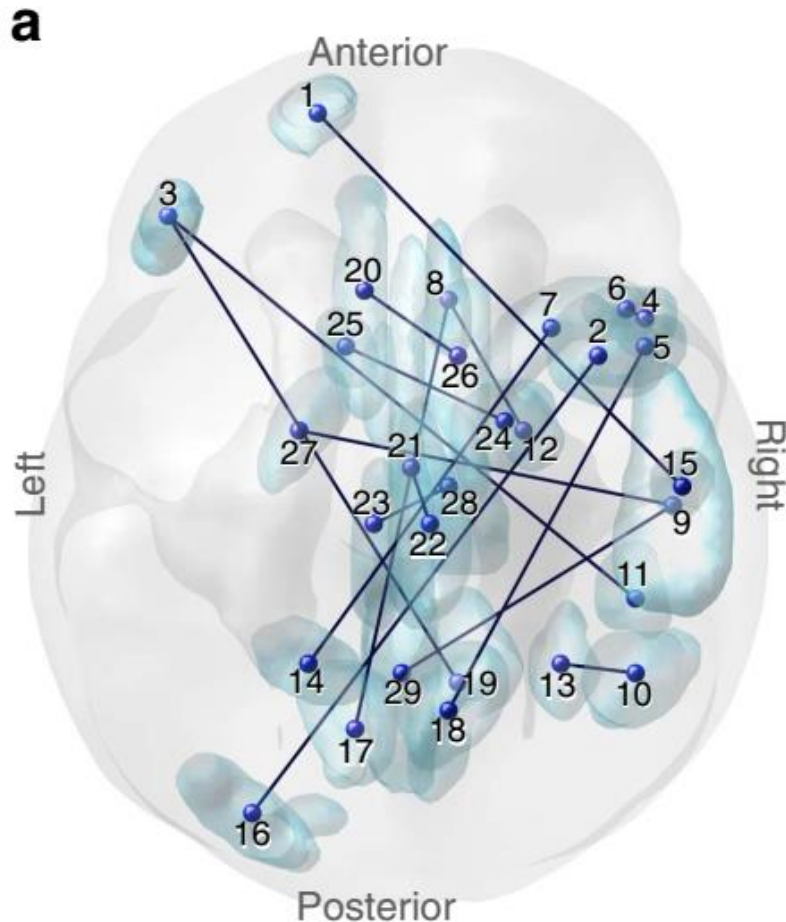
Predicted
face

Perspektywy i nadzieje

Biomarkery z neuroobrazowania



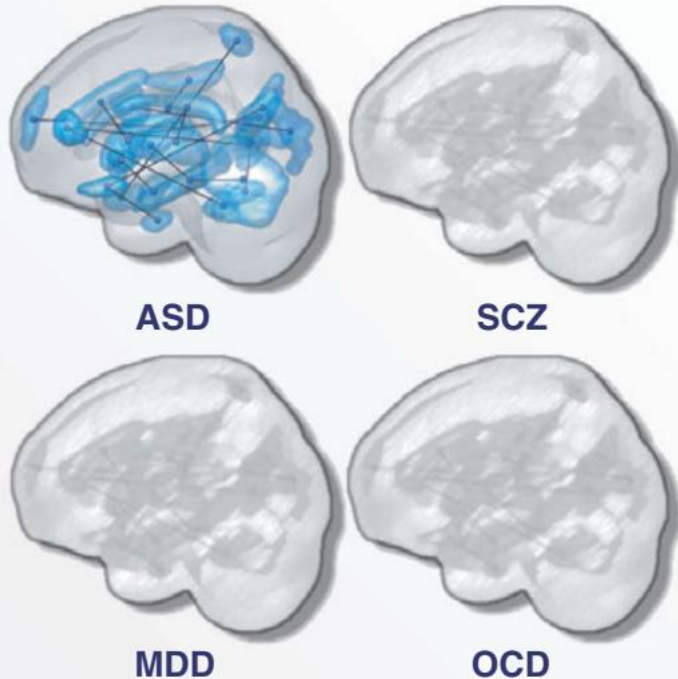
Wybrane połączenia



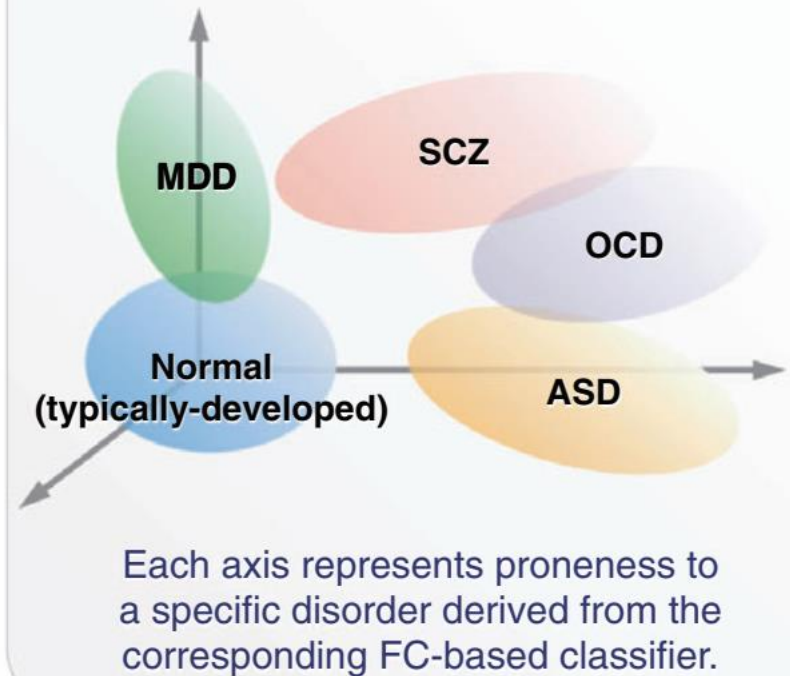
N. Yahata et al (2016): 29 wybrane regiony (ROI) i siła 16 najważniejszych połączeń pozwala rozpoznać autyzm z dokładnością 85% po nauczaniu systemu na pacjentach w Japonii; system w USA bez zmian rozpoznał prawidłowo 75%.

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

Płynna natura kreatywności

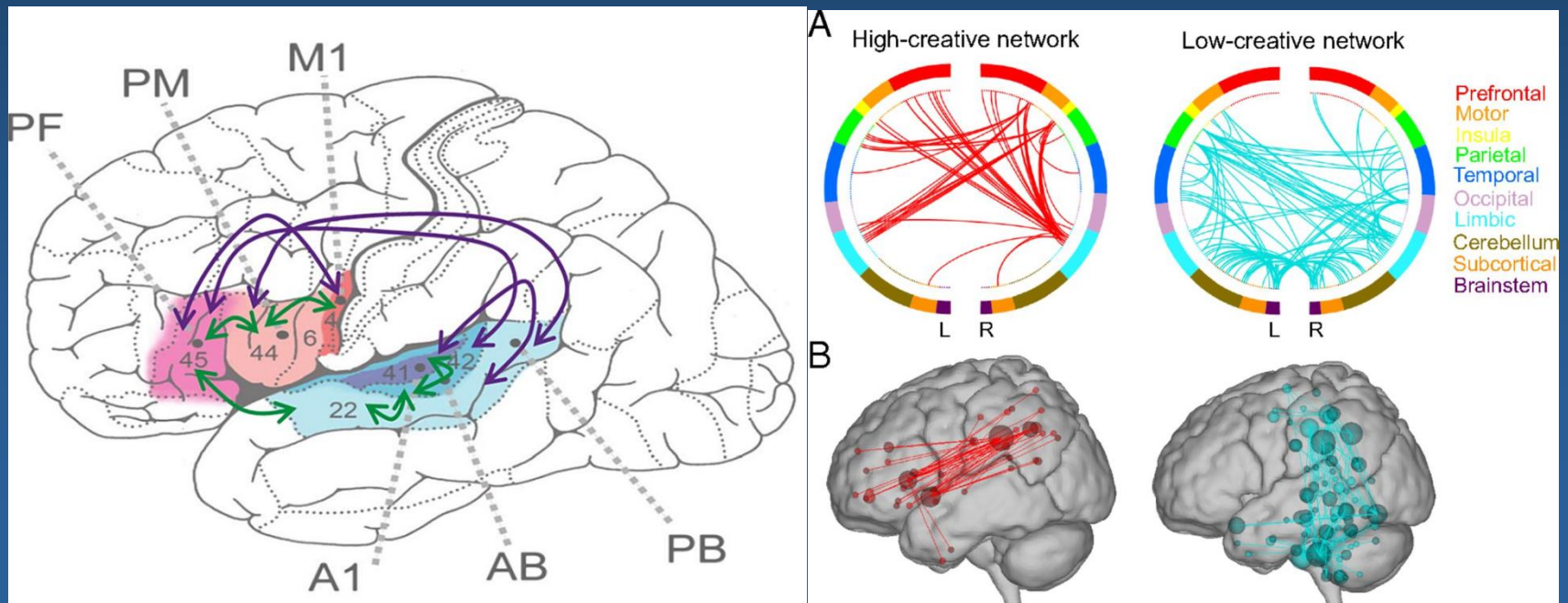


Mózg rozwija się najszybciej w dzieciństwie: badamy w ramach grantu Symfonia rozwój słuchu fonematycznego i pamięci roboczej.

