



Fizyka umysłu. Relacje mózg ↔ umysł.

Włodzisław Duch

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

Google: W. Duch

Konwersatorium Fizyczne OK PTF, WFAiS UJ, 9.05.2019

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. ...

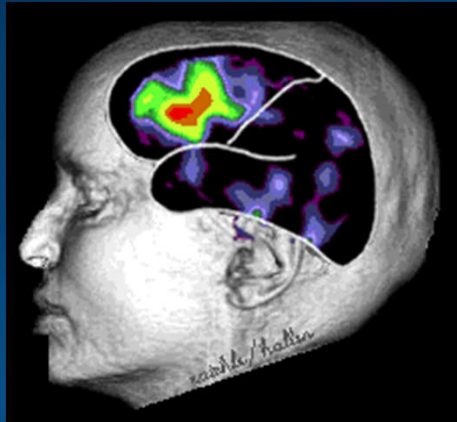
The path from the brain, or computational neurosciences, to the mind, or cognitive sciences, is sketched, with emphasis on higher cognitive functions such as memory and consciousness.

- **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.**

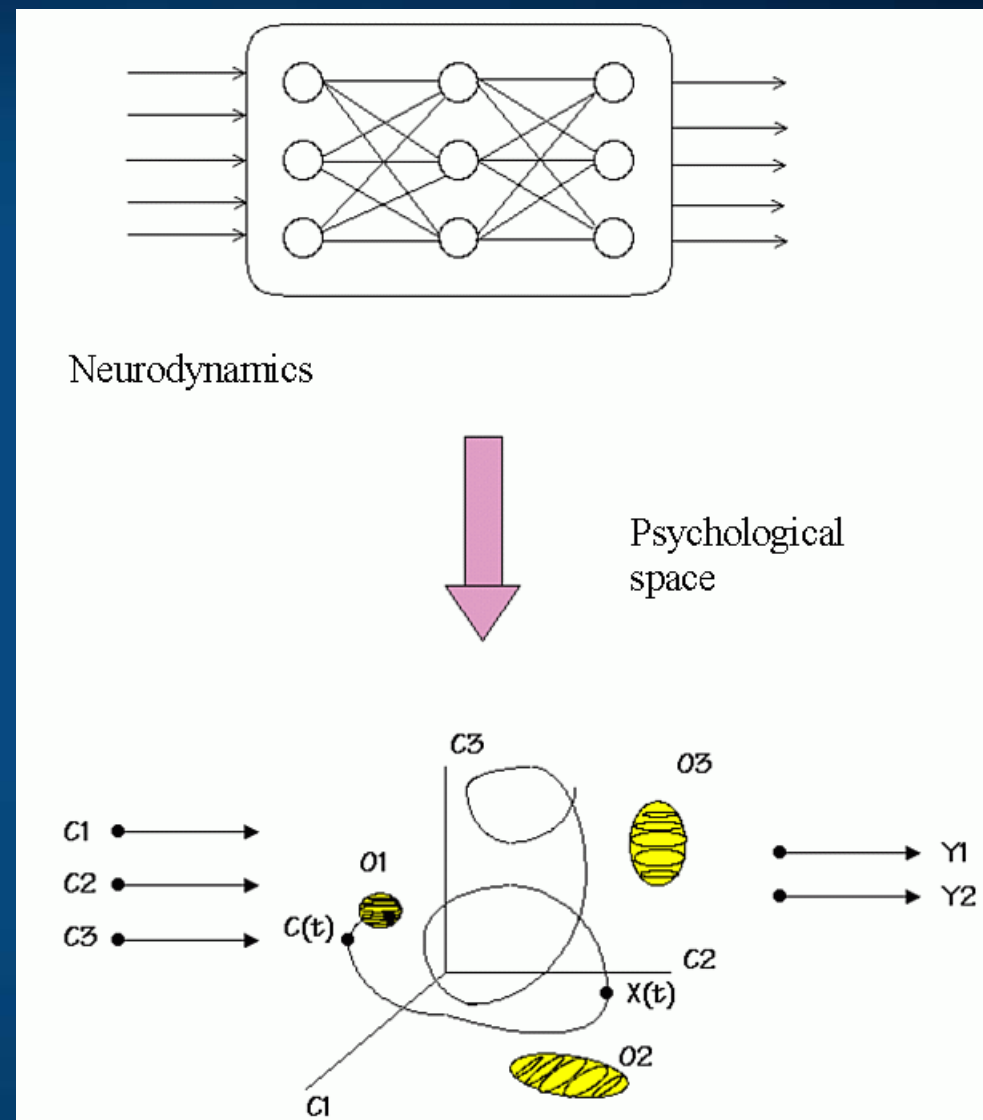
R.T. Hurlburt & E. Schwitzgabel, Describing Inner Experience? MIT Press 2007.

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.

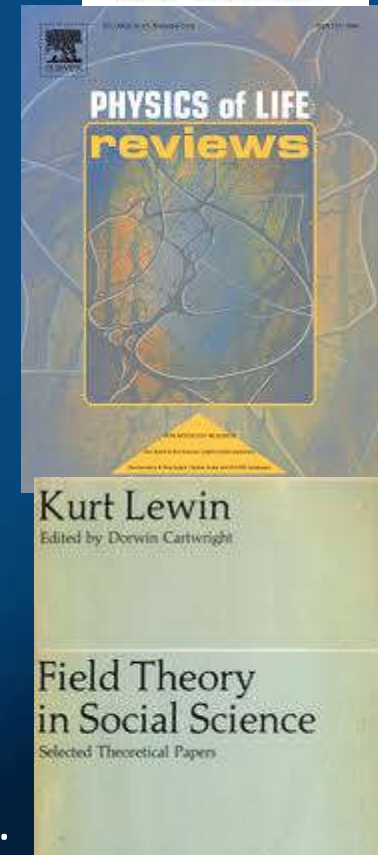
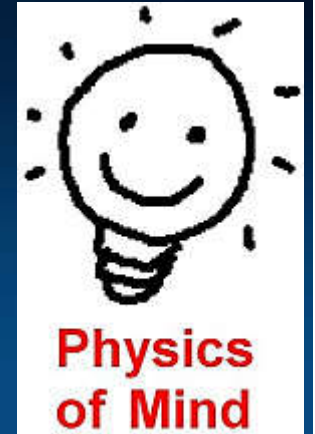
Jest to piękny cel ale wprowadzanie takich abstrakcyjnych pojęć jak „instynkt wiedzy”, który maksymalizując podobieństwo wiedzy i obserwacji wszystko tłumaczy, nie pomaga.

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).

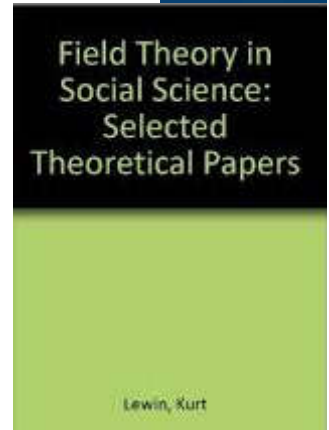
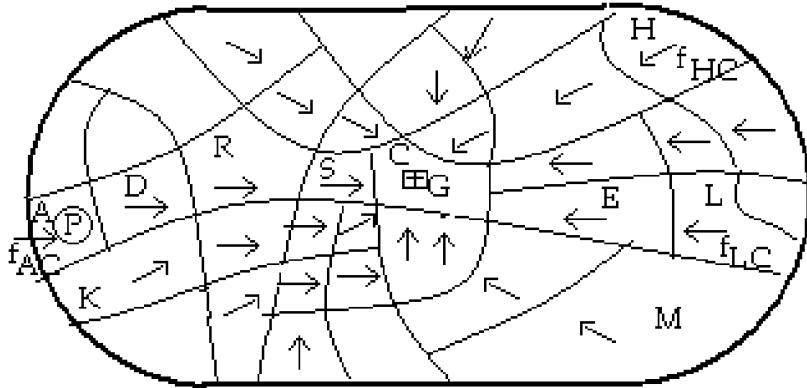
Idea: cognitive dynamic movement in **phenomenological (hodological) space**. Discrete Process Model (DPM) Force \sim transition probability between states in valence fields.

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

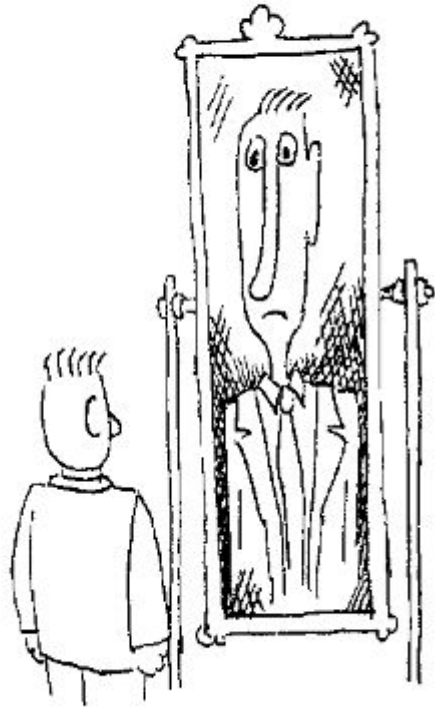
Kurt Lewin próbował analizować wzorce interakcji człowiek-środowisko, tworząc psychologię wzorowaną na teorii pola i topologii.

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.

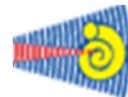
Projekt „Symfonia 4”, NCN, 2016-2021



FACULTY OF PHYSICS,
ASTRONOMY AND INFORMATICS



CENTRE FOR MODERN
INTERDISCIPLINARY
TECHNOLOGIES



INSTITUTE OF PHYSIOLOGY
AND PATHOLOGY OF HEARING



nencki institute
of experimental biology

Narzędzia

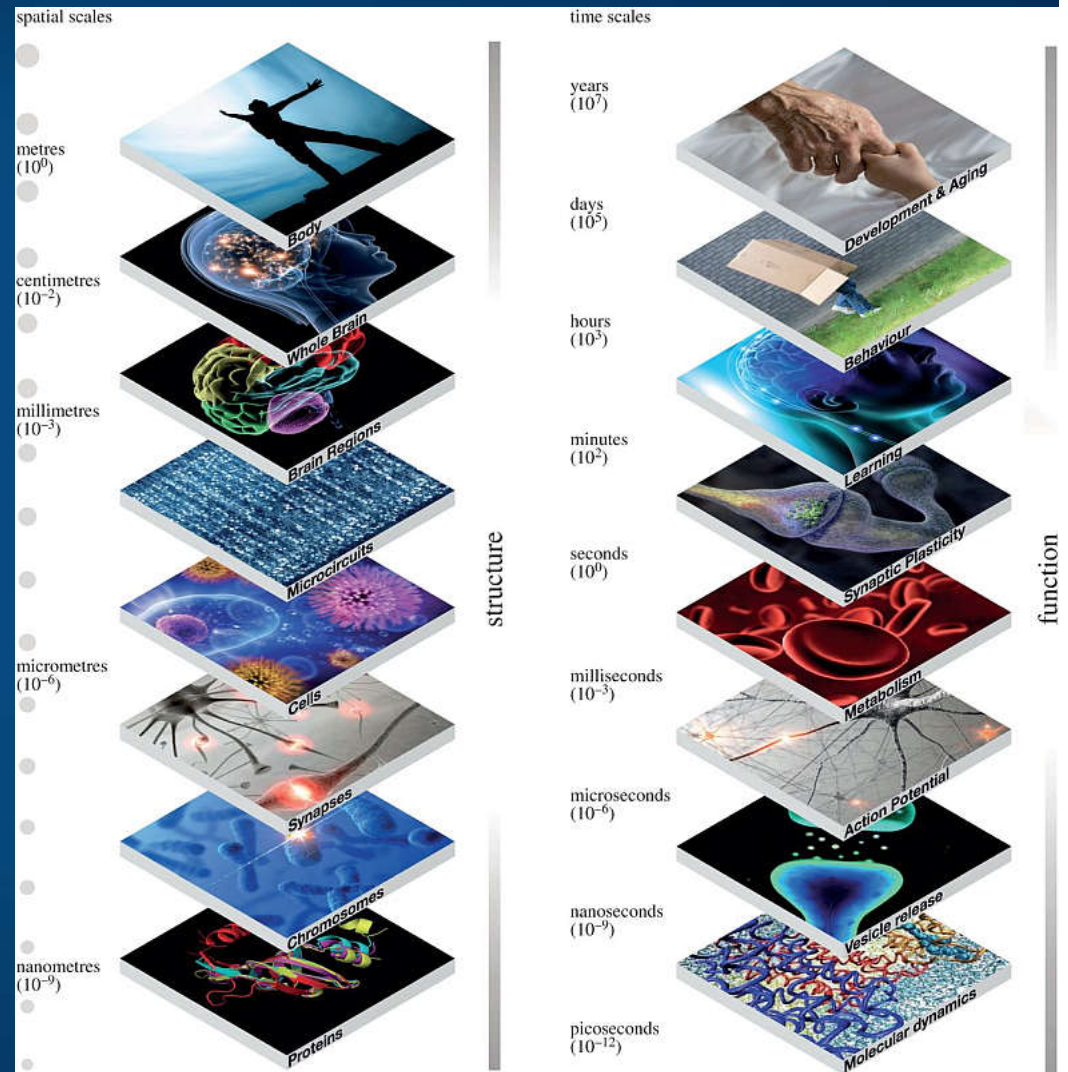
Fenomika neuropsychiatryczna

2008: The Consortium for Neuropsychiatric Phenomics

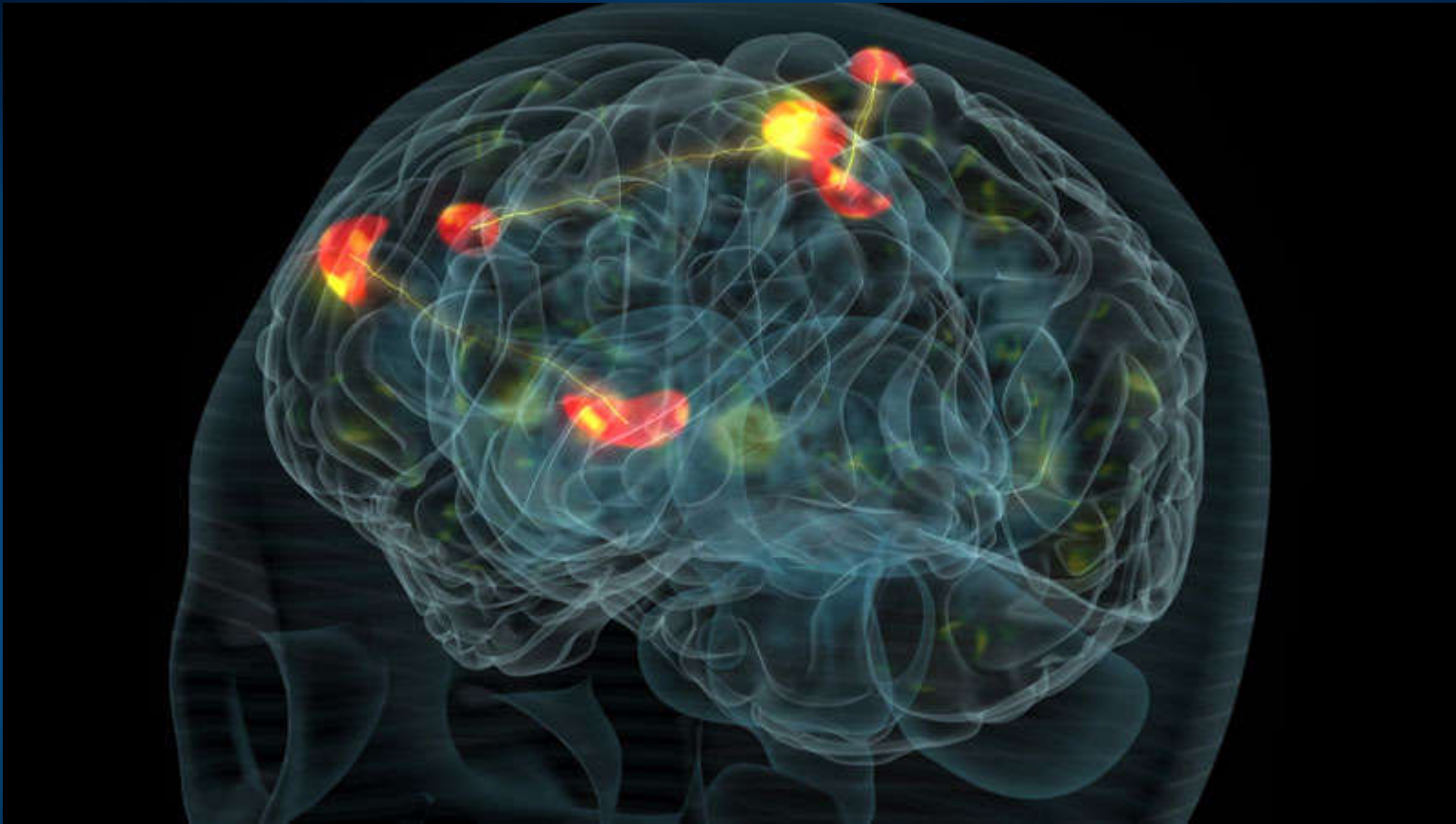
Od genów do sieci neuronów do mechanizmów poznawczych i do ich zaburzeń.

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.

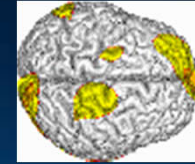


Silne, spójne aktywacje



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).



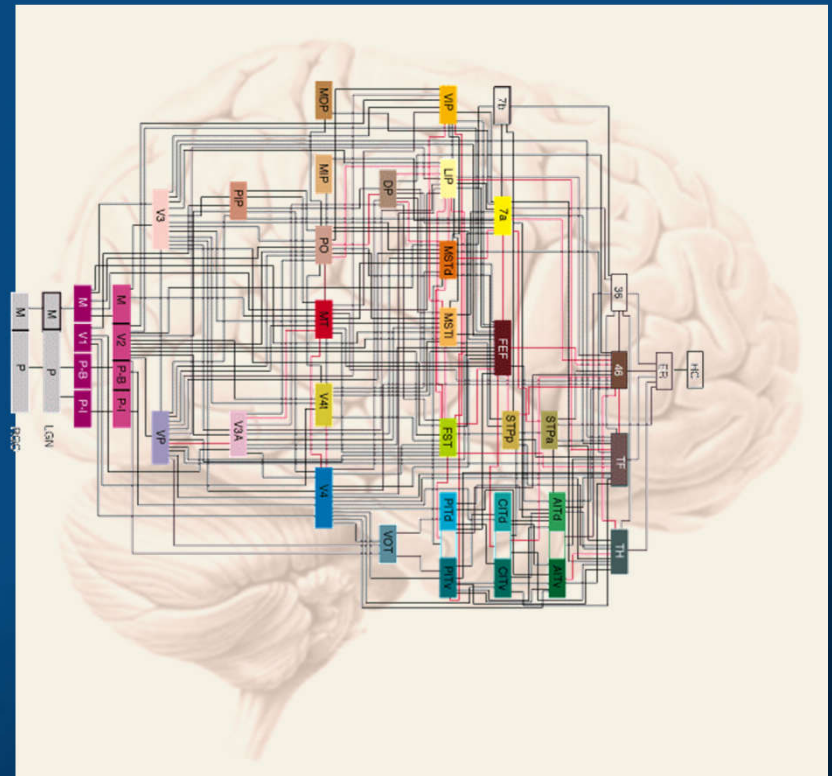
Teoria: FEP Fristona

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

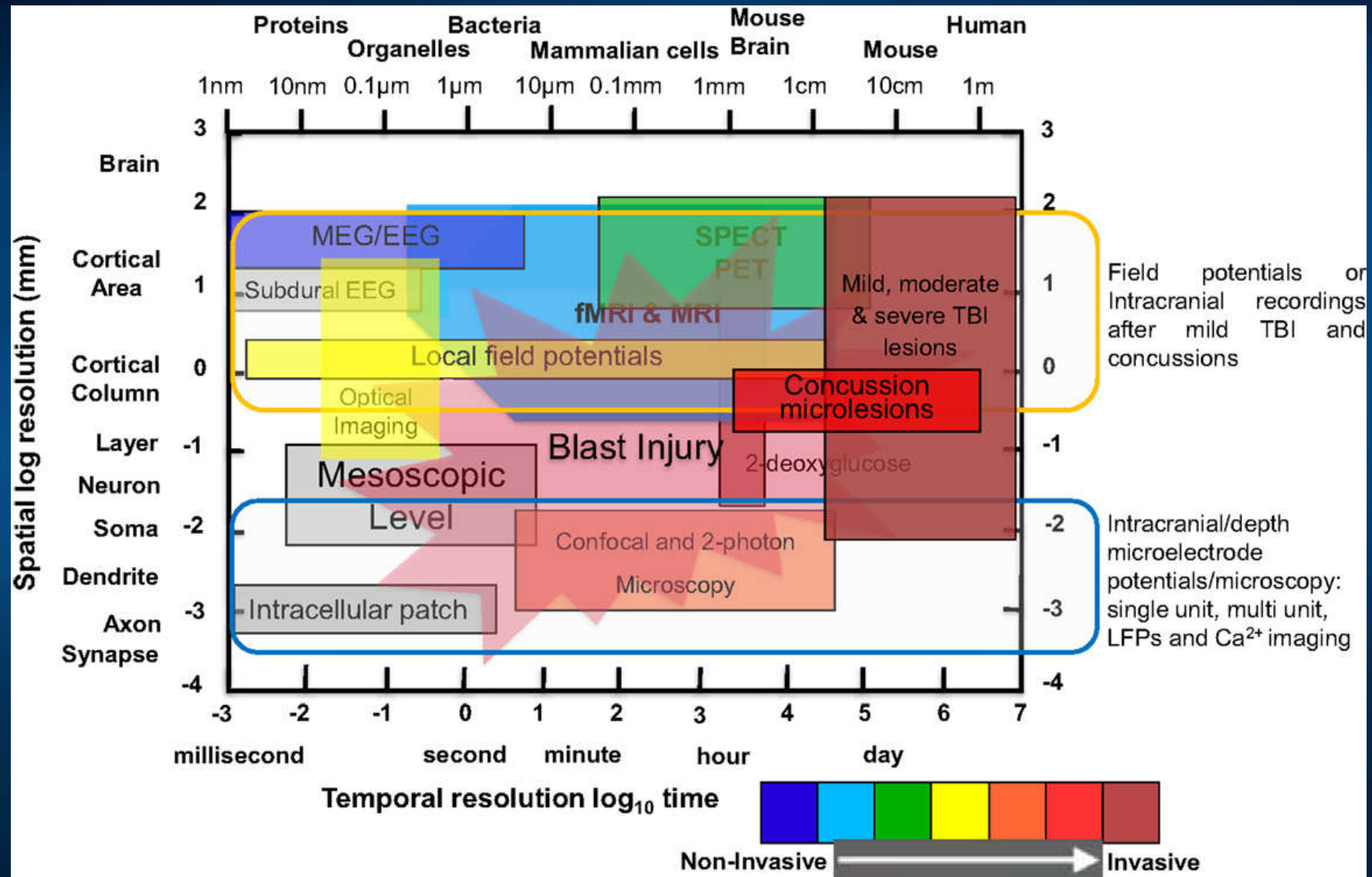
Jakie możliwe architektury realizują FEP?
Ograniczenia narzuca ewolucja, minimalizacja niespodzianek możliwa jest przez wnioskowanie i dostosowanie swojego środowiska. Evolutionary Systems Theory, EST (Badcock, 2012).

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 > 1cm, tylko płytkie źródła, do ok. 50 Hz, słaby sygnał powyżej.

MEG: >1 mm, ~1ms, do 200 Hz, ale duże i kosztowne

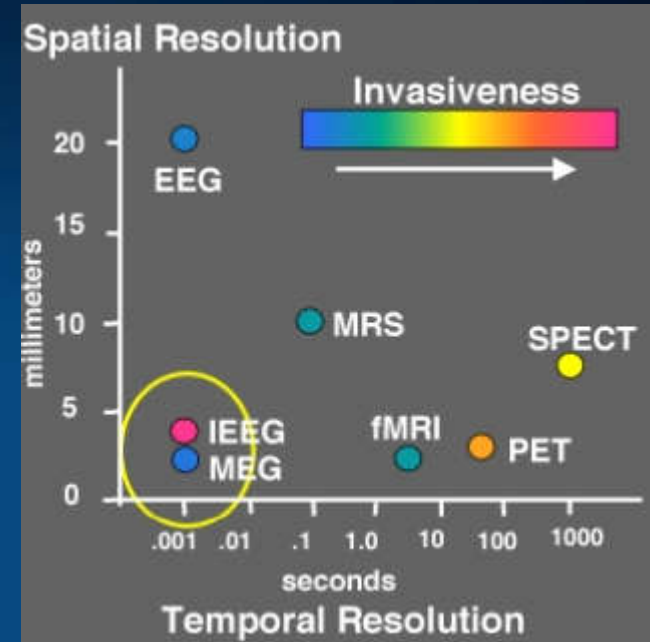
fMRI: ~1 mm, >1 sek, duże i hałaśliwe, sygnał BOLD.

fNIRS: może być bezprzewodowe i razem z EEG, około 1.5 cm głębokość, rozdzielczość przestrzenna >1 cm, czasowa ~ 0.1 sek.

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

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

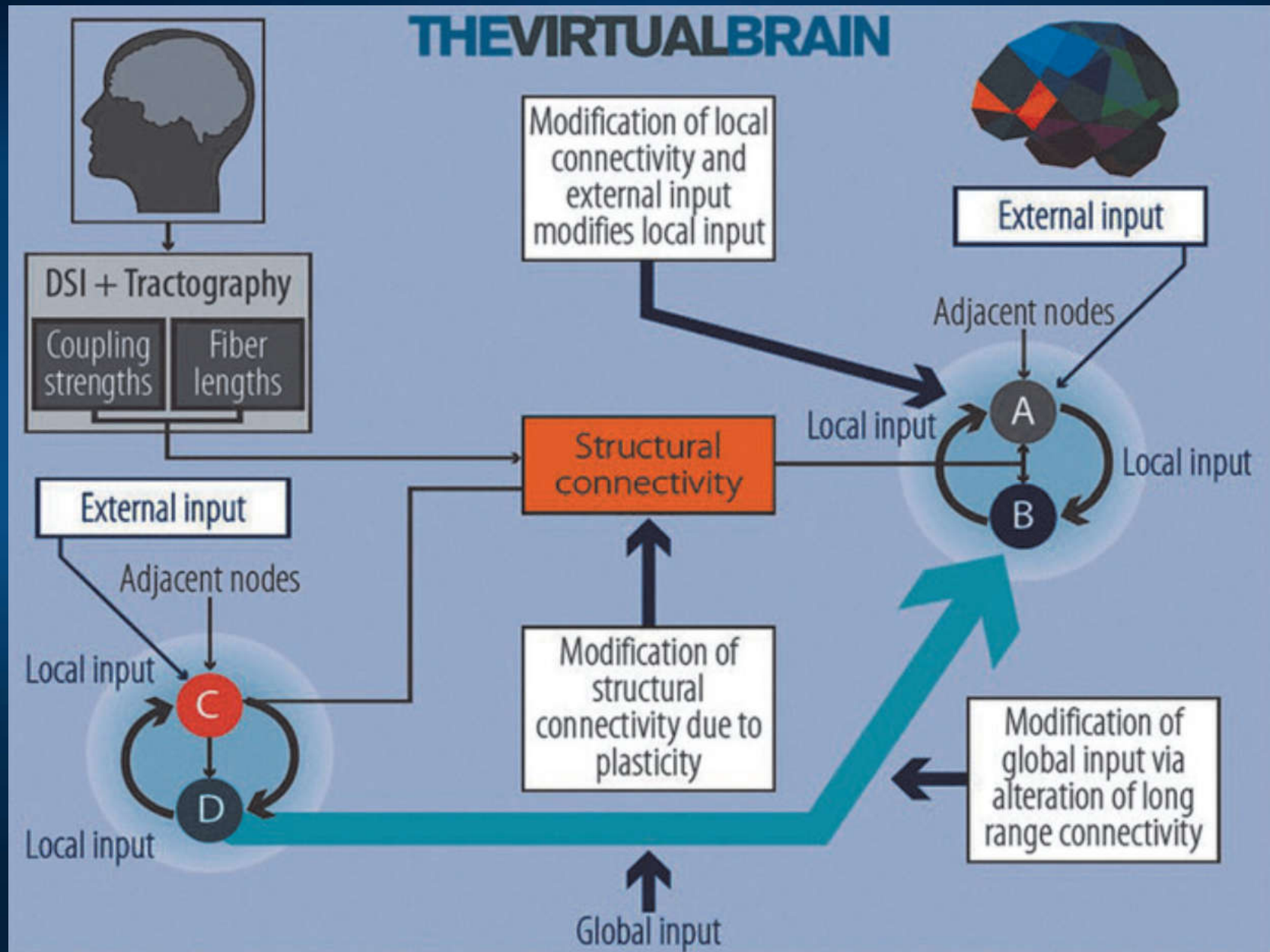
Ultra Wide Band (UWB) pulser/antenna/sampler ICs impulsy 5- 300ps o małej mocy, setki anten na powierzchni głowy.



ICNT: skaner GE Discovery MR750 3T



Population dynamics TVB model



Geometryczny model mózg-umysł

Stan(Mózg) \leftrightarrow Stan(Umysł)

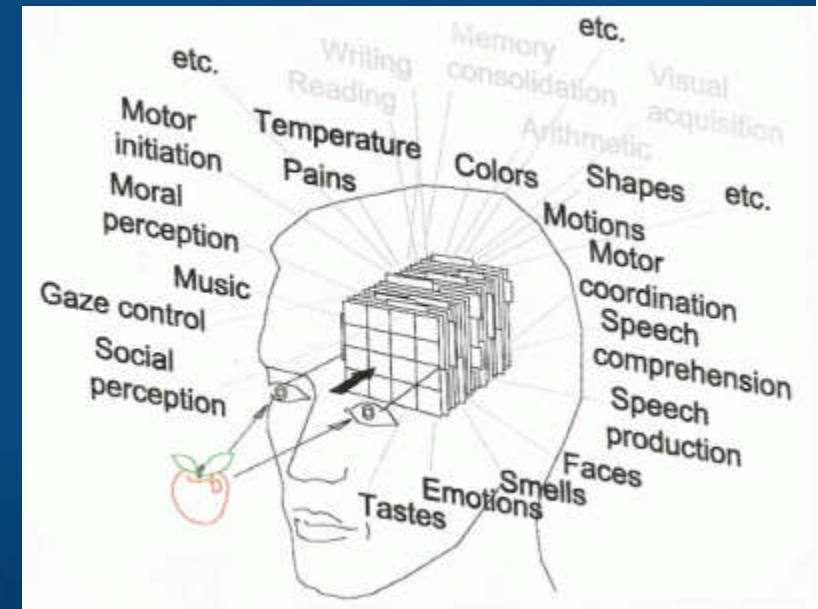
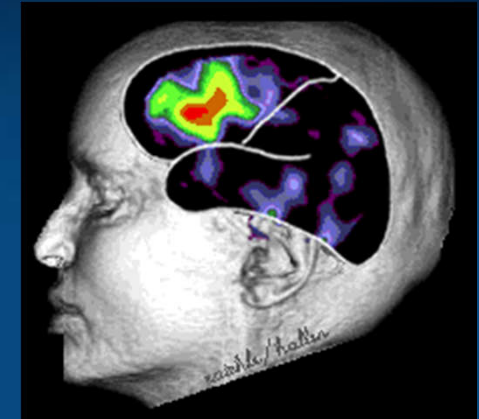
Neurodynamika \leftrightarrow Psychodynamika

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.