The Developing Human Connectome Project: mapa rozwoju konektomu od 20 do 44 tygodnia od poczęcia, dane z neuroobrazownia, genetyki, badań klinicznych i obserwacji behawioralnych.

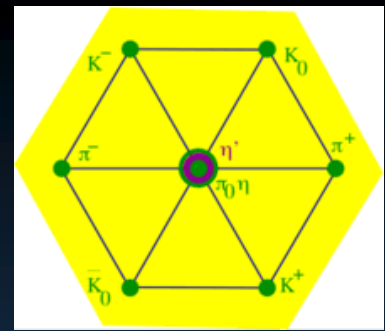
Badamy też gesty, wskazywanie – Monika Boruta-Żywiczyńska (nasz BabyLab).

Kreatywność zależy od funkcjonalnych konektomów i nie koreluje z inteligencją!



Analiza neurodynamiki

Ośmioraka droga do BFP



1. **Rekonstrukcja/Lokalizacja źródeł**, EEG w stylu fMRI.
2. **Rozkład EEG na składowe**: PCA, ICA, EMD, analiza tensorowa i analiza uśrednionych potencjałów ERP po dekompozycji, mikrostan w 2D.
3. **Analiza spektralna** (spectral fingerprinting) po rekonstrukcji źródeł.
4. **Analiza czasoprzestrzenna map EEG**, ERD/ERS
 $\Phi(t, f, E, X) \Rightarrow$ ERS/ERD \Rightarrow bumps \Rightarrow filtry (t, X) , podsieci \Rightarrow trajektorie.
5. **Analiza rekurencji**, identyfikacja mikrostanów.
6. **Podejścia grafowe**: blokowanie fazy (PLV, PLI), analiza indeksów CC, RCC i innych miar pokazujących aktywność podsieci.
7. **Funkcjonalna kartografia**, lub dynamiczna architektura sieci, konektom strukturalny na którym pojawiają się podsieci dla specyficznych zadań.
8. **Ujęcia modelowe**, mapowanie sygnałów fMRI/EEG na sieci neuronowe i symulacje, np. The Virtual Brain.

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.

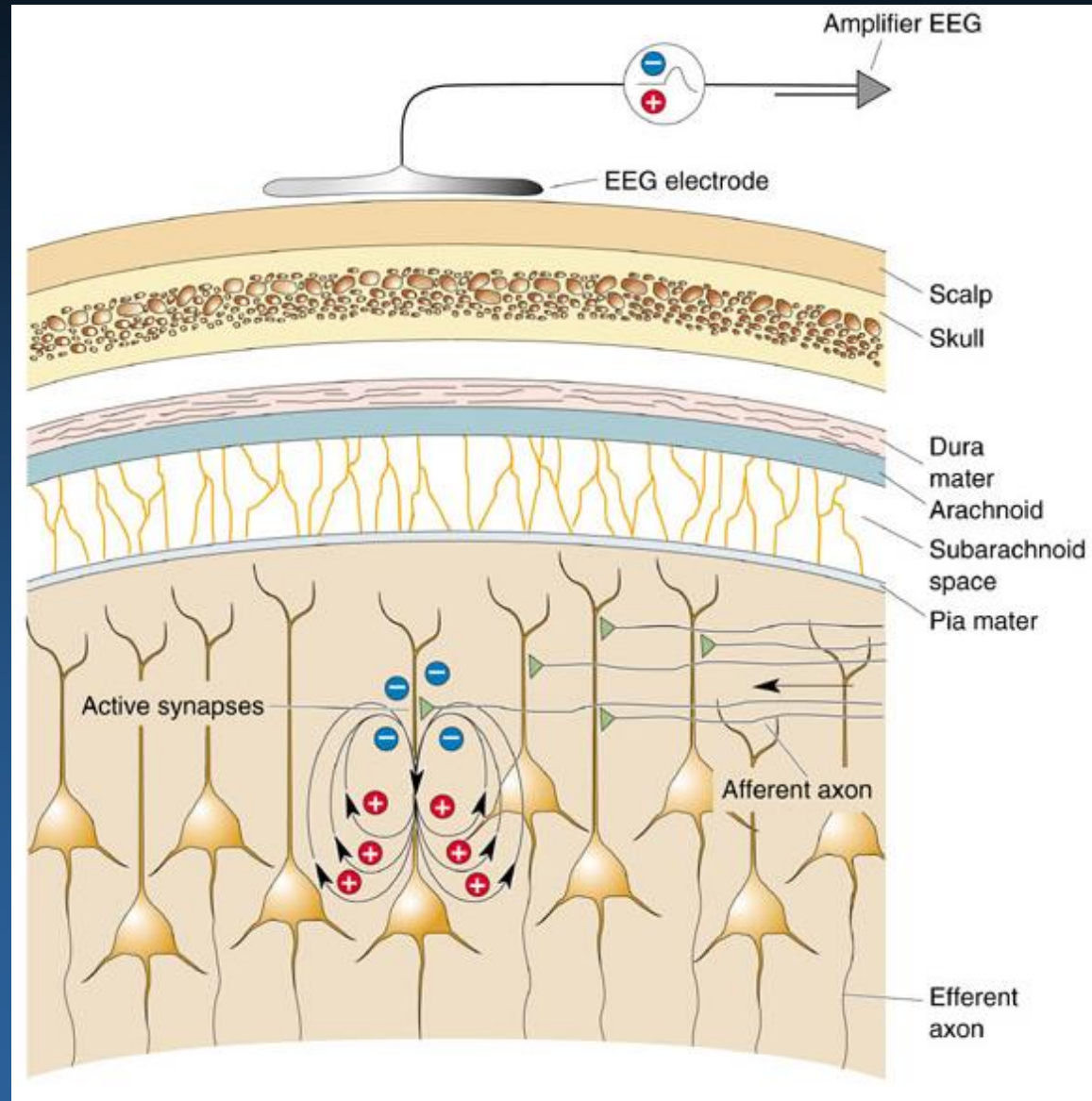
Obserwowany sygnał:

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

K = leadfield matrix

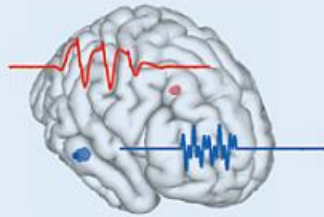
Rozwiązanie: Finite Element
Method (FEM), Boundary
Element Method (BEM).

Segmentacja + rekonstrukcja
to parę dni pracy superkomp.



EEG lokalizacja i rekonstrukcja

ECD

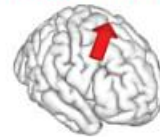


$$\hat{d}_j = \operatorname{argmin} \left\| \phi - \sum_j \mathcal{K}_j d_j \right\|_{\mathcal{F}}^2$$

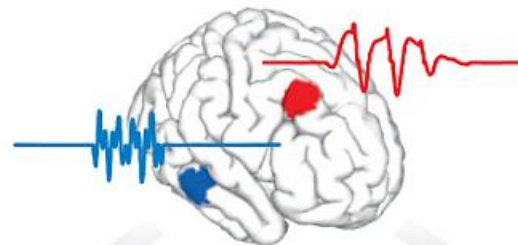
Rotating dipole

- Moving
- Rotating
- Fixed

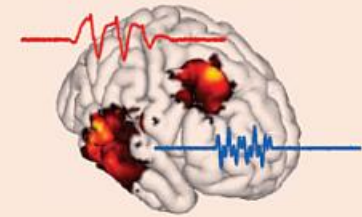
Dipole model



Distributed model



MN (ℓ_2) family



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

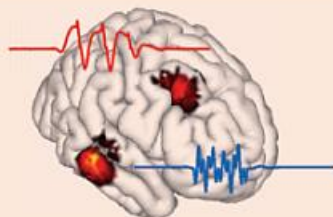
$$\hat{j} = \mathcal{J}\phi = \mathcal{K}^\top (\mathcal{K}\mathcal{K}^\top + \lambda I)^\dagger \phi$$

MN

- MN
- WMN
- LORETA

He et al. Rev. Biomed Eng (2018)

Sparse and Bayesian framework

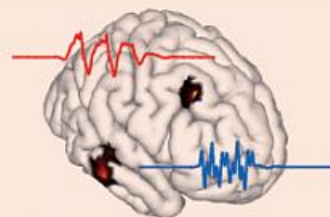


$$\hat{j} = \operatorname{argmin}_j \left\| \mathcal{V}j \right\|_1 + \alpha \left\| j \right\|_1$$

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

IRES

Beamforming and scanning algorithms

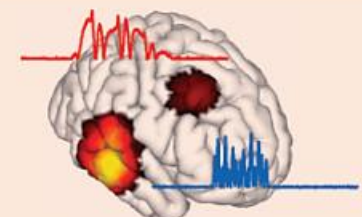


$$\hat{w}_r = \operatorname{argmin}_{w_r} w_r^\top \mathcal{R}_\phi w_r$$

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

Beamformer (VBB)

Nonlinear post hoc normalization



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

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

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

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.