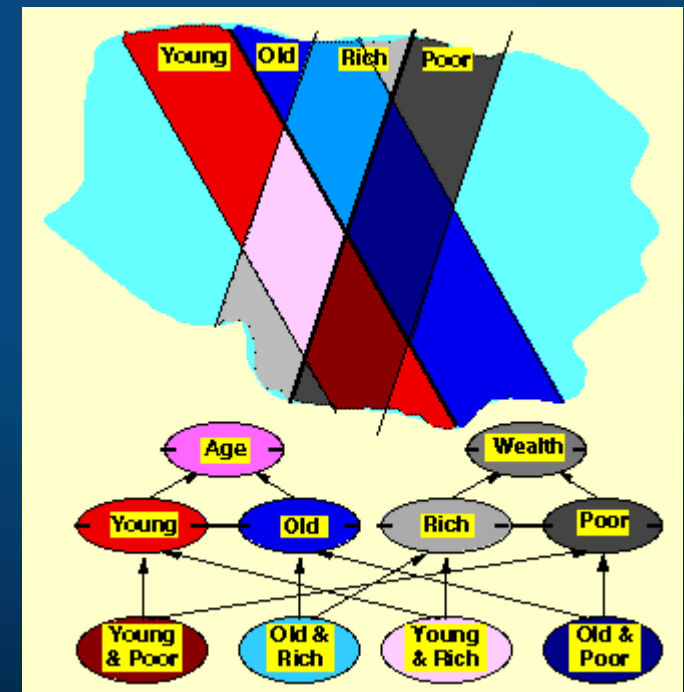
Teoria Discrete Process Model (DPM) ocenia siłę ~ prawdopodobieństwa przejść pomiędzy stanami w polu walencji (atrakcyjności danego stanu).

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.

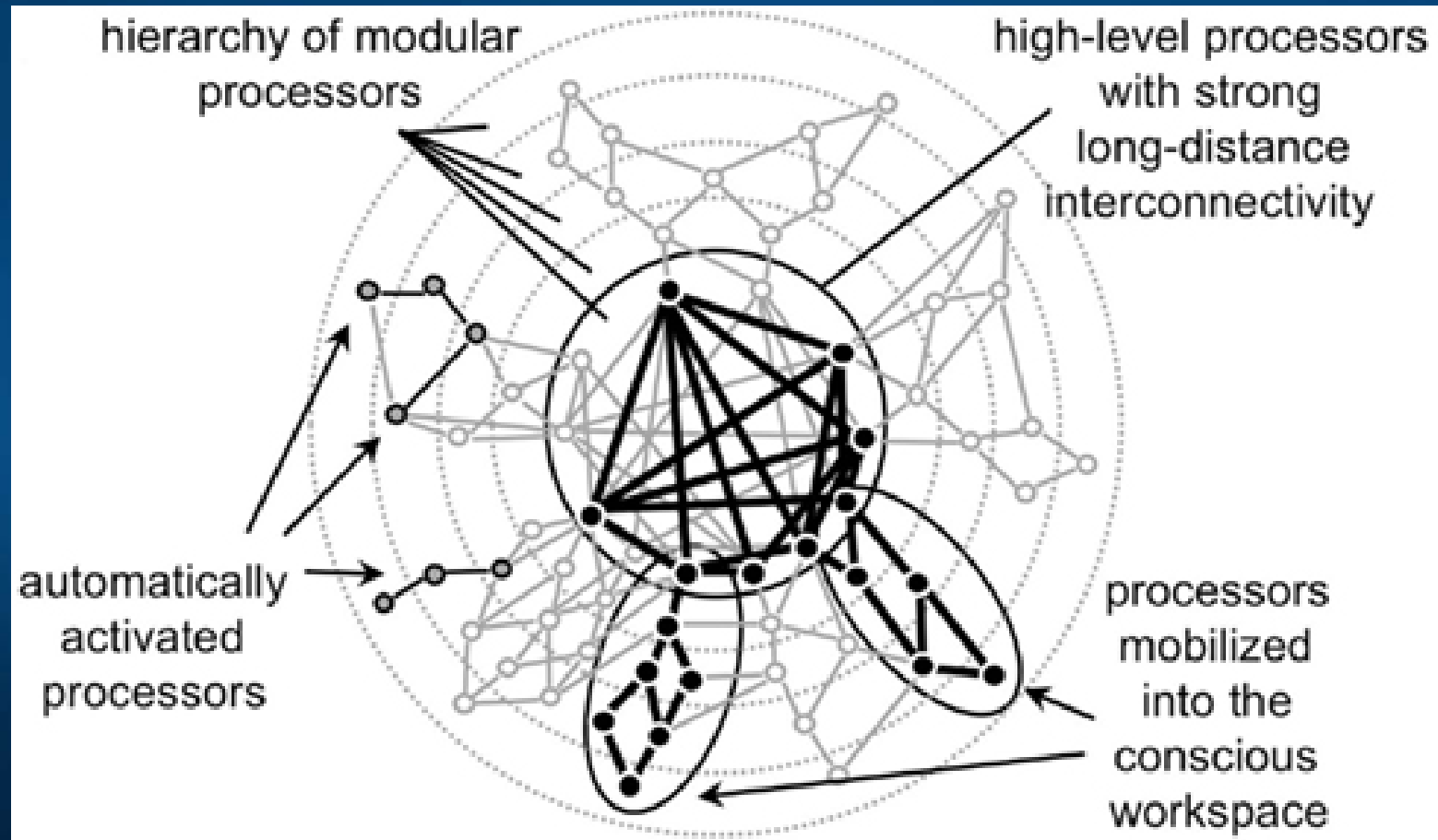
Roger Shepard (1957-2001), P-spaces :

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

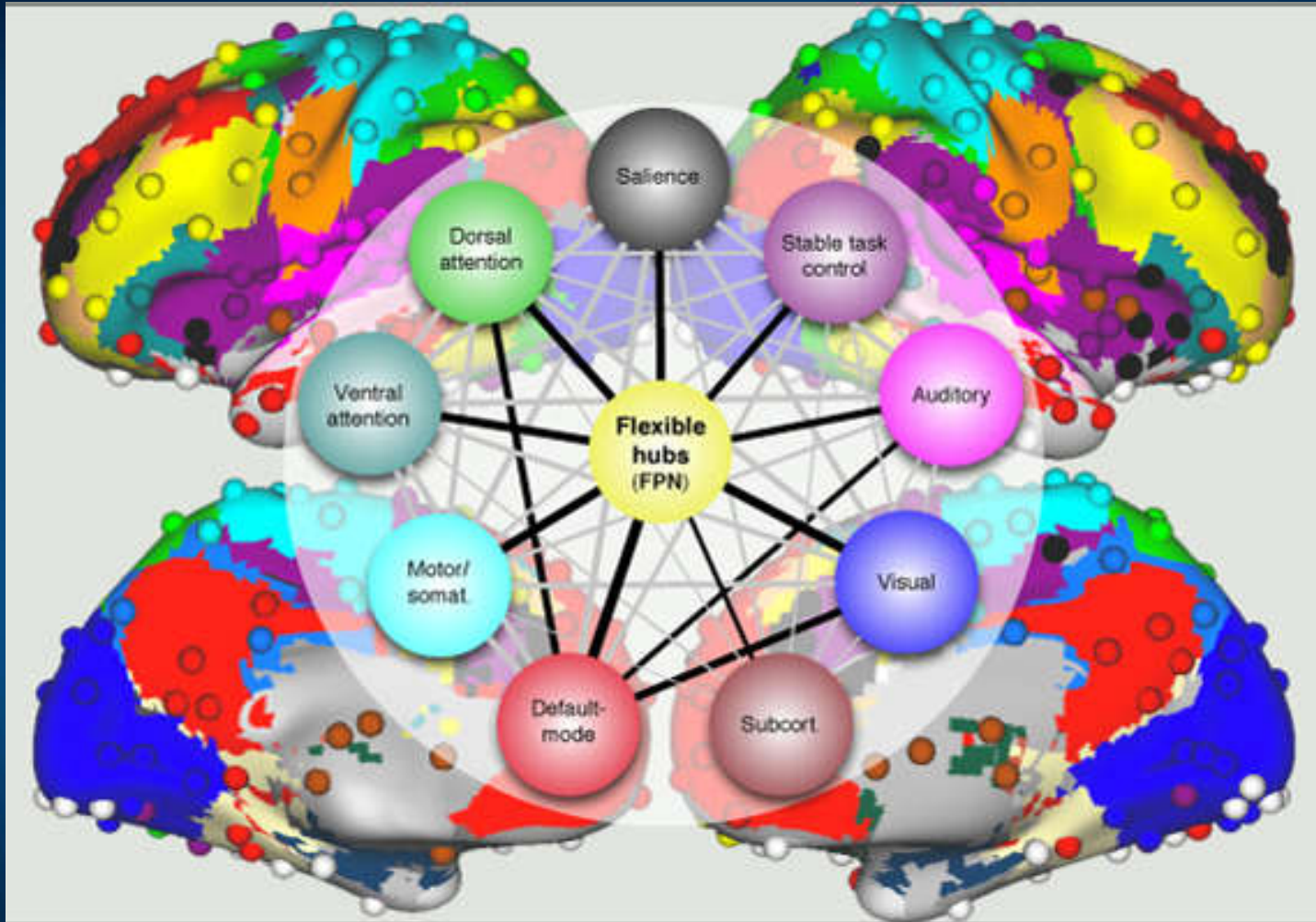


GNWT

Global Neuronal Workspace Theory (Dehaene et al. 1998)



Neurokognitywne podstawy kontroli



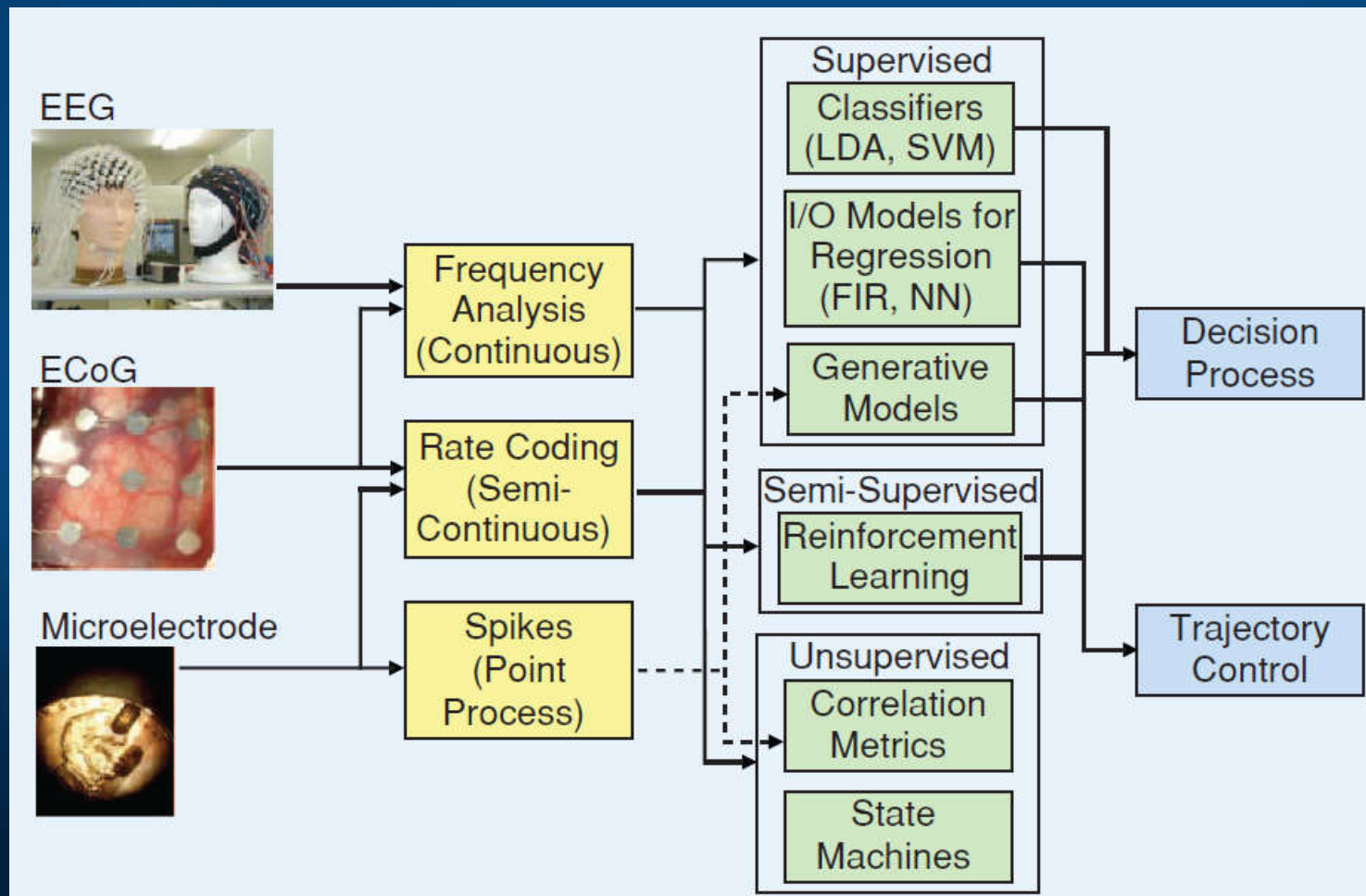
Cole M.W. et al. (2013). [Multi-task connectivity reveals flexible hubs for adaptive task control.](#) *Nature Neuroscience*; 2013

Intencje w mózgu

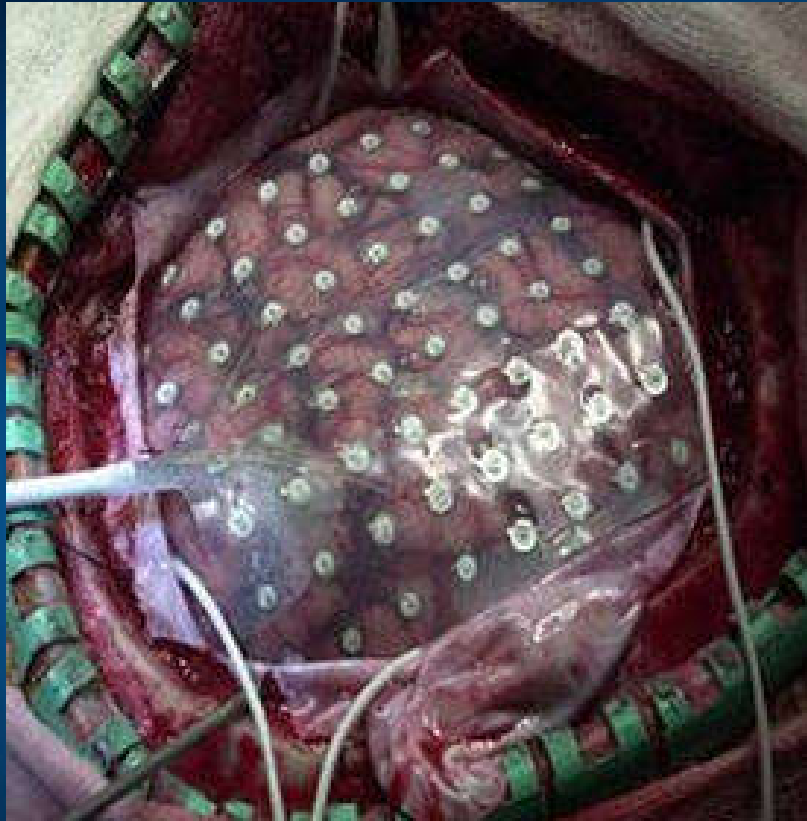
Brain-Computer Interfaces (BCI)

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

Im lepszy dostęp do neuronów tym więcej informacji można odczytać.



BCI - ruch



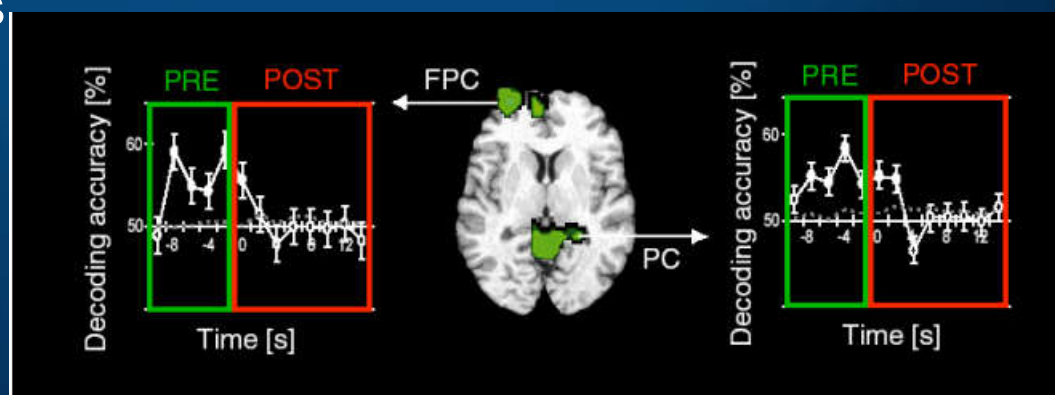
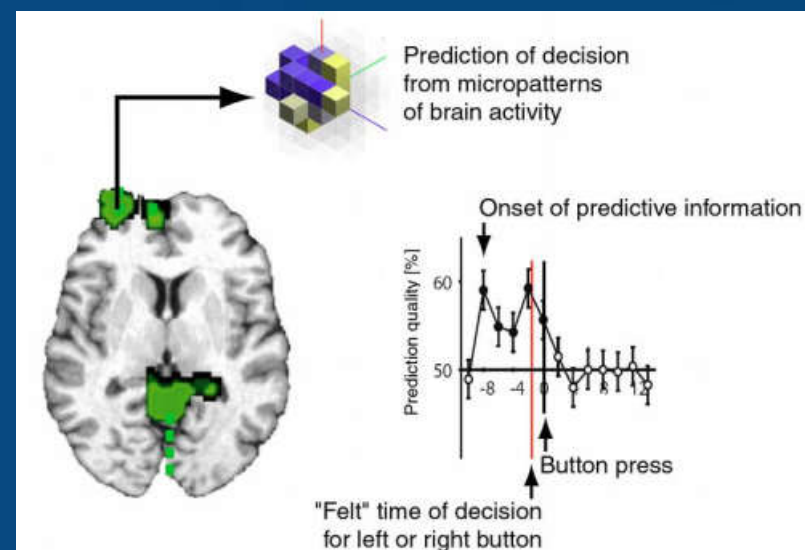
Osoby z taką siateczką zbierającą LFP mogą wydawać wiele poleceń myślni. Osoby cierpiące na zaburzenia kompulsywno-obsesyjne czy chorobę Parkinsona, które mają wszczepione stymulatory w mózgu, mogą regulować swoje zachowanie za pomocą zewnętrznego kontrolera.

Plany ruchu 10 sekund wcześniej!

C.S. Soon, M. Brass, H-J. Heinze & J-D. Haynes,
Unconscious determinants of free decisions in the human brain.
Nature Neuroscience, April 2008.

”There has been a long controversy as to whether subjectively 'free' decisions are determined by brain activity ahead of time. We found that the outcome of a decision can be encoded in brain activity of prefrontal and parietal cortex up to 10 sec before it enters awareness.

This delay presumably reflects the operation of a network of high-level control areas that begin to prepare an upcoming decision long before it enters awareness.”

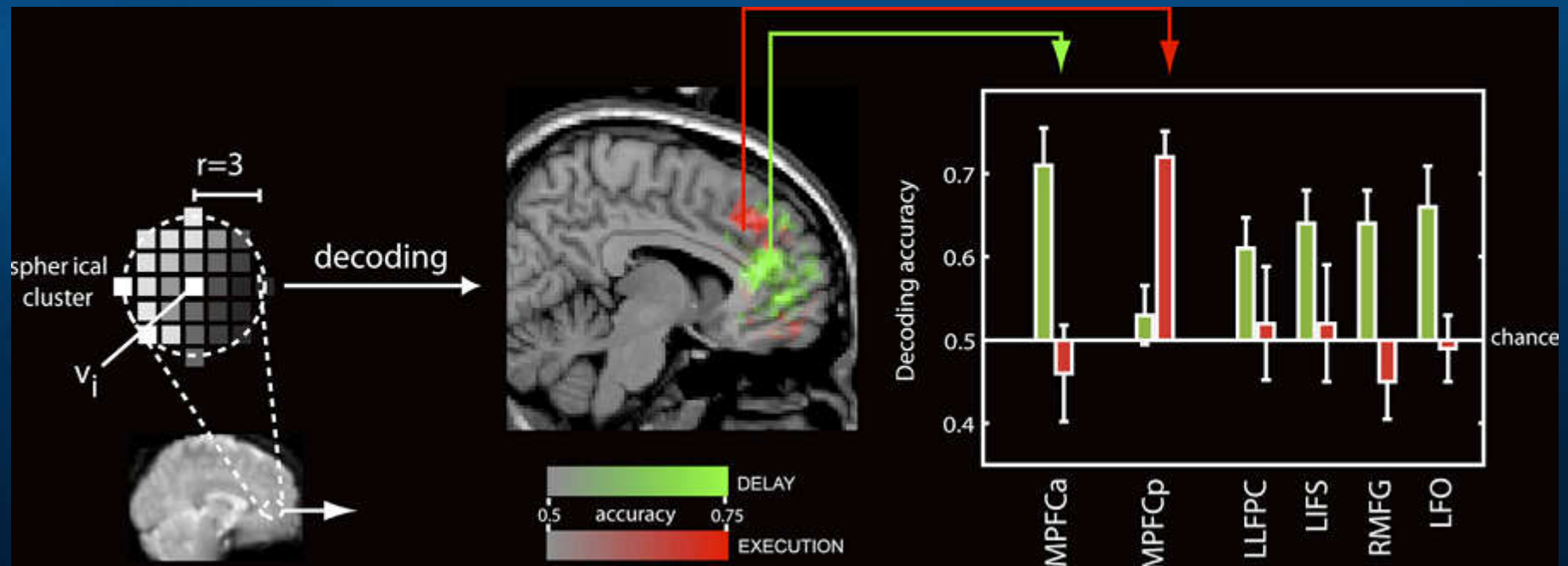


Decyzje w mózgu

J-D. Hayens i inn, Reading Hidden Intentions in the Human Brain.
Current Biology 17, 323-328, 2007.

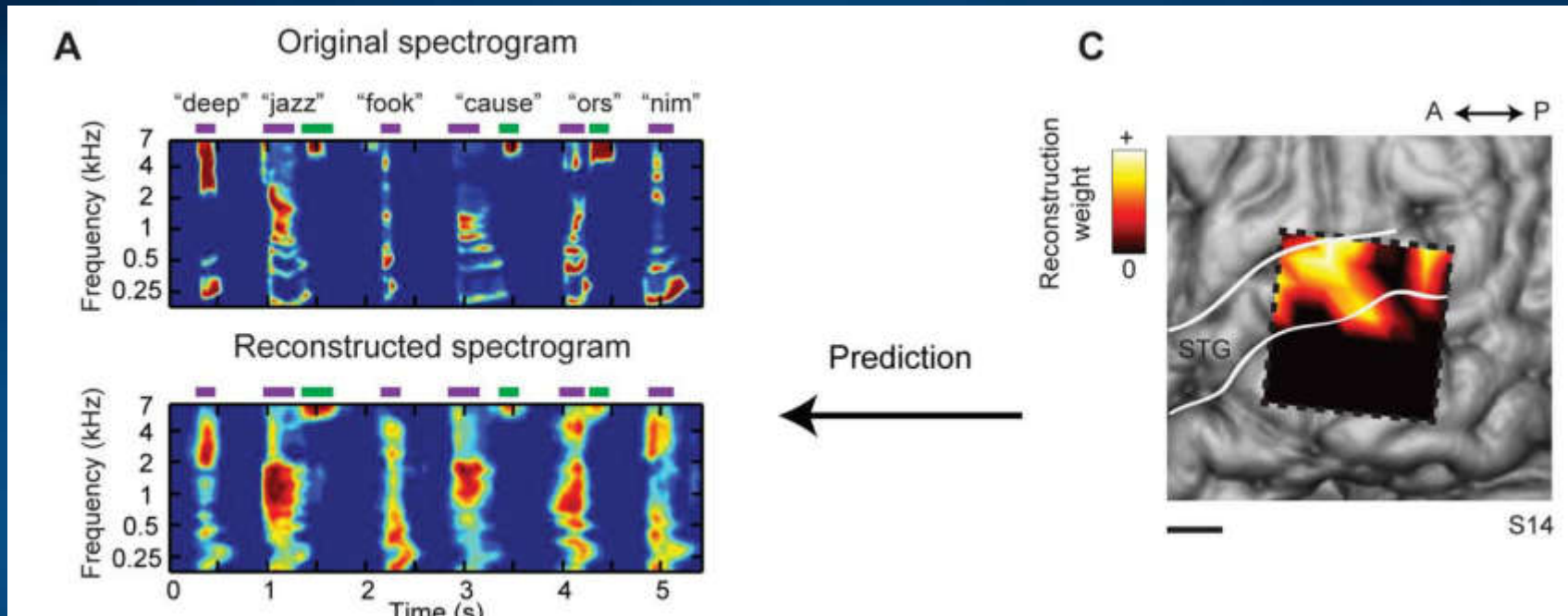
Dostaniesz za chwilę dwie liczby, możesz je dodać lub od siebie odjąć,
po 3-11 sekundach pojawią się liczby i wskażesz wynik.

Ja wiem, jaka będzie decyzja, bo aktywność przyśrodkowej kory czołowej
pokaże mi, jakie są Twoje ukryte intencje ...



Słowa w mózgu

Myśl: czas, miejsce, energia, częstotliwość



Oscylacje w sieciach: możesz czytać po cichu a ja będę to głośno słyszał!

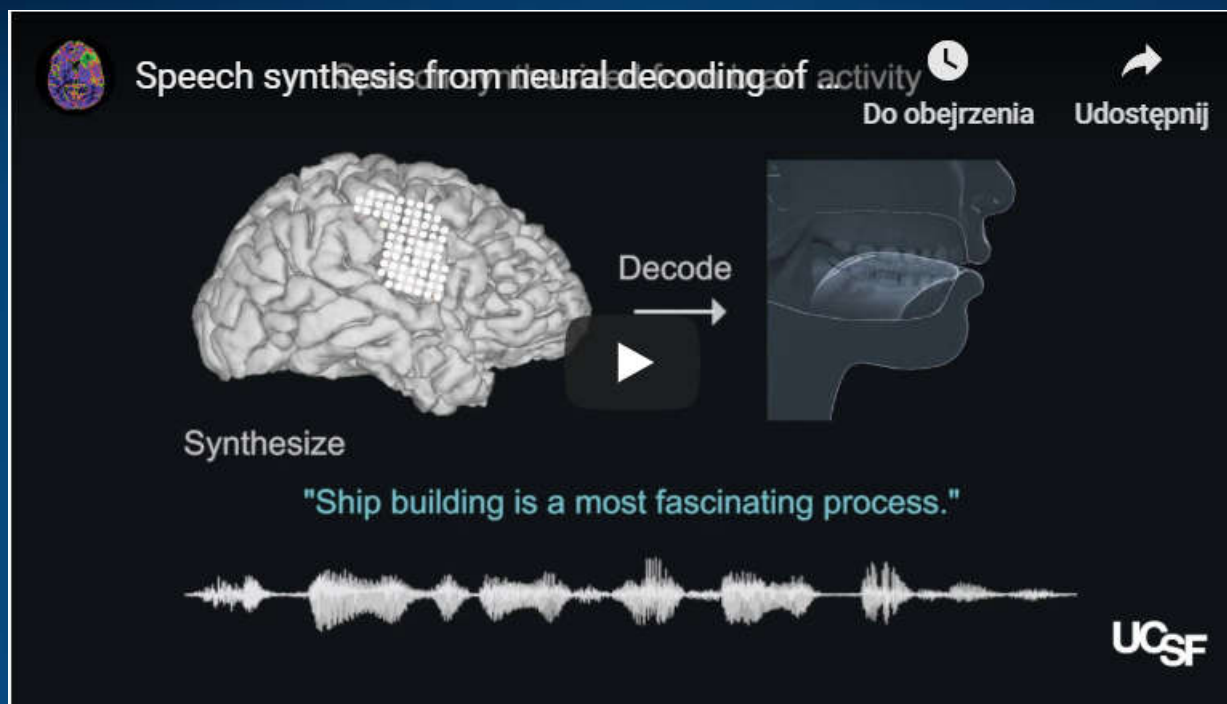
Ale potrzebuję dostęp do kory Twojego mózgu ...

Mając rekonstrukcję spektrogramu można użyć syntezy 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



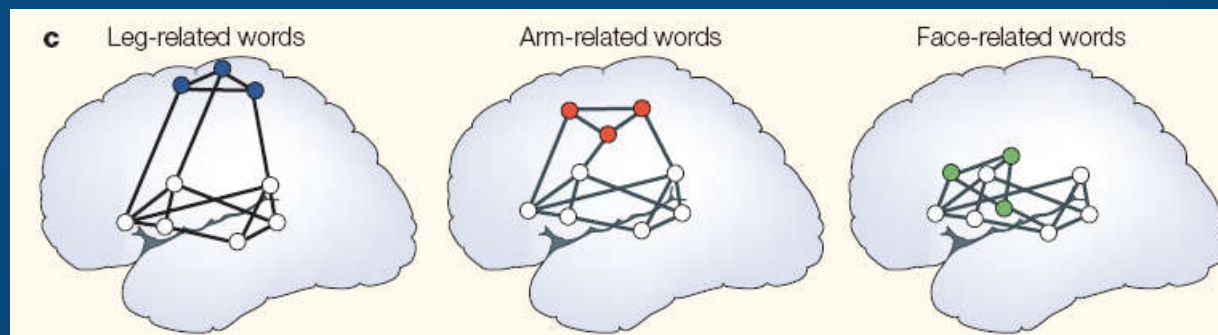
Eksperymenty psycholingwistyczne dotyczące mowy pokazują, że w mózgu występują dyskretnie reprezentacje fonologiczne, a nie akustyczne.

Sygnał 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.