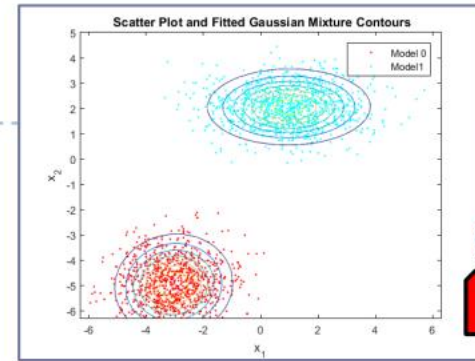
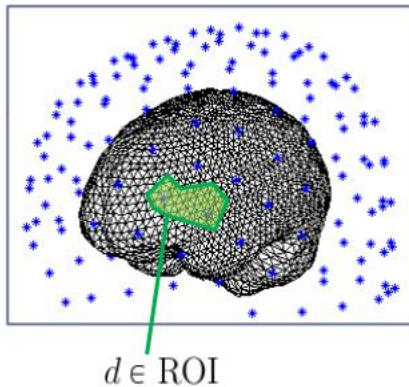
Oparta na pakiecie FieldTrip EEG/ MEG, modularność, obiektowo-zorientowana z użyciem notesów Jupyter (komentarze+wzory w LaTeX).

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

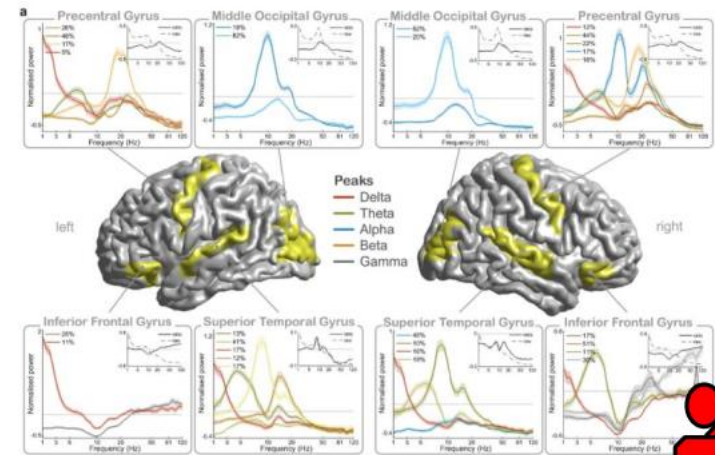
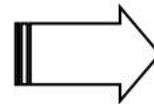
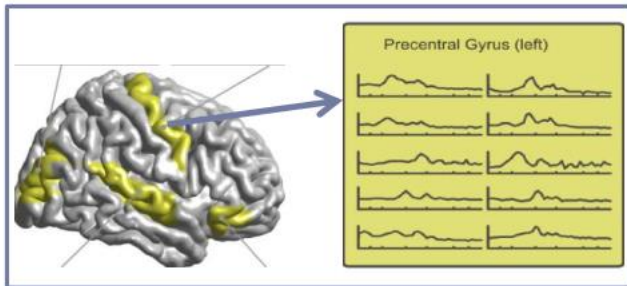
$$B := H_{Src,N} := N^{-1/2} H \quad (35)$$

```
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
```

Spectral fingerprints: dynamika

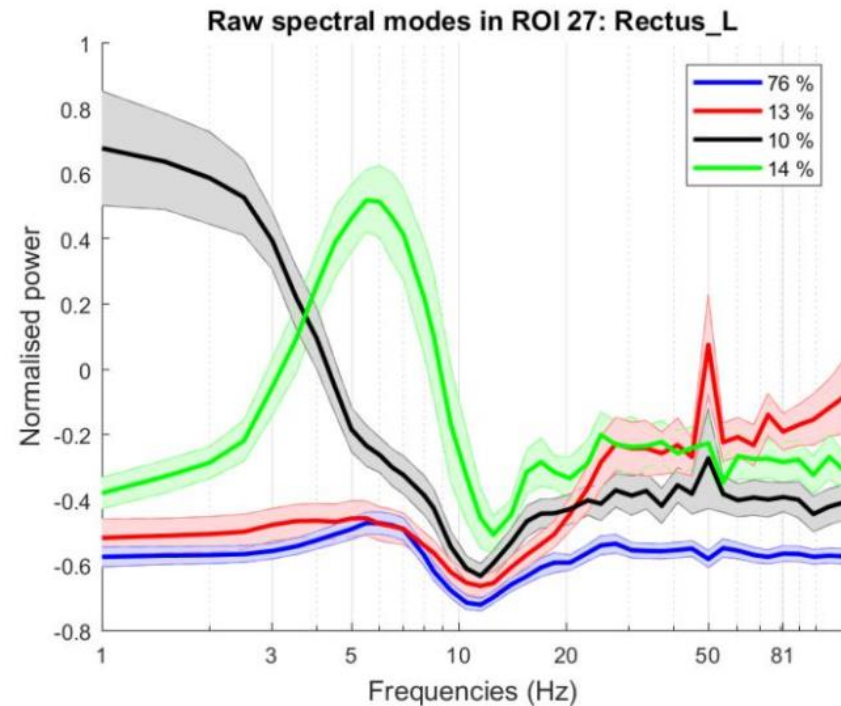
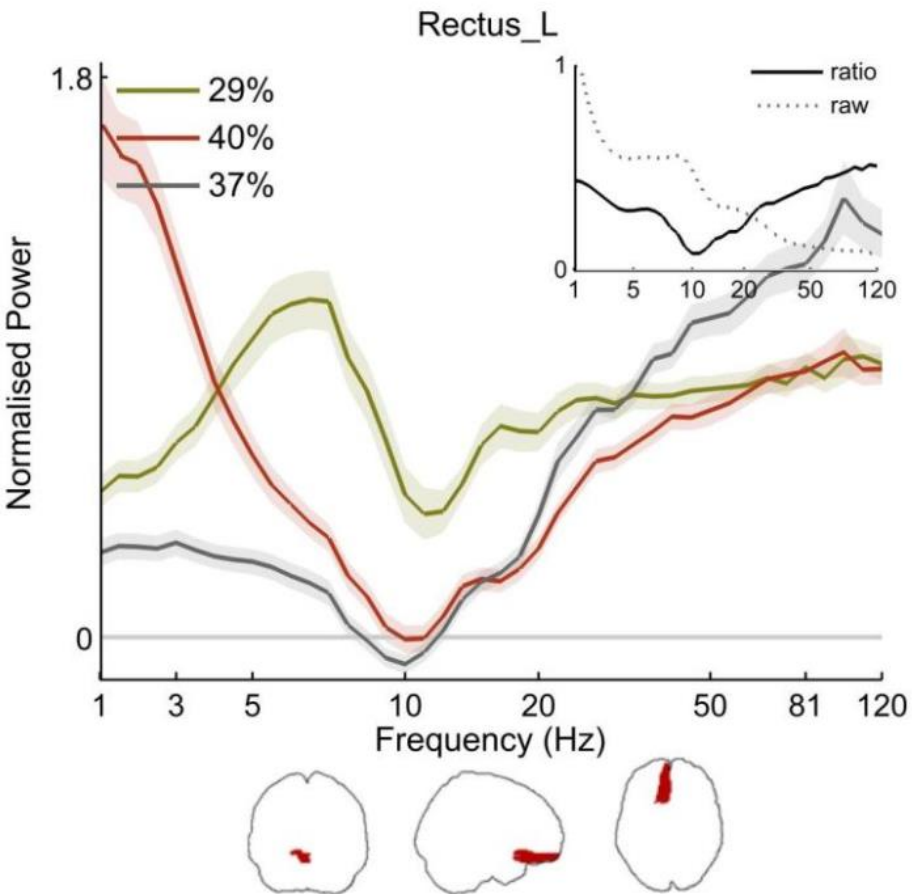