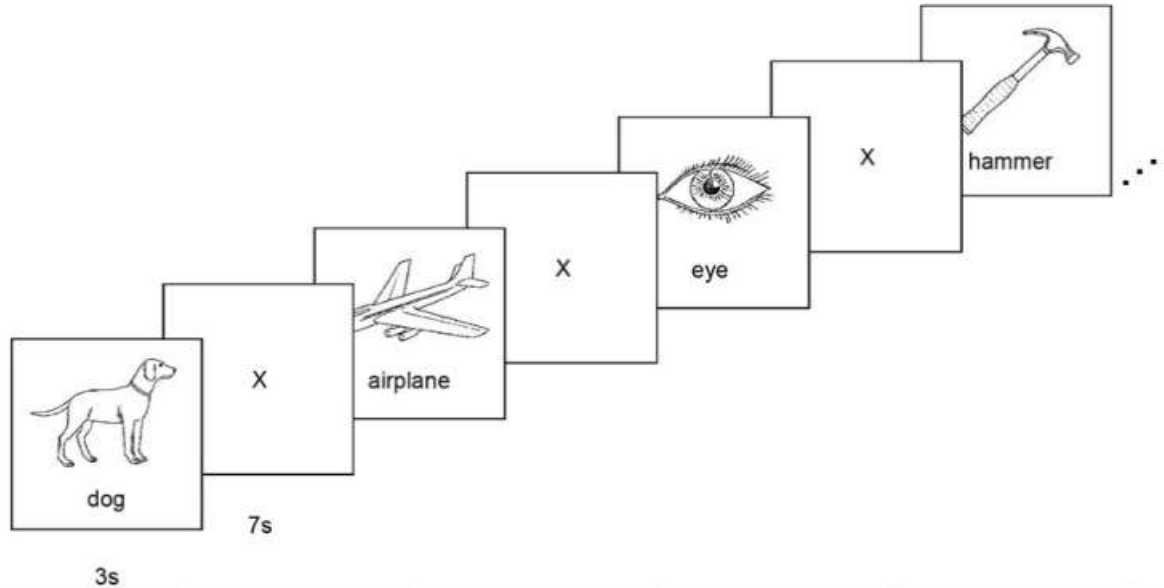
Sieci działania –
postrzegania, wnioski
z badań ERP i fMRI.



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

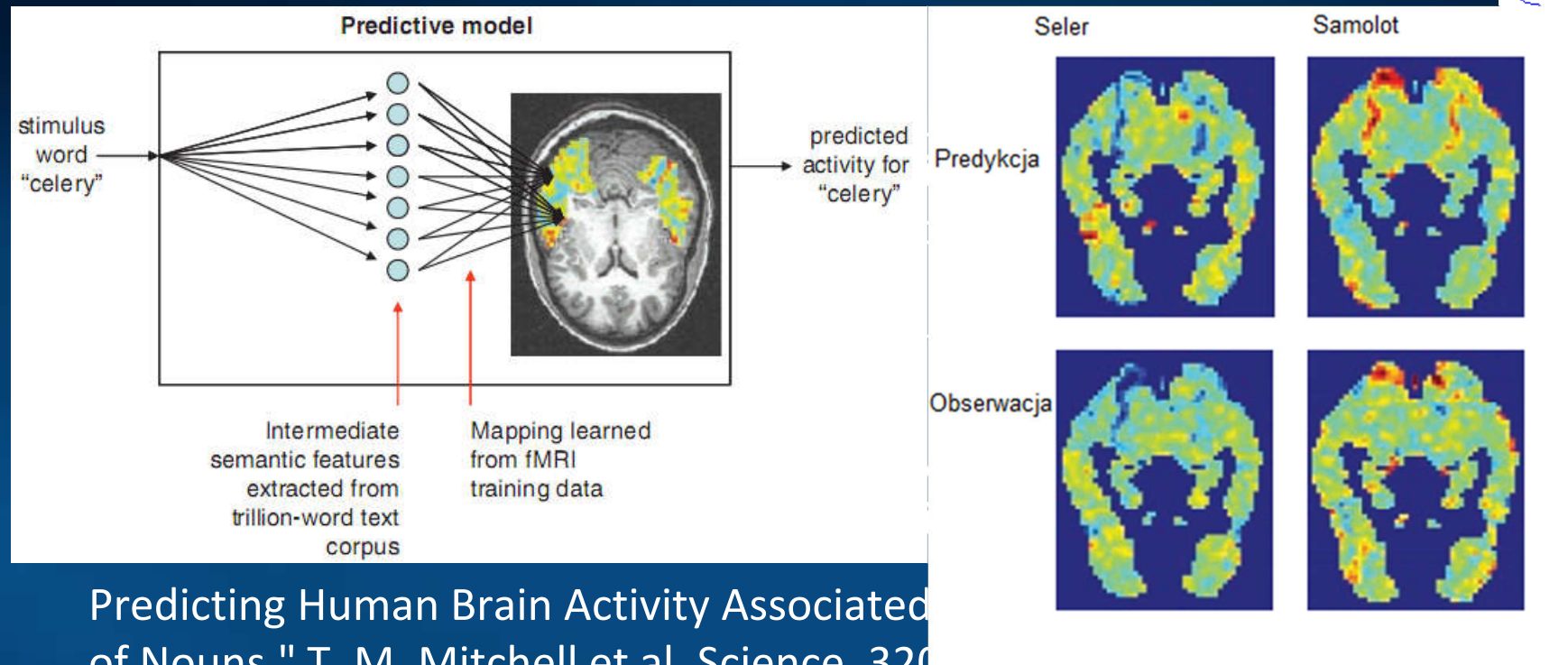


The diagram illustrates a sequence of visual stimuli. It starts with a box containing a drawing of a dog, labeled 'dog' and '3s'. This is followed by a box with an 'X' and '7s'. Next is a box with a drawing of an airplane, labeled 'airplane'. This is followed by another box with an 'X'. Then a box with a drawing of an eye, labeled 'eye'. This is followed by another box with an 'X'. Finally, a box with a drawing of a hammer, labeled 'hammer', followed by an ellipsis '...'.

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 with the Meaning of Nouns," T. M. Mitchell et al, Science, 320, 1191, 2008

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 ...

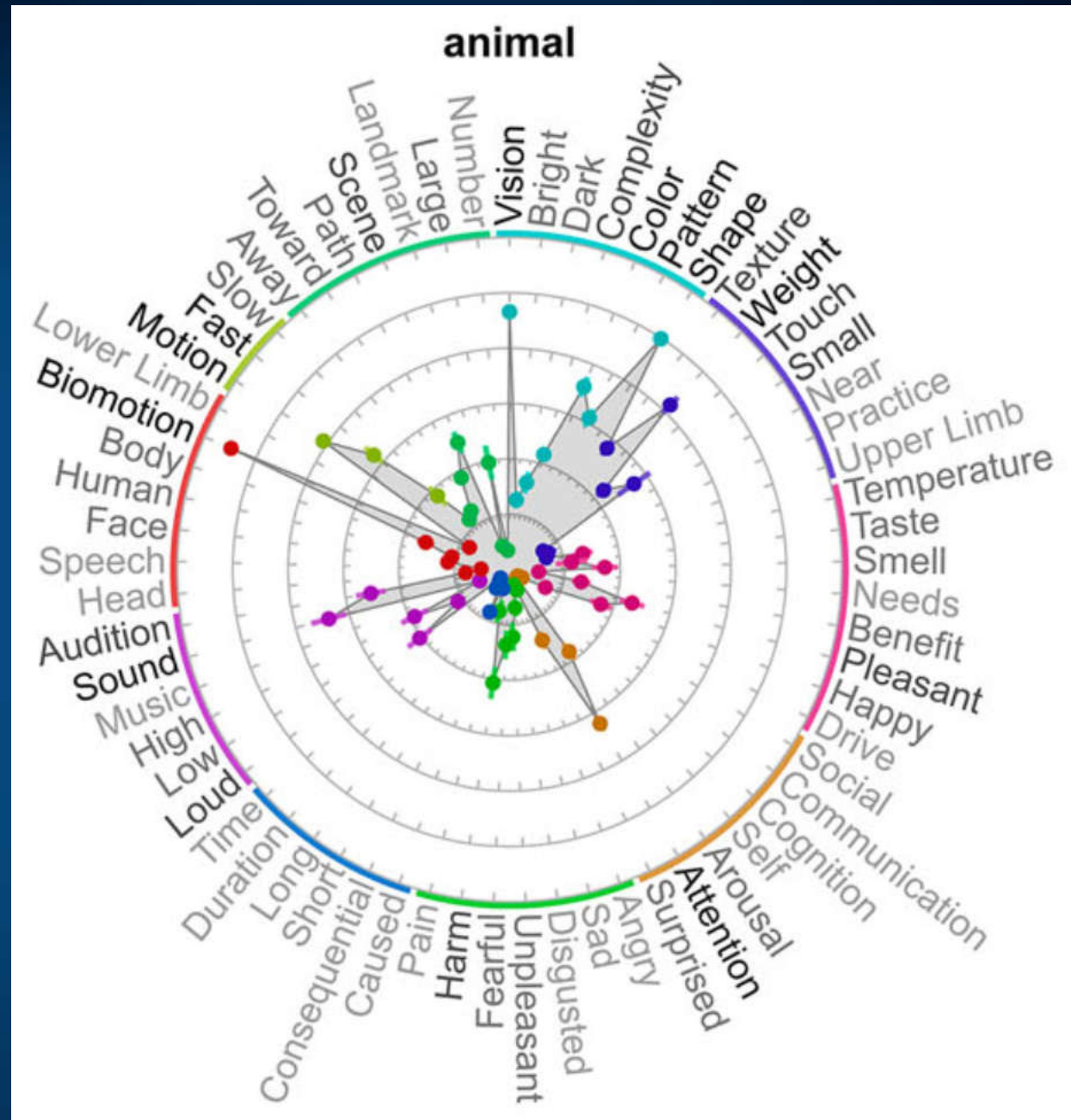
Semantyka oparta na naturalnych wymiarach.

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.

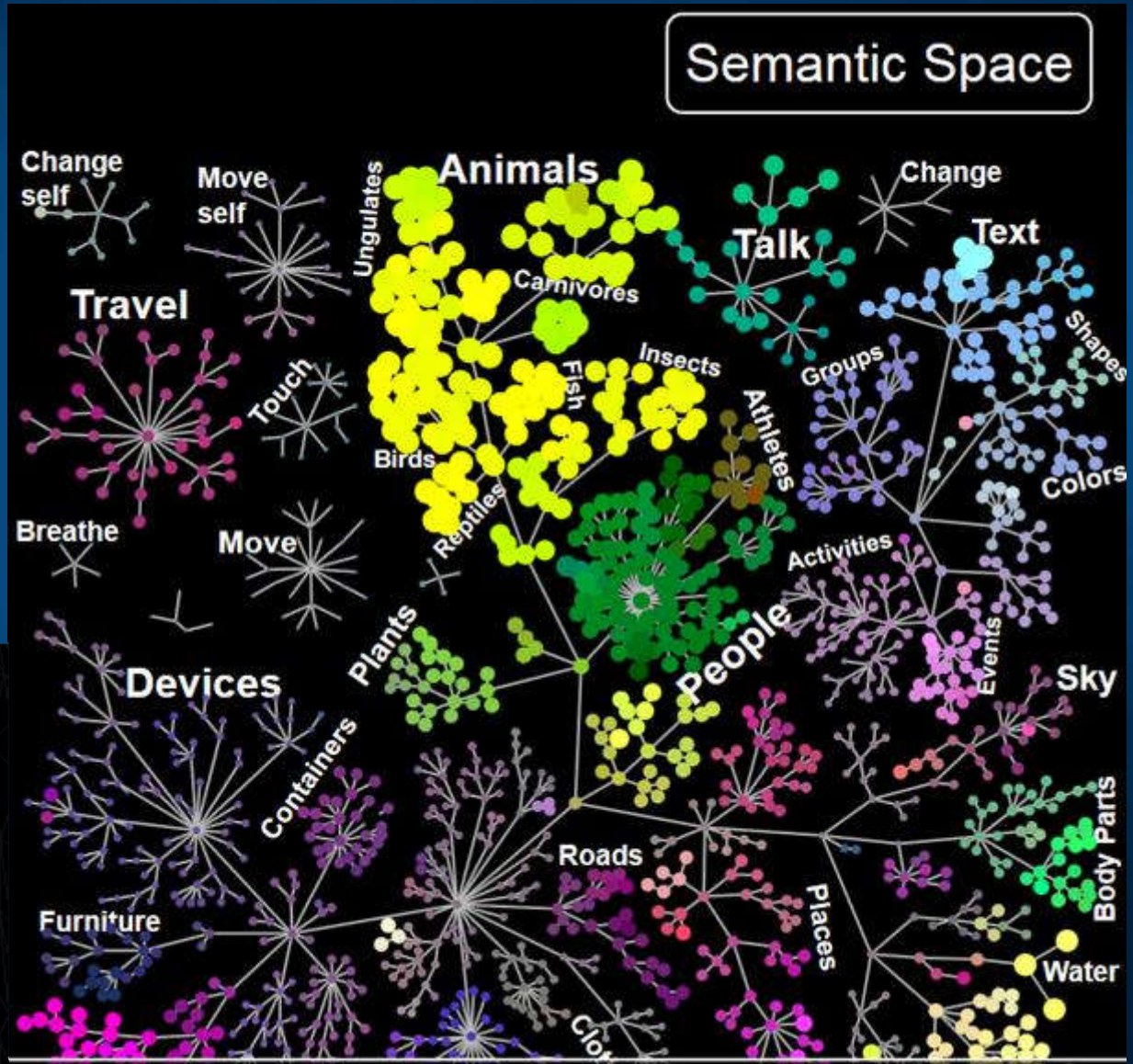
Nie tylko obiekty dające się zobaczyć, inne pojęcia również!

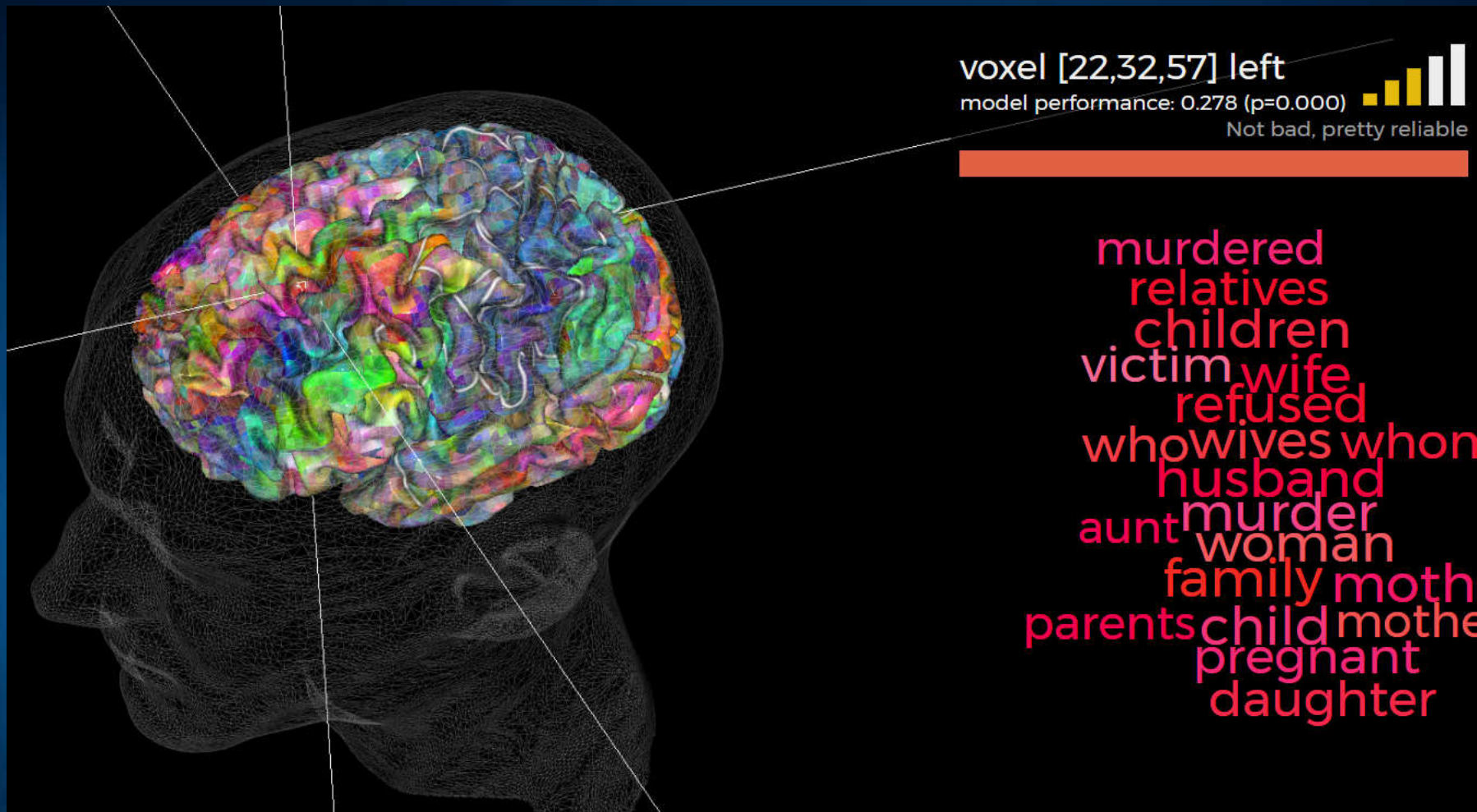


Semantyczna przestrzeń neuronalna

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

Laboratorium Gallanta w Berkeley.



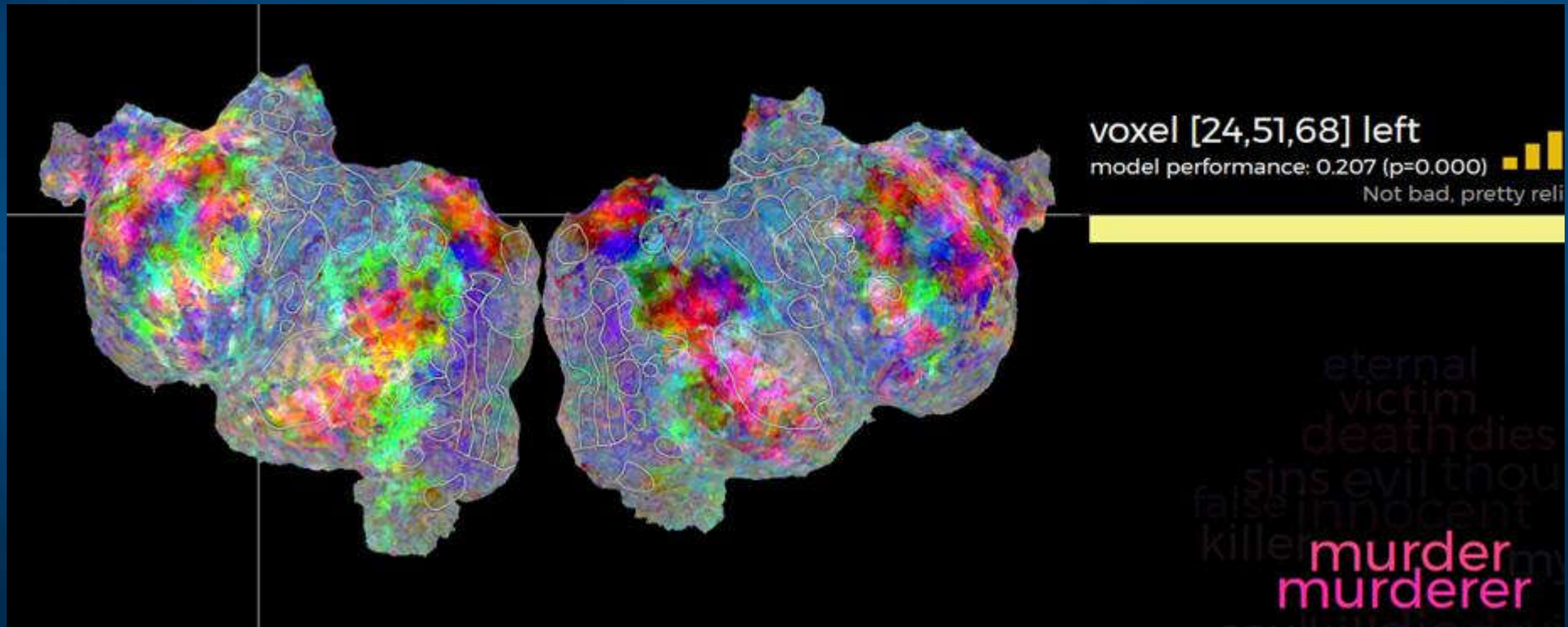


Interaktywne narzędzie atlasu pozwala na różne sposoby oglądania aktywacji kory: <http://gallantlab.org/huth2016/>

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

Aktywacja kory

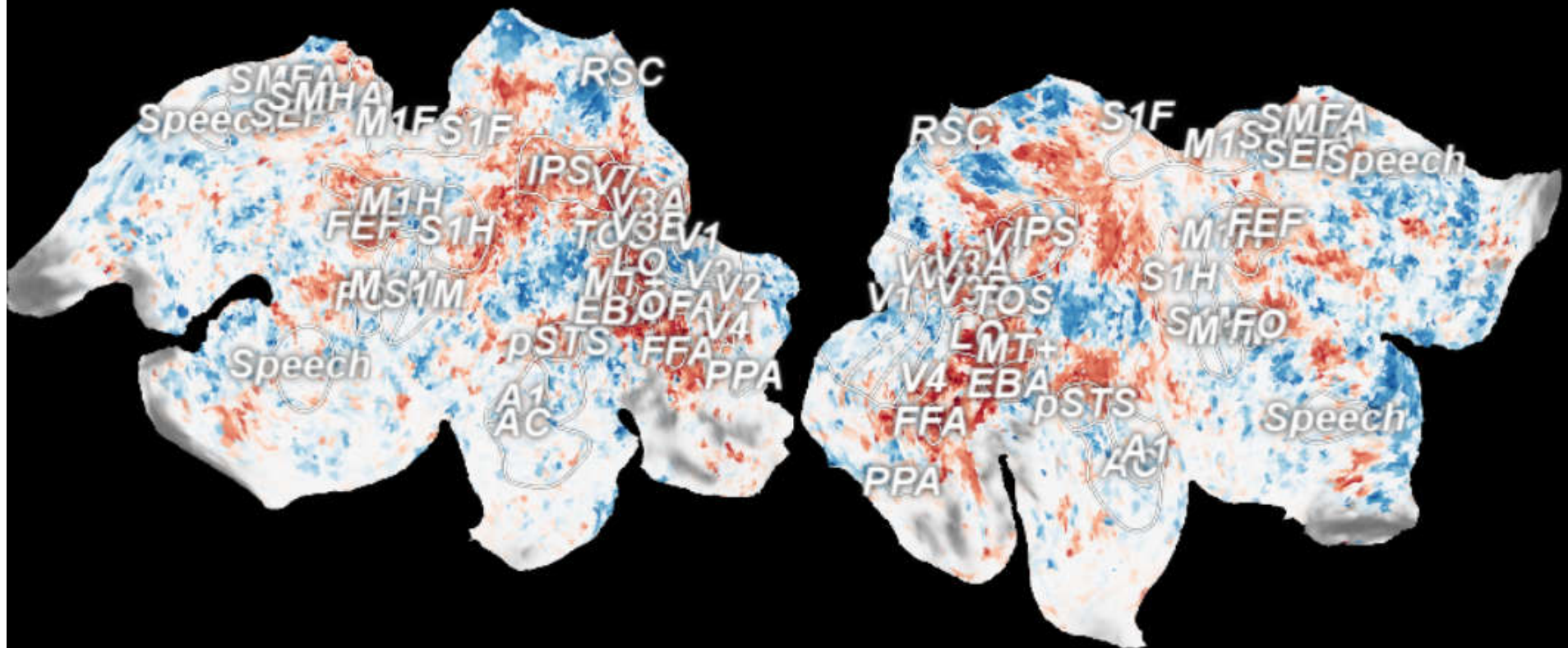
Większość wokseli bierze udział w kodowaniu wielu pojęć, ale niektóre mają silne preferencje, jak w tym przypadku.



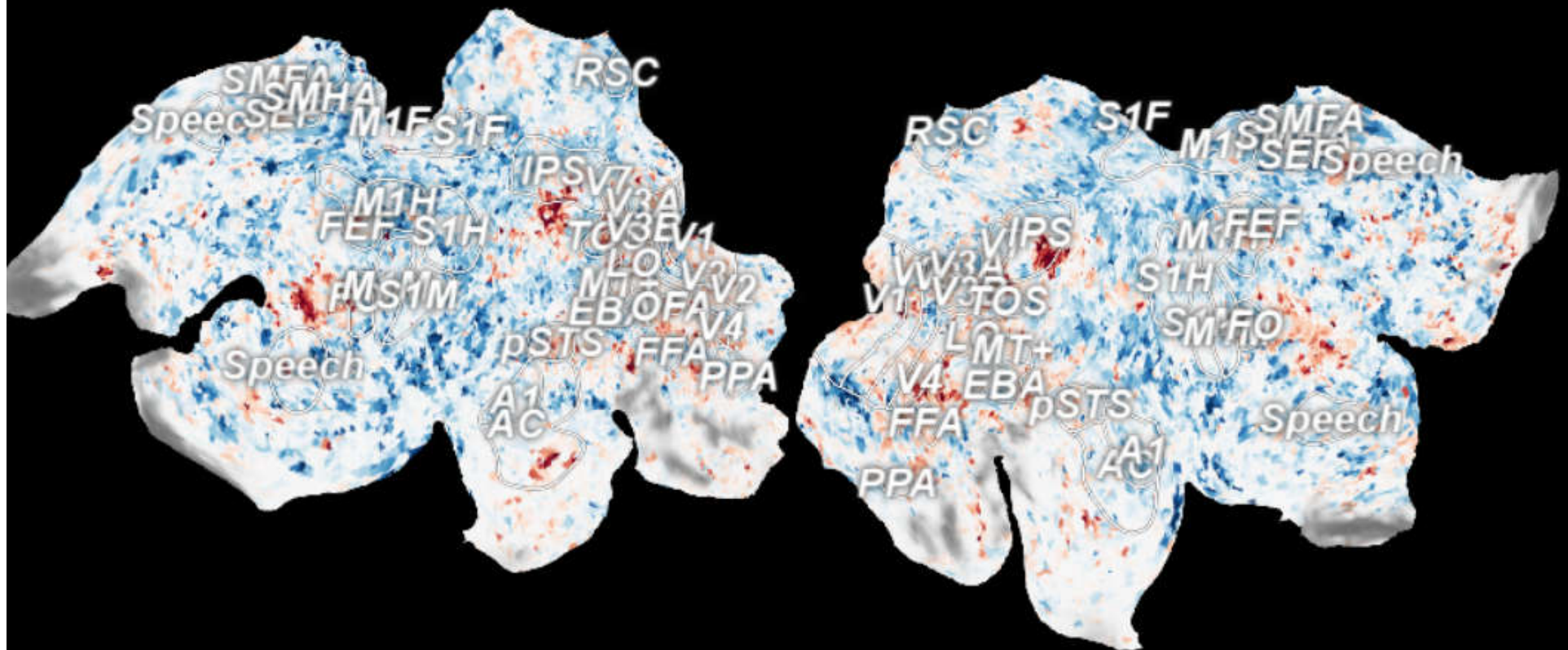
Aktywacja pojęć prowadzi do aktywacji określonych struktur mózgu.
Każda ze struktur uczestniczy w semantycznej interpretacji wielu pojęć.
<http://gallantlab.org/huth2016/> oraz [krótki film](#).



Category zebra: Passive Viewing



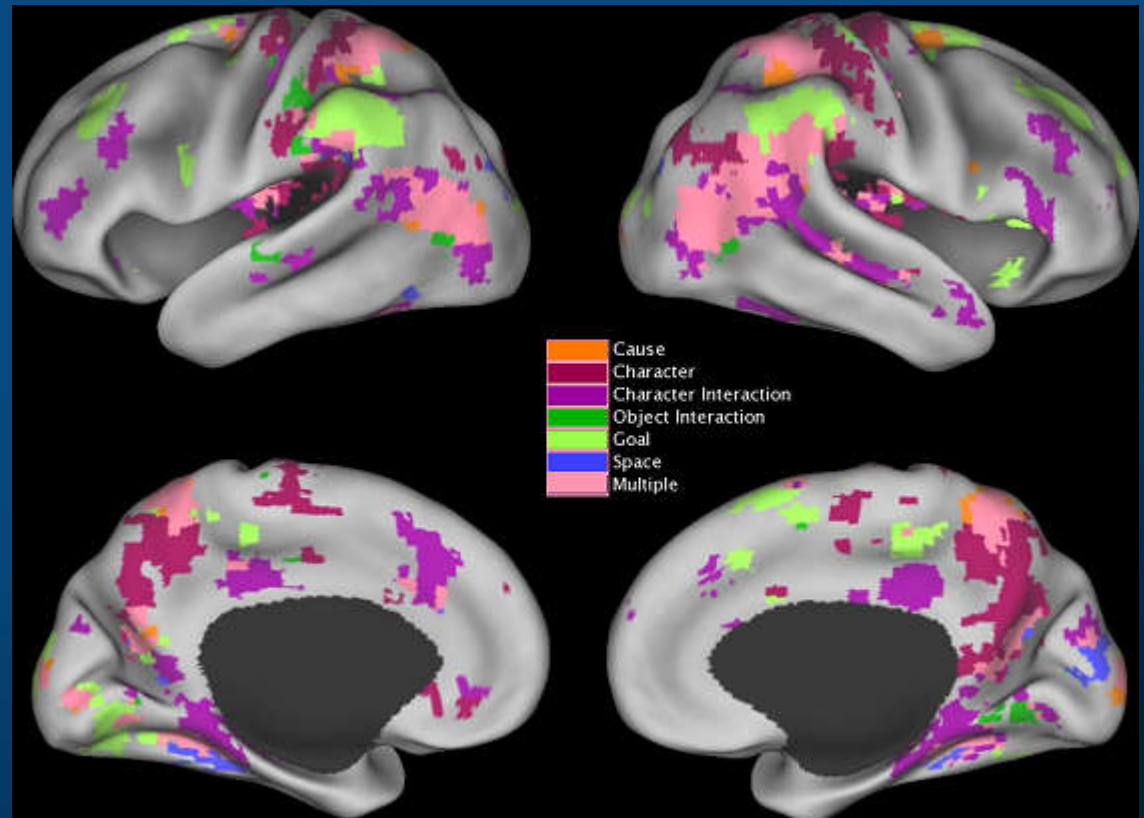
Category traffic light: Passive Viewing



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.

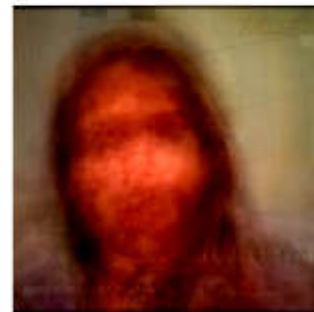


Obrazy w mózgu

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.