Single subject

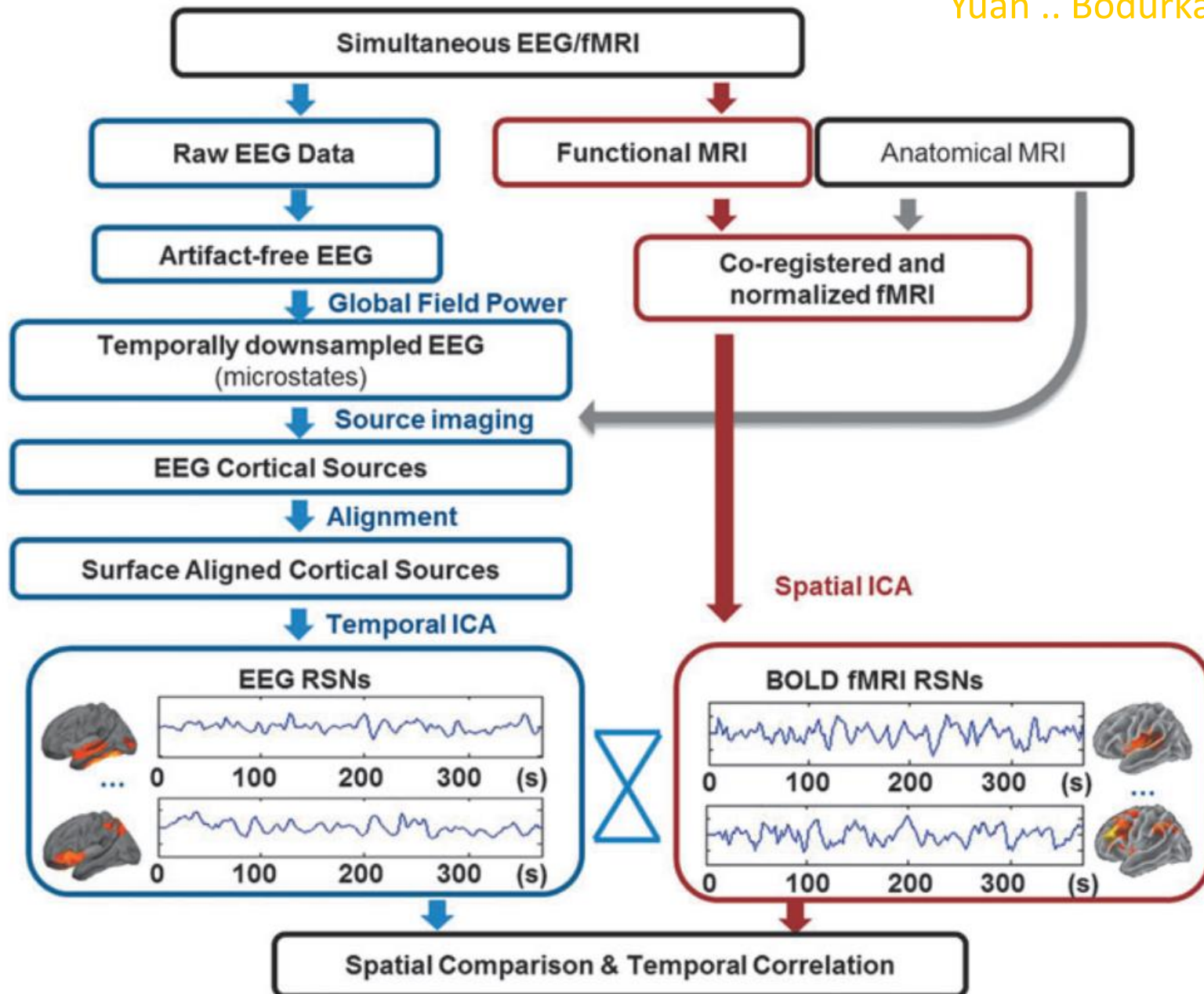


Group model

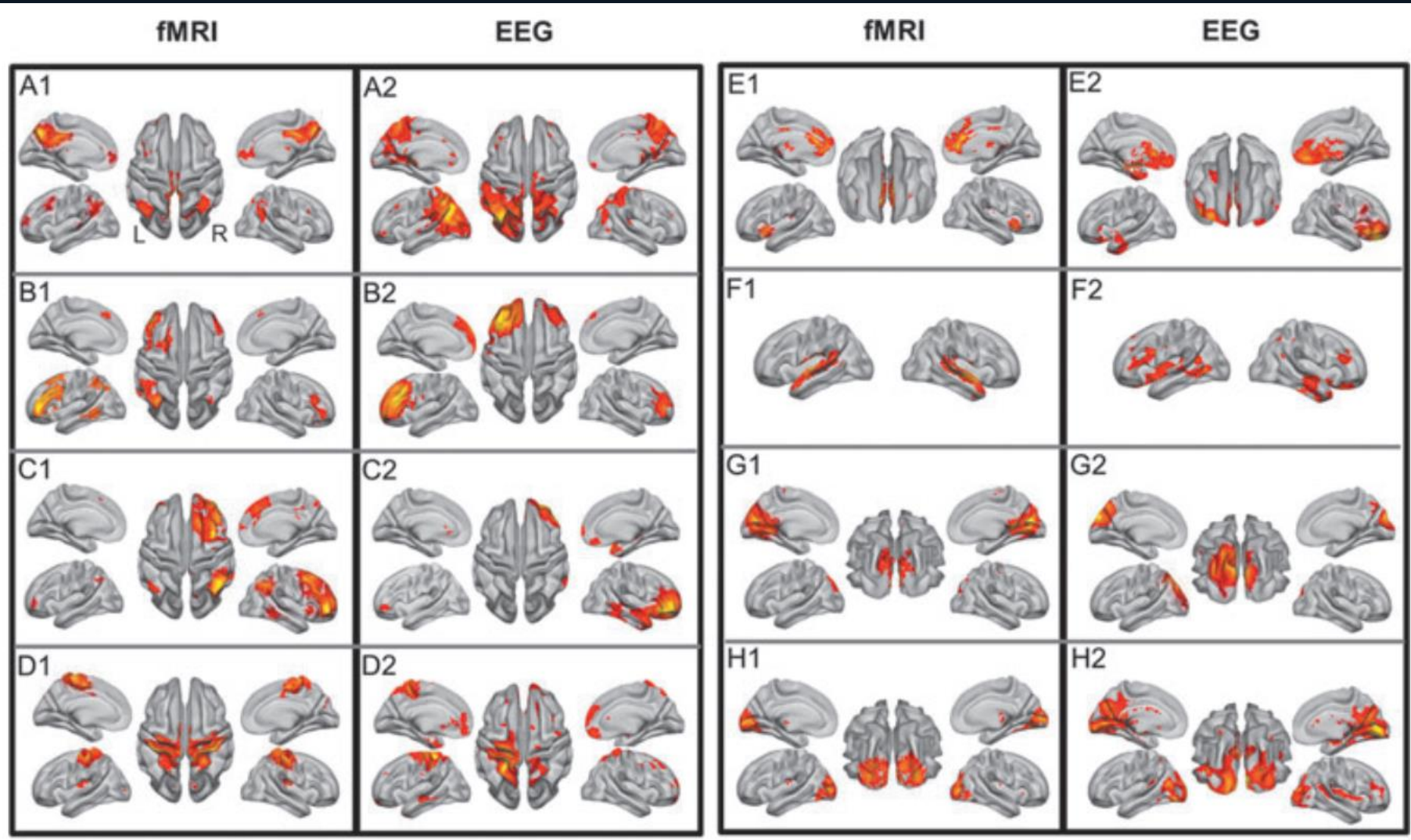
Spectral fingerprints



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

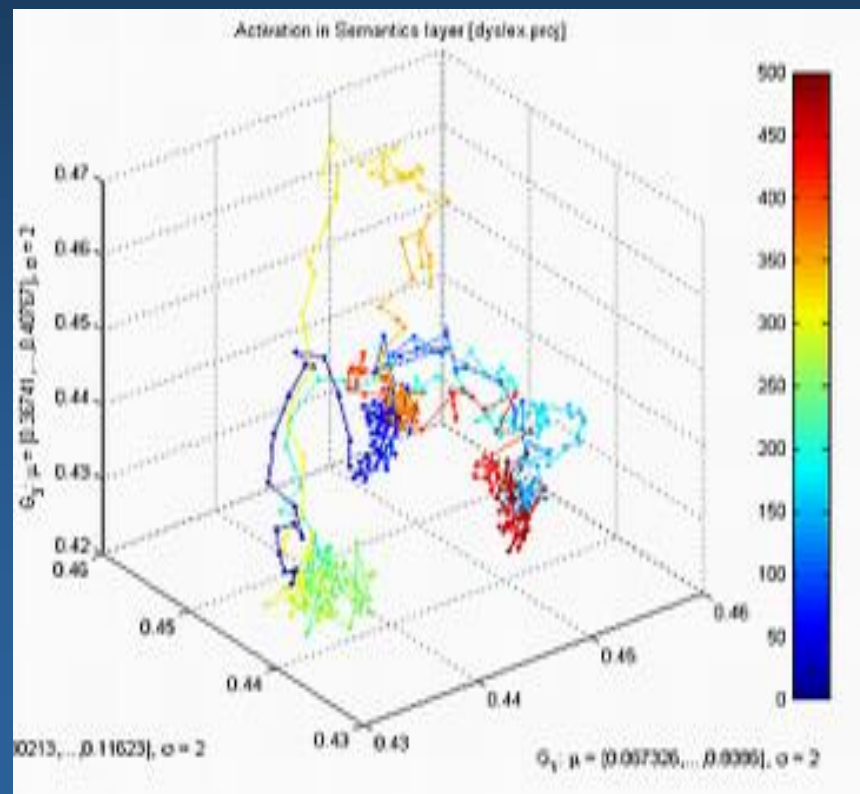
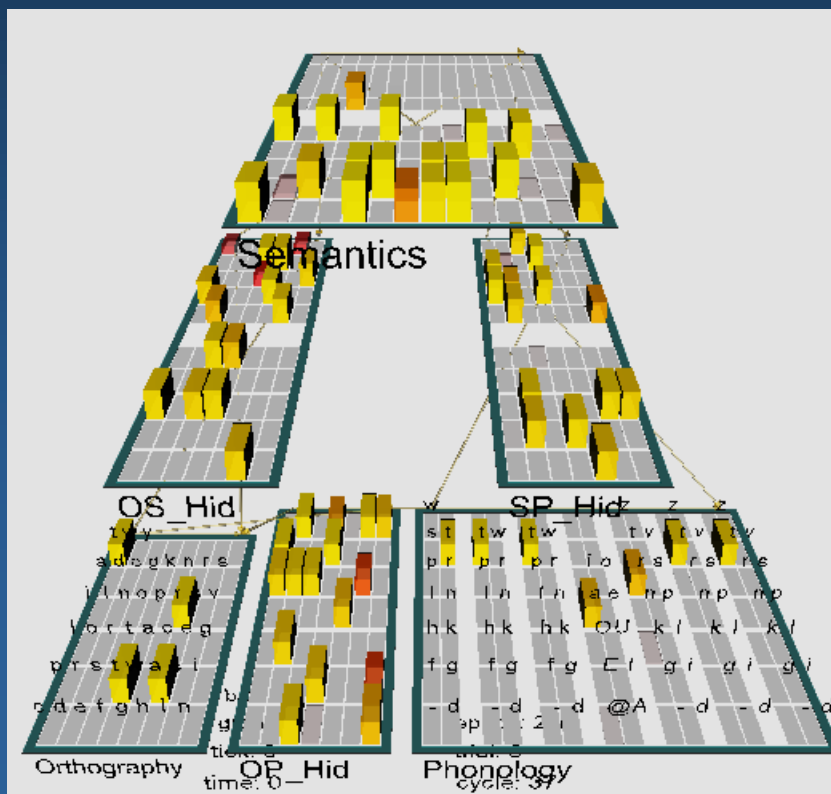


(A) DMN, (B,C) FP (frontoparietal)-left/right, (D) sensorimotor, (E) executive control, (F) auditory, (G) visual (medial), (H) visual (lateral). Ok. 150GB danych.