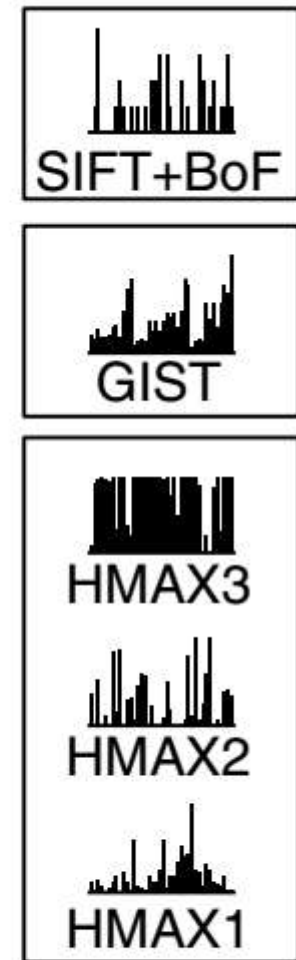
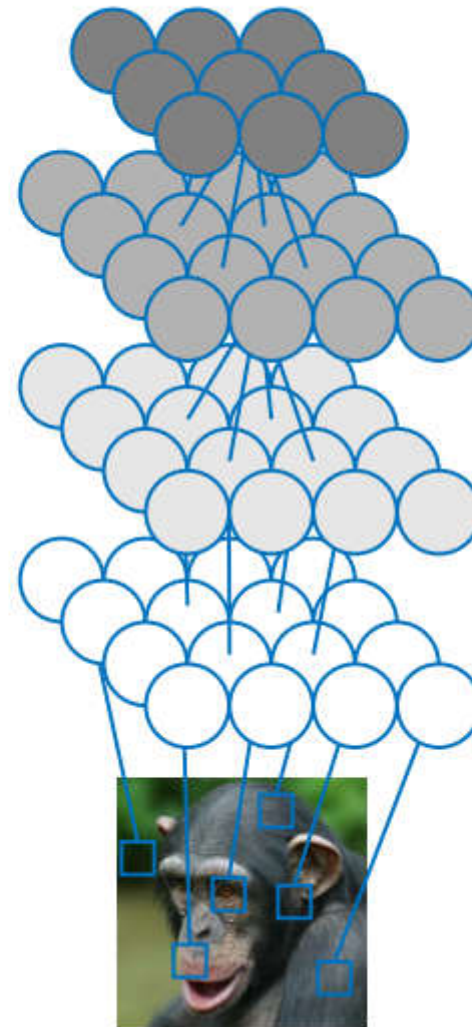
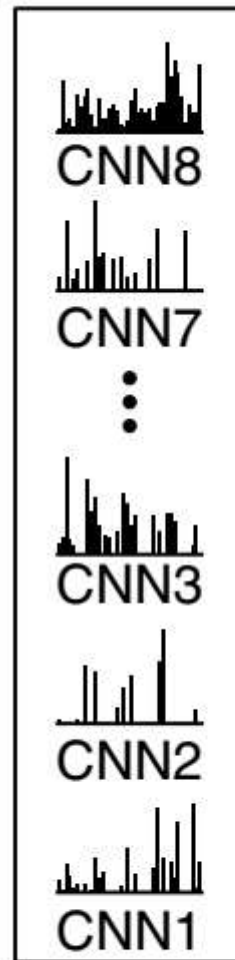


Opis obrazów

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

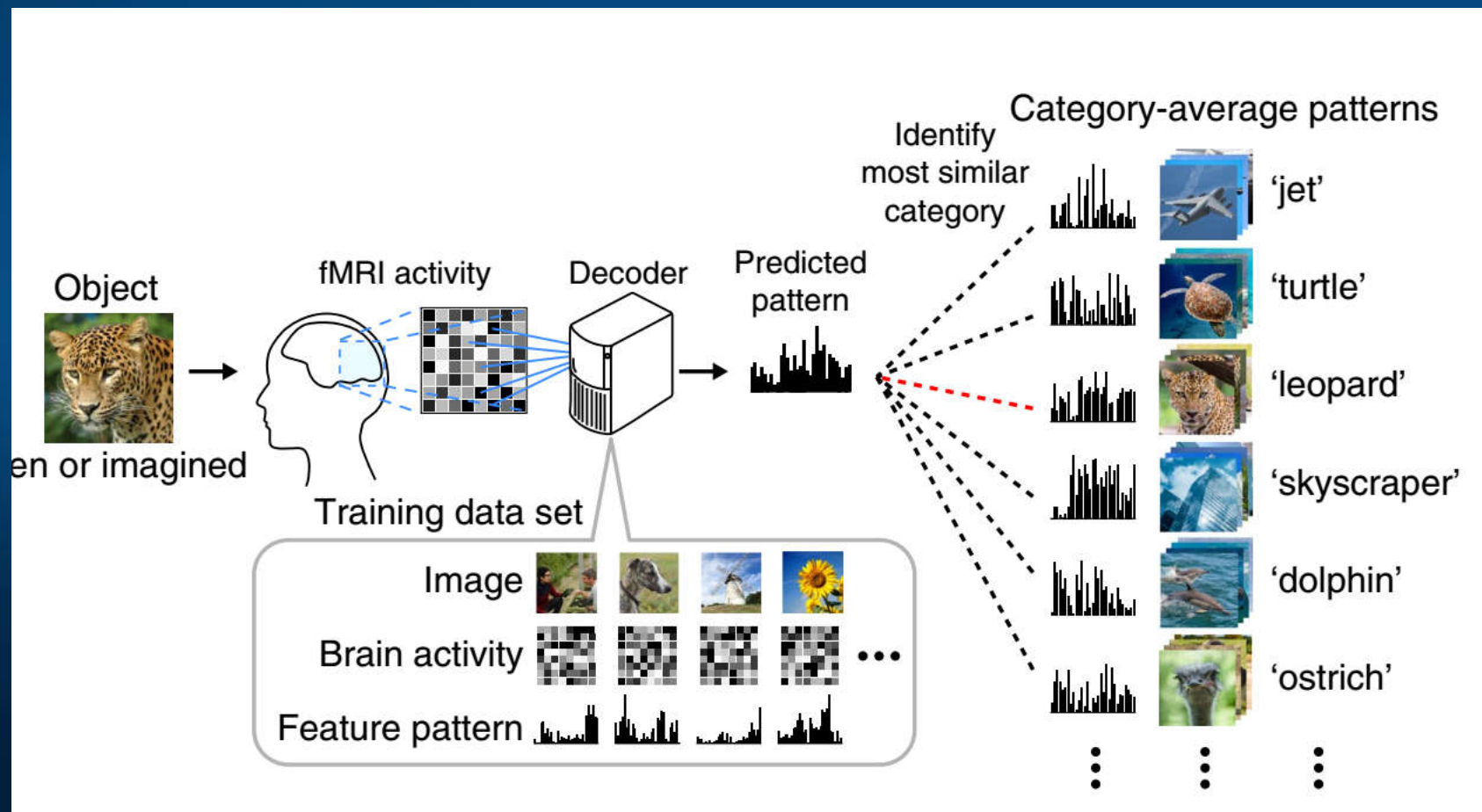
Głębokie sieci neuronowe CNN, np. 8-warstwowa sieć ~60 mln parametrów, dają użyteczne deskryptory. 1000 przypadkowo wybranych elementów z każdej warstwy daje wektor CNN_x, upraszcza obliczenia.

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 ↔ CNN

Skany dla 150 kategorii z 15.000 w ImageNet.

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

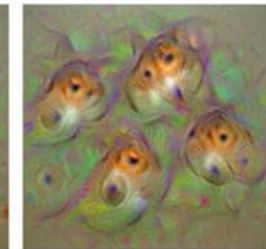
Złożoność, inwariancja względem skalowania, obrotów i przesunięć wzrasta w wyższych warstwach, woksele z wyższych obszarów wzrokowych.

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

CNN8



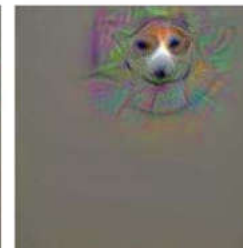
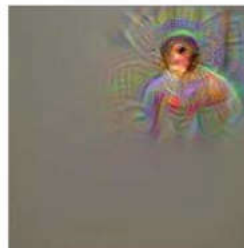
CNN7



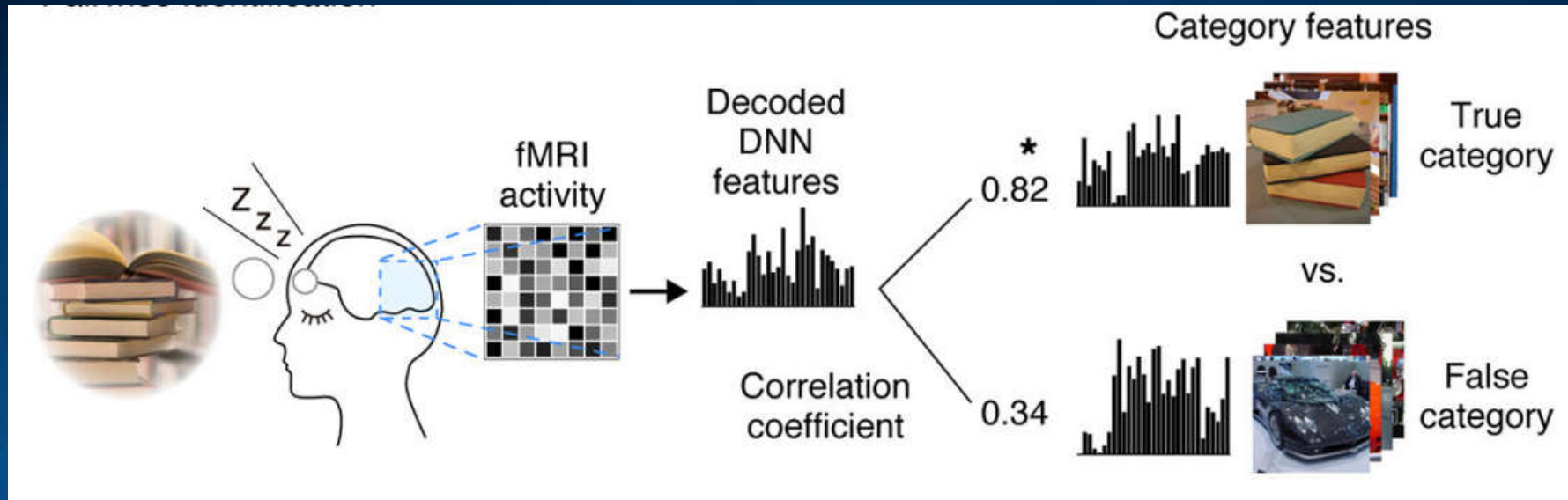
CNN6



CNN5



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.

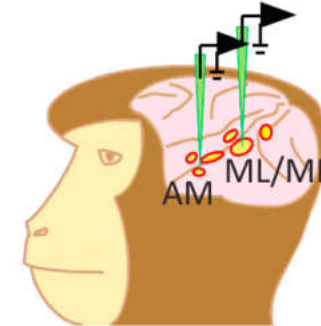
Neuronalne obrazy

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

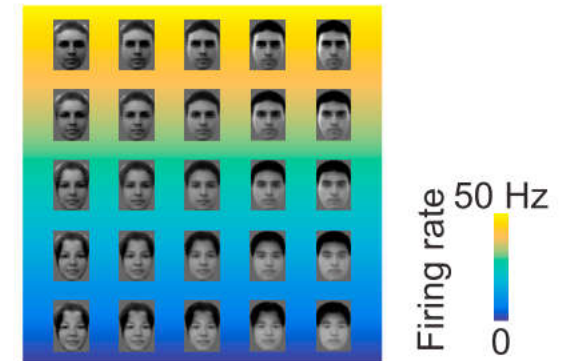
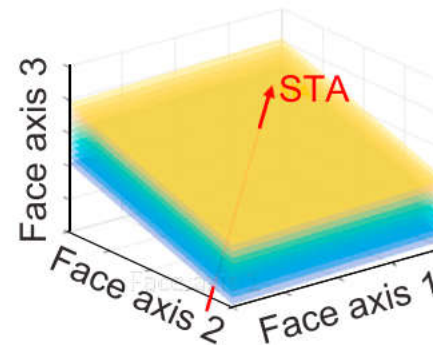
L. Chang and D.Y. Tsao, "The code for facial identity in the primate brain," *Cell*, doi:10.1016/j.cell.2017.05.011, 2017

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

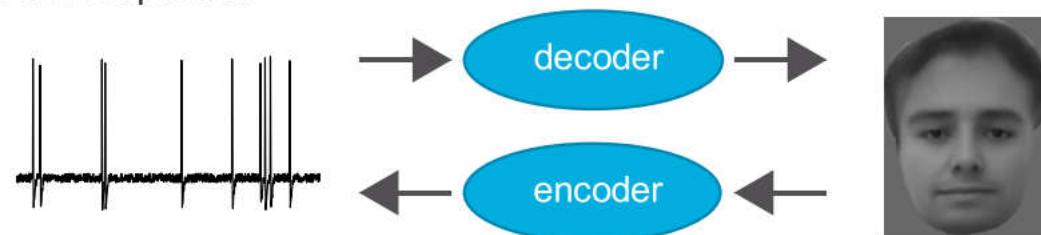
1. We recorded responses to parameterized faces from macaque face patches



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

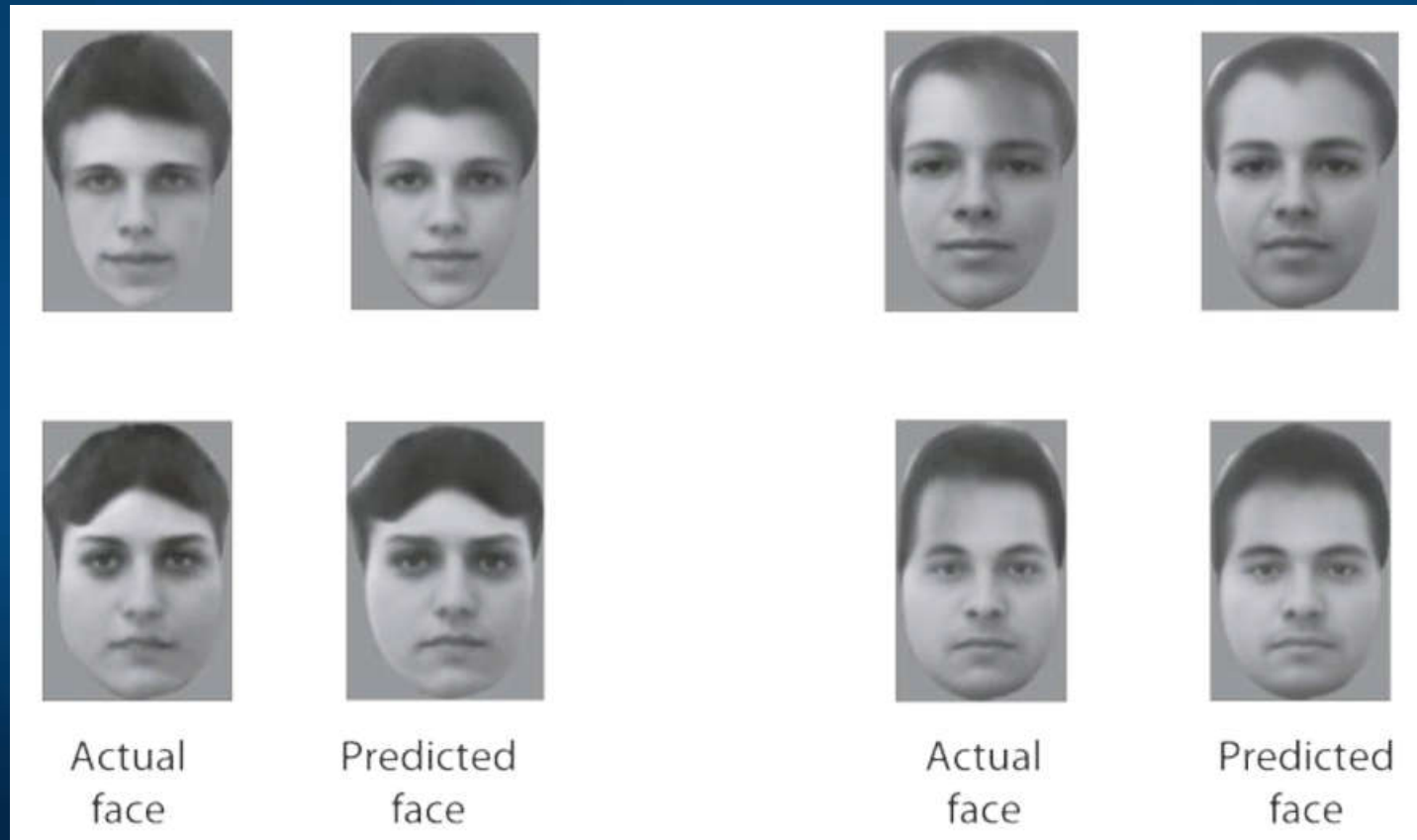


3. We found that an axis model allows precise encoding and decoding of neural responses



Co mała zakodowała?