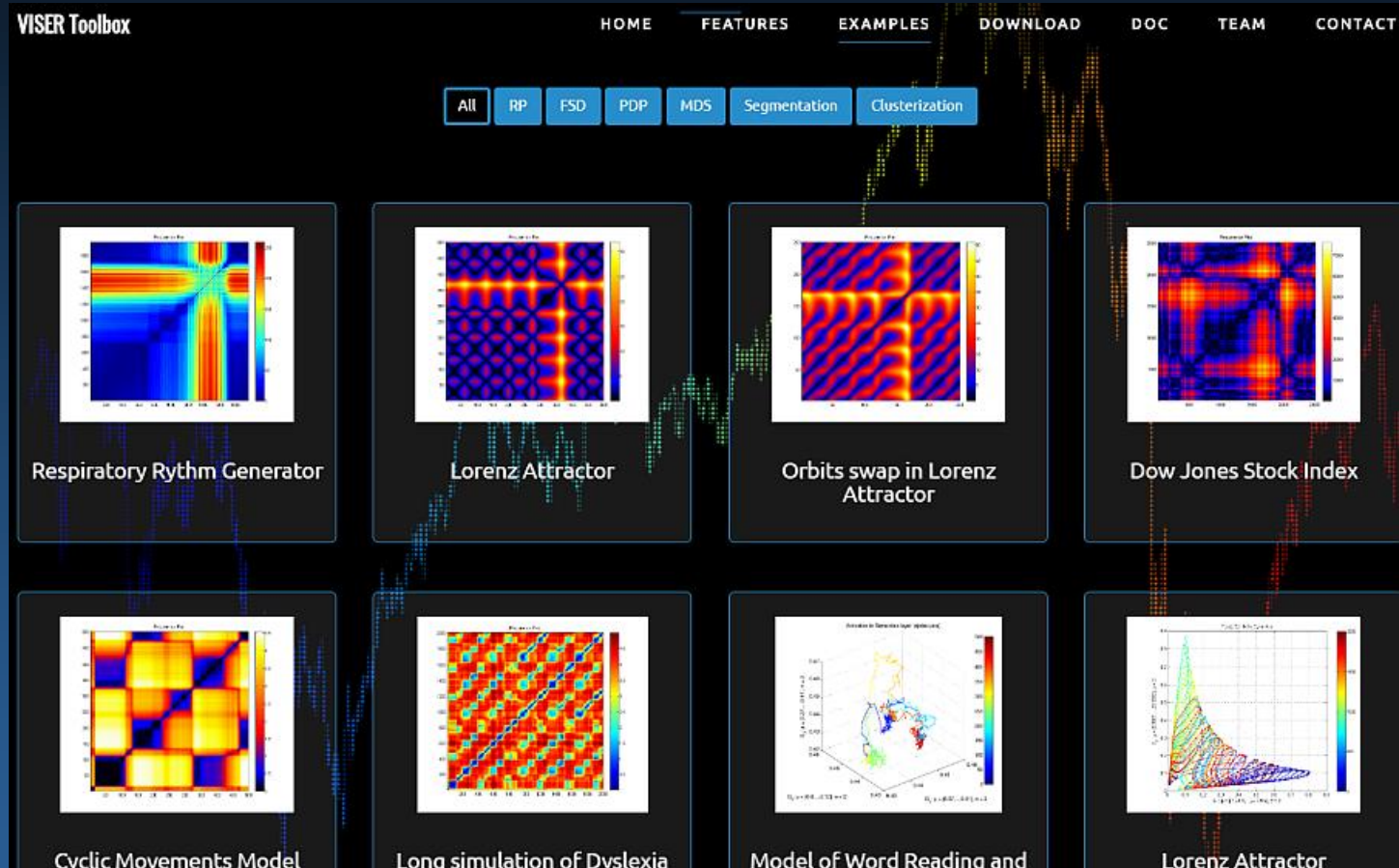
Symulacje wybranych funkcji

Emergent neural simulator: Aisa, B., Mingus, B., and O'Reilly, R. The emergent neural modeling system. *Neural Networks*, 21, 1045-1212, 2008.

Fonologia, ortografia i semantyka + 3 ukryte warstwy pozwalające mapować z jednego obszaru na pozostałe. Trajektorie warstwy semantycznej (140D) pokazują wędrówkę pomiędzy mikrostanami (basenami atraktorów).

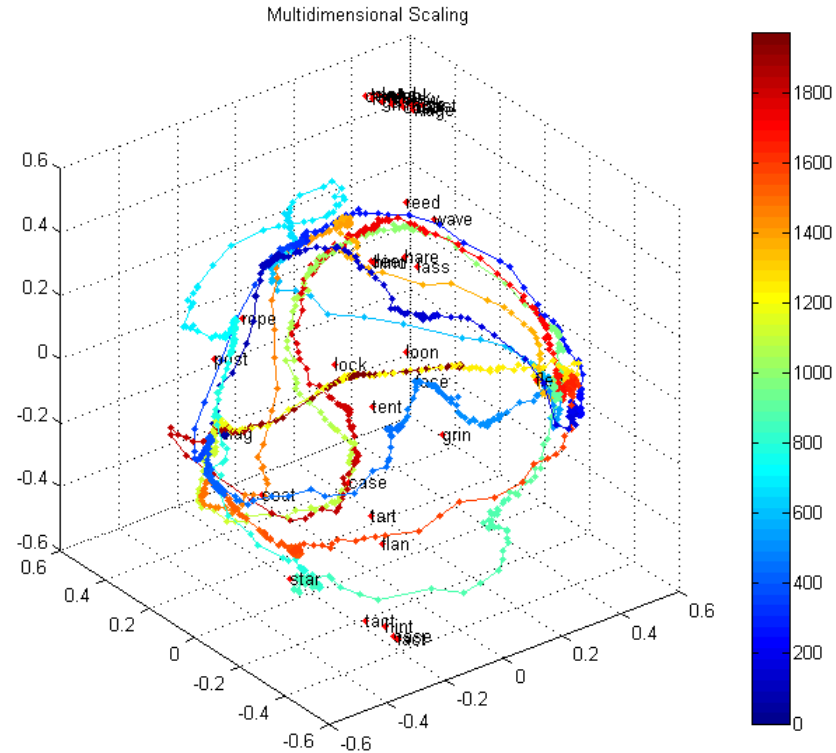
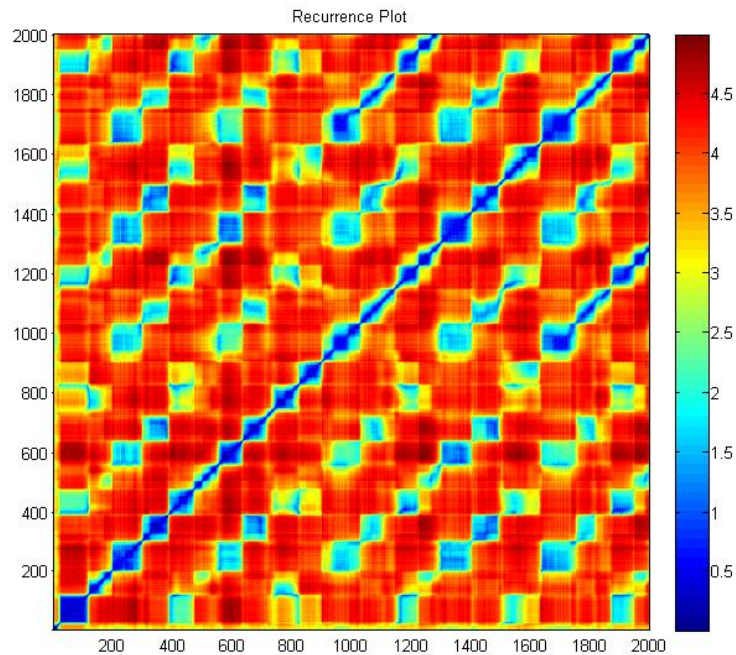


Viser toolbox



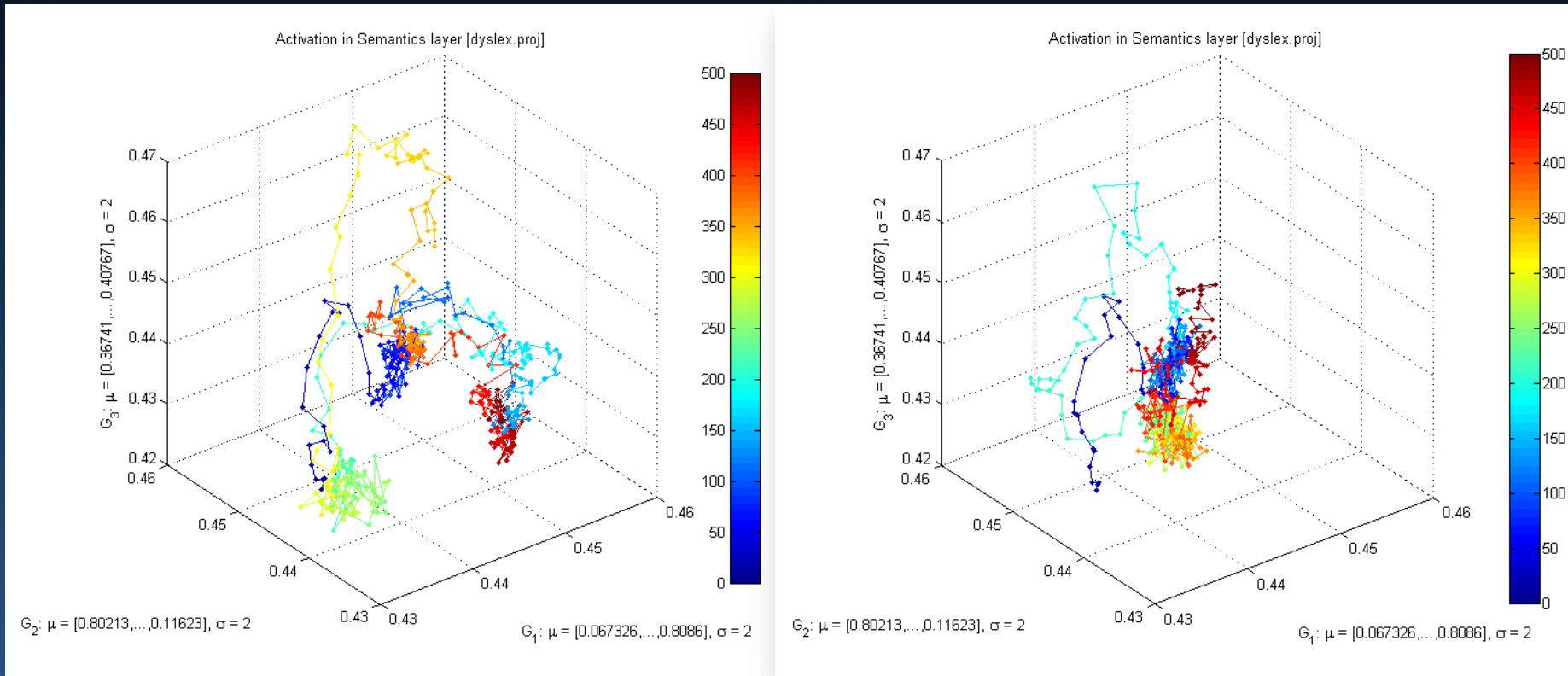
Nasz [Viser toolbox](#) (Dobosz, Duch) do wizualizacji szeregów czasowych w wielu wymiarach różnymi technikami.

Trajectory visualization



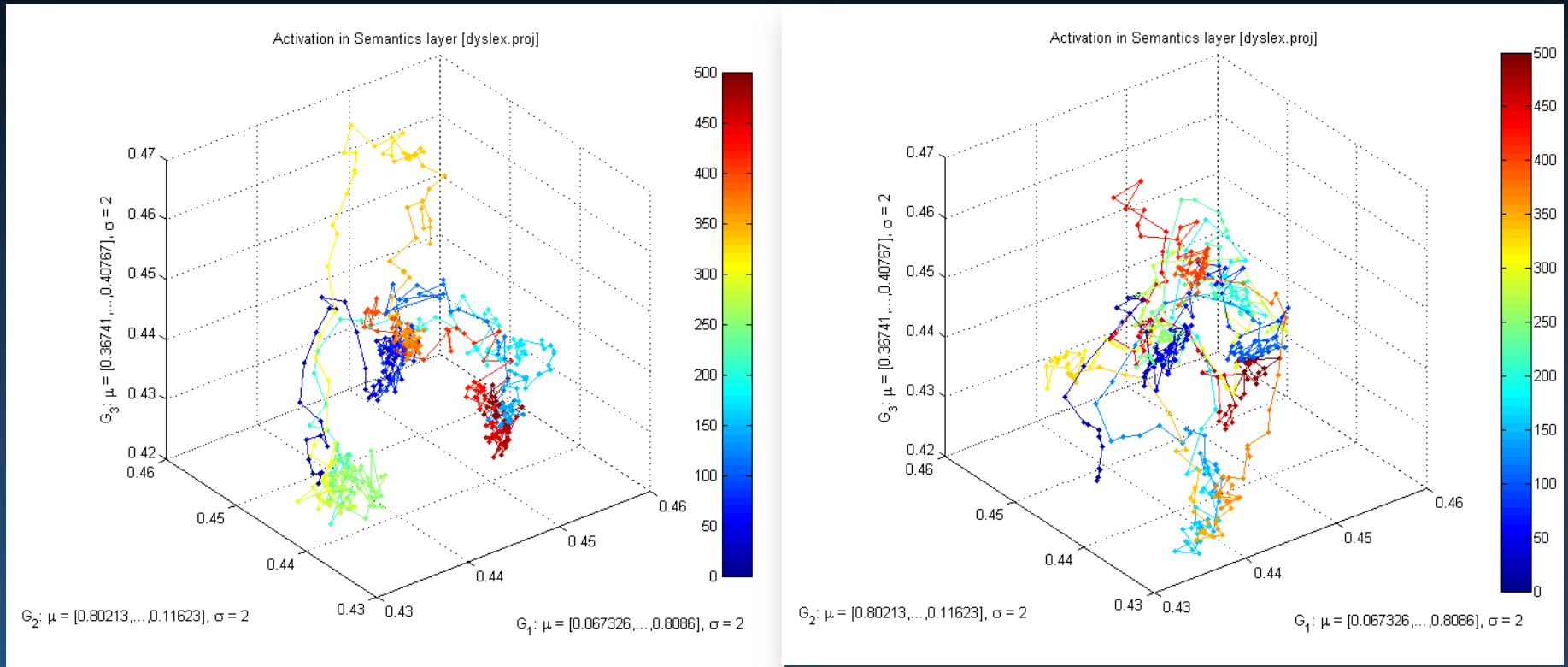
Wykresy rekurencji i różne formy wizualizacji trajektorii (MDS/FSD/SNE) obrazują przejścia pomiędzy stanami reprezentującymi kolejne stany w sieci nauczonej reprezentacji 40 słów, startując od “flag” widać sekwencję skojarzeń.

Norma-Autyzm



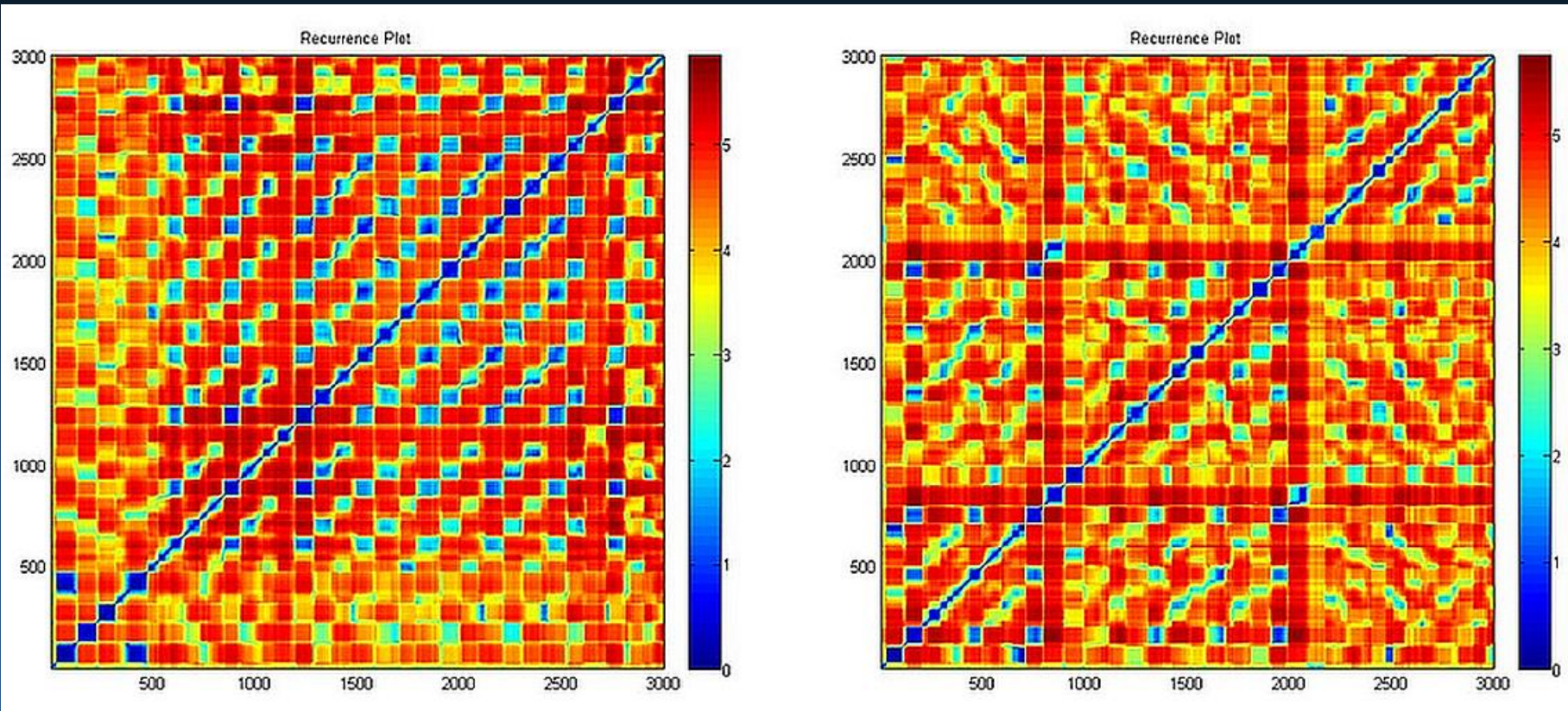
Trajektoria warstwy semantycznej (140 wym) dla słowa „flag”, różne wartości parametru kontrolującego kanały upływu (zmęczenie neuronów).
Tu neurony wolno się męczą i pozostają na długo zsynchronizowane: rezultat to ubóstwo myśli, problemy z przenoszeniem uwagi, koncentracja na prostych bodźcach, nawrót 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: normalny mózg

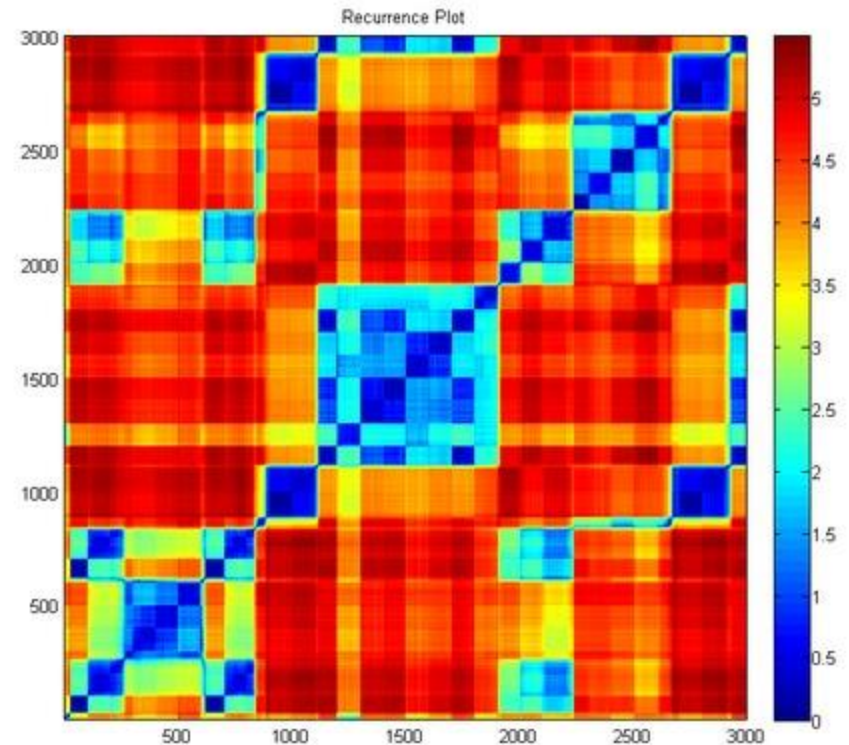
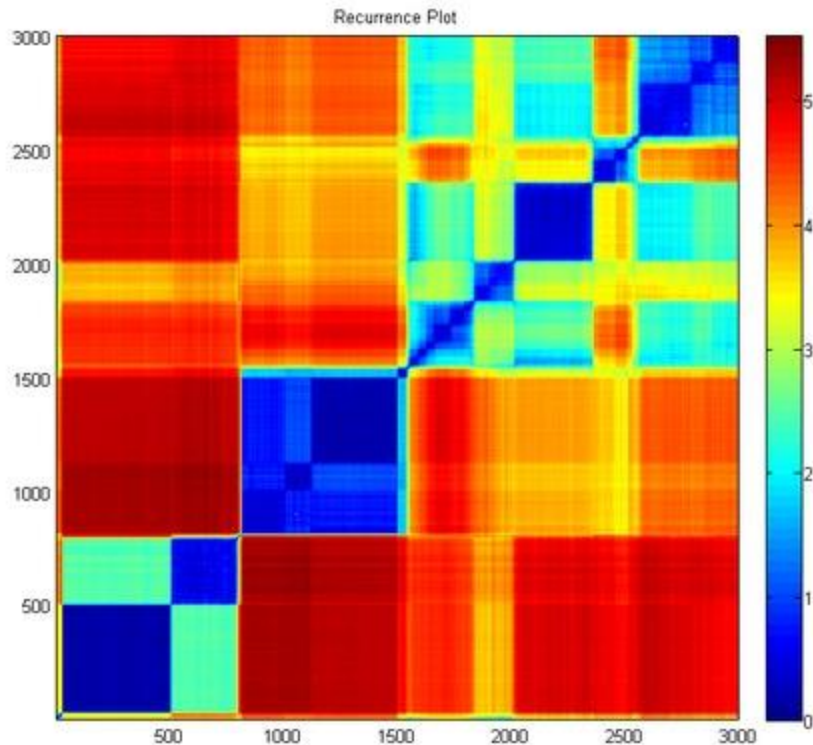


Norma

normalna szybkość
mikrostany formują się=zrozumienie

5x szybciej
mikrostany się rozmywają

Symulacje RSVP w ASD



Głęboki autyzm

normalna szybkość
wiele pominiętych słów

zwiększona szybkość prezentacji
większa różnorodność wewnętrznych skojarzeń

Modularność i procesy poznawcze

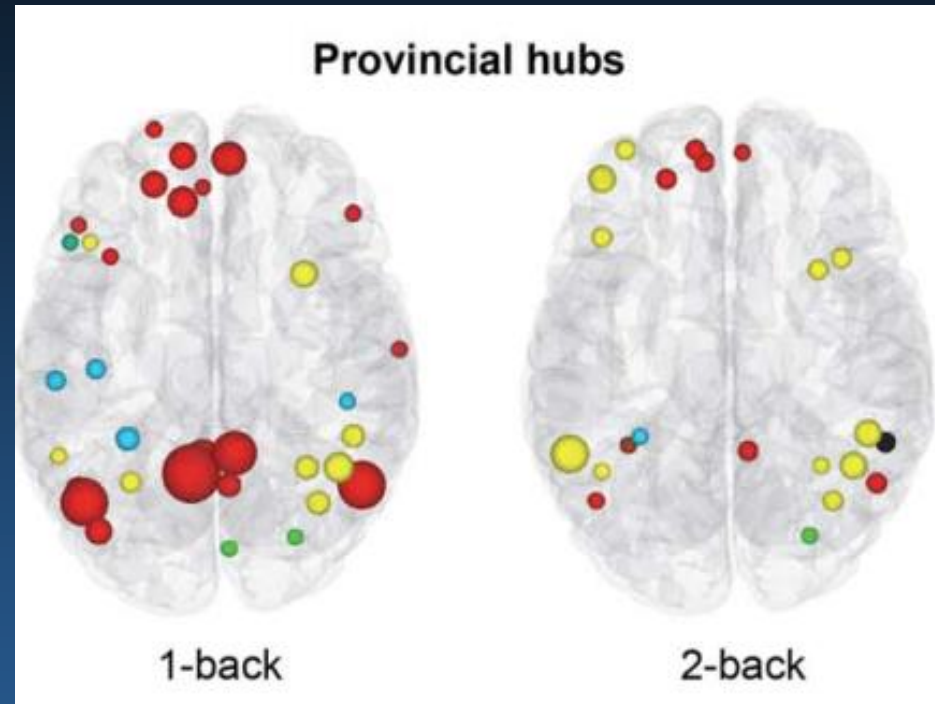
Proste i trudniejsze zadanie pokazuje jak zachodzi reorganizacja sieci całego mózgu, lokalnych hubów.

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

podsieci



Podsumowanie



- 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 $S(B) \Leftrightarrow S(M)$.
- Kluczem do zrozumienia aktywności poznawczej jest badanie neurodynamiki sieci funkcjonalnych na konektomach strukturalnych, biologicznie poprawne modele sieci neuronowych i fenomika neurokognitywna na wielu poziomach.
- Interpretacja wyników eksperymentalnych w coraz większym stopniu korzysta z modeli sieci neuronowych (CNN i sieci z rekurencją) i modeli uczenia maszynowego (reinforcement learning), systemy neuromorficzne pomogą w tworzeniu dokładniejszych modeli.
- AI/ML czerpie coraz więcej inspiracji z badań nad mózgiem.
- Pojawiają się różne technologie neurokognitywne.

Grupa neuro-fanatyków



X-lecie **kierunku** 29-31.05.19

Kognitywistyka w Toruniu.



Patrick
Haggard



Wanja
Wiese



Marcin
Sobieszczanski



Włodzisław
Duch



**Neuro
Informatics 2019**



September 1-2, 2019



University of Warsaw,
Poland
Department of Physics

Deadline: May 31

**ABSTRACT
SUBMISSION**

04-05.09.2019 in Toruń

NEUROMANIA

Neurons • Mind • Cognition



neuromania.umk.pl

SPECIAL GUESTS:



PETER GÄRDENFORS



JACOB BELLMUND

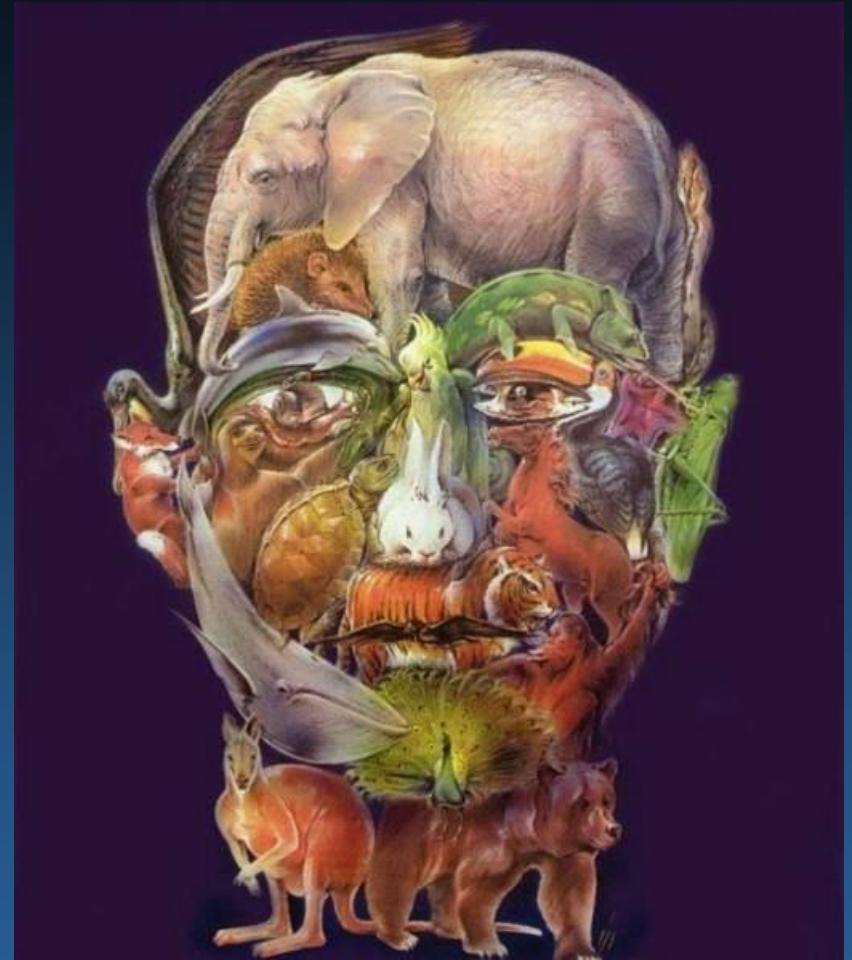
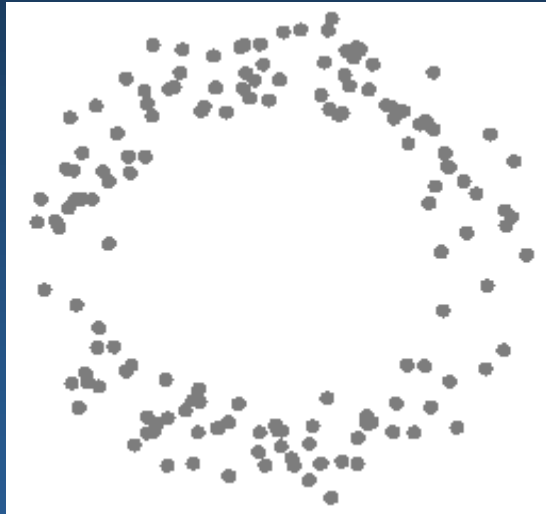


ROBERTO BOTTINI



RAFAŁ CZAJKOWSKI

Dziękuję za
synchronizację
neuronów



Google: Wlodek Duch

=> referaty, wykłady, publikacje, niespodzianki ...

Soul or brain: what makes us human?
Interdisciplinary Workshop with theologians,
Toruń 19-21.10.2016

konferencja studencko-doktorancka
NeuroMania IV
28-29 maja 2016, Toruń

A stylized blue fish head in profile, facing left. Inside the head, a white outline of a brain is shown with a white electrode or probe inserted into it.A glowing, reddish-orange planet Earth, possibly Mars, with a grid overlay, set against a background of light rays.

HOMO COMMUNICATIVUS
WSPÓŁCZESNE OBlicZA KOMUNIKACJI I INFORMACJI

Toruń, 24-25 VI 2013 r.

Two logos: a circular logo with a sun-like pattern and a green square logo with a white 'G' shape.

Cognitivist Autumn in Toruń 2011
PHANTOMOLOGY:
the virtual reality of the body
2011 Torun, Poland

A detailed anatomical drawing of a human brain, viewed from the side.

Cognitivist Autumn in Toruń 2010
MIRROR NEURONS:
from action to empathy
April , 14-16 2010 Torun, Poland

A profile of a human head in shades of blue and brown, with a reflection below it.

Monthly international
developmental seminars
(2017): Infants, learning,
and cognitive development

Disorders of consciousness
17-21.09.2017

Autism: science, therapies
23.05.2017

A brain shape composed of many small black dots, with a few red dots on the right side.

NEURO

HISTORY OF ART

A silhouette of a human head in profile, facing left, with several white flowers inside it.

**COGNITIVIST
AUTUMN IN
TORUŃ**