205 neuronów wystarczy by odtworzyć widziane twarze z taką dokładnością.

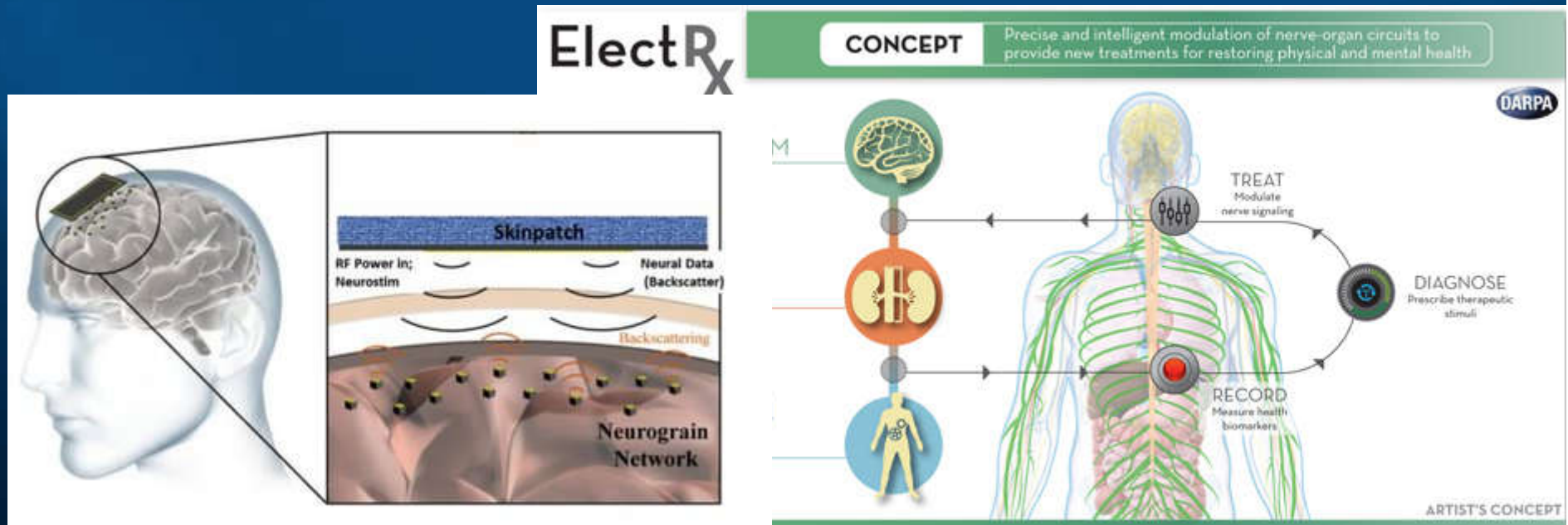


Milion elektrod w mózgu?

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

Interfejs odczytujący stan 10^6 neuronów, pobudzający prądem 10^5 neuronów, oddziaływający czytając/pobudzając 10^3 na neuronów. Neuralink (Musk).

DARPA wybrała 7 grup do projektu Electrical Prescriptions (ElectRx), którego celem jest opracowanie systemu działającej w zamkniętej pętli (closed-loop system) do terapii przez modulację aktywności nerwów peryferyjnych.



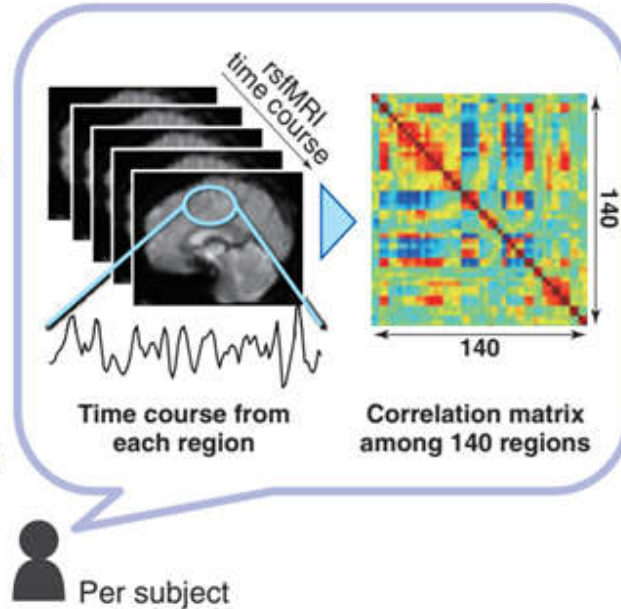
Perspektywy i nadzieje

Biomarkery z neuroobrazowania

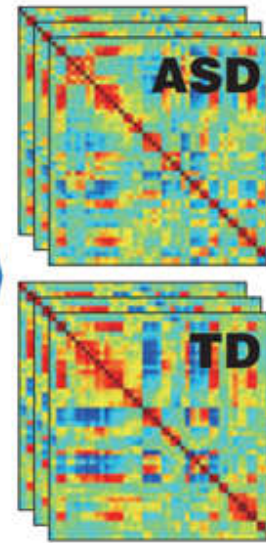
Data Acquisition
(three sites in Japan)



Image Preprocessing



Feature Selection



181 matrices with diagnostic labels

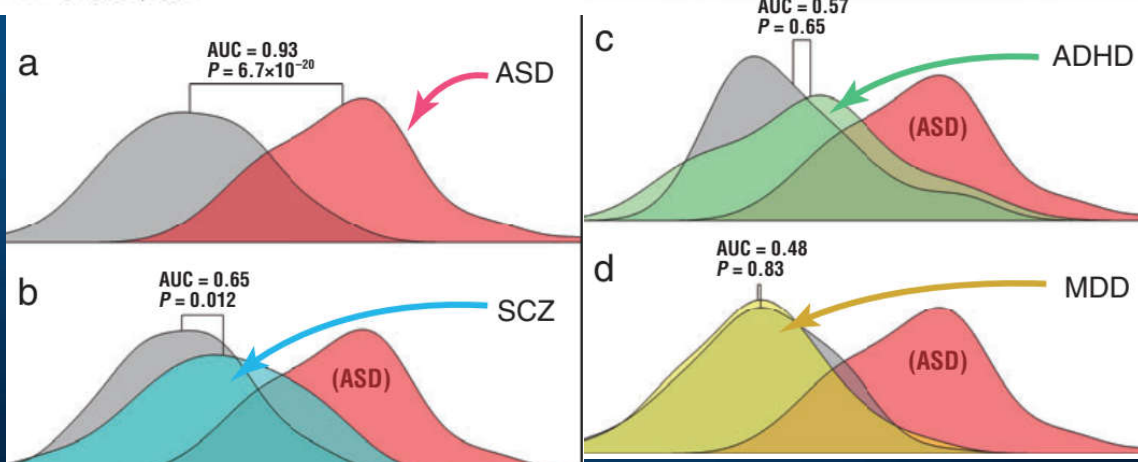
Model for ASD

L1-SCCA SLR

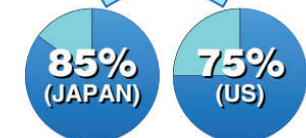
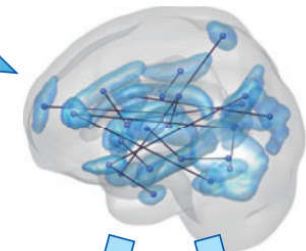
Models for other covariates

Demographic properties

Medication status

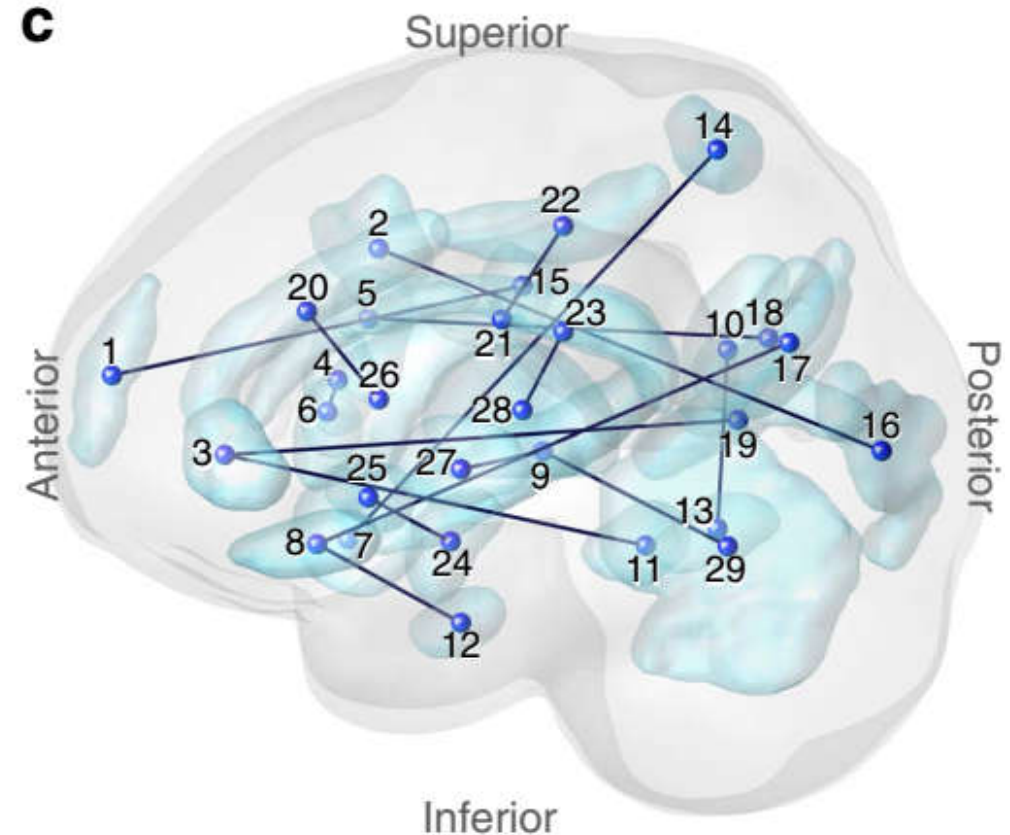
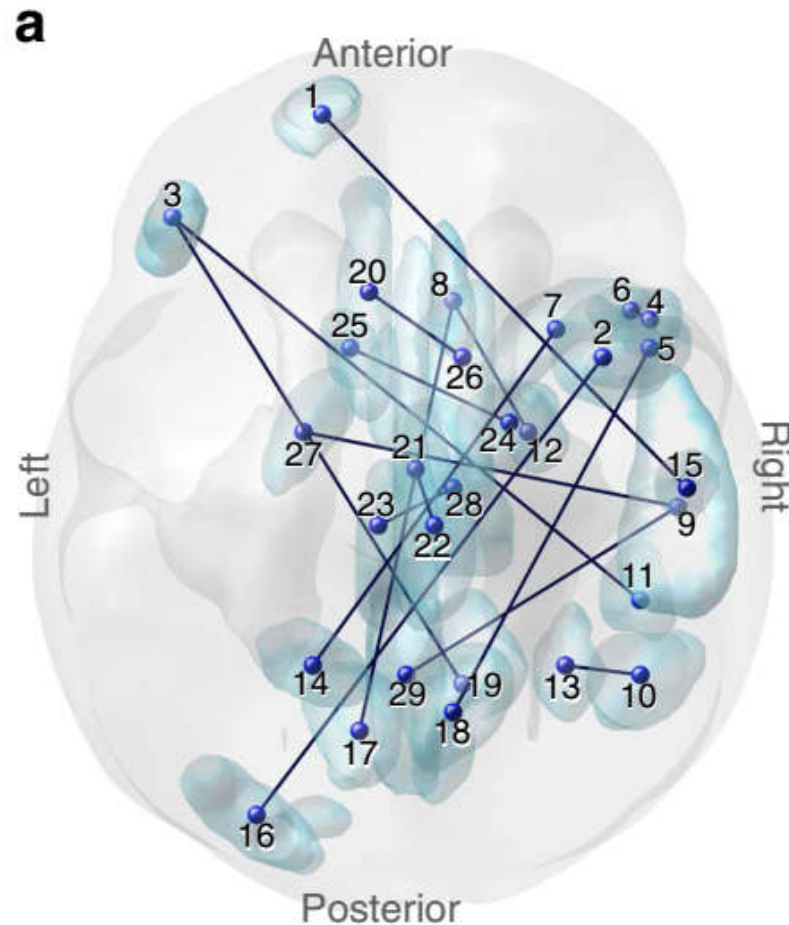


Classification



Accuracy

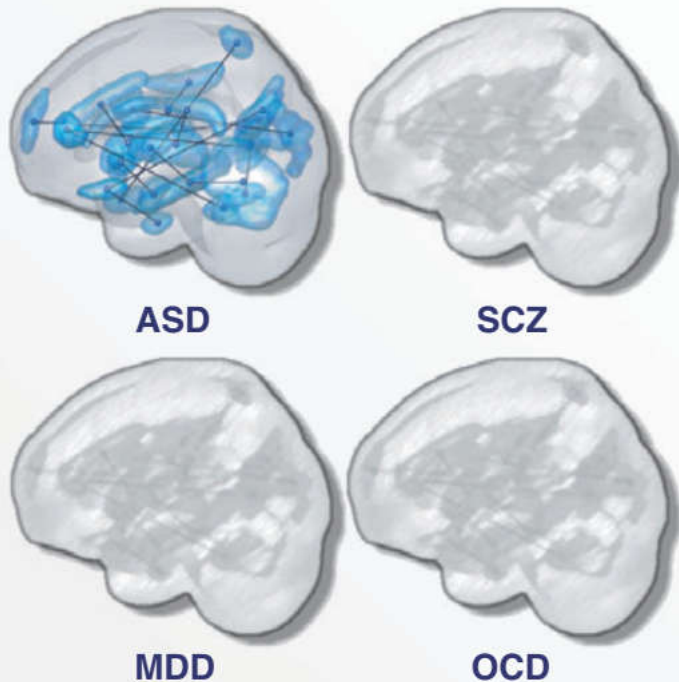
Wybrane połączenia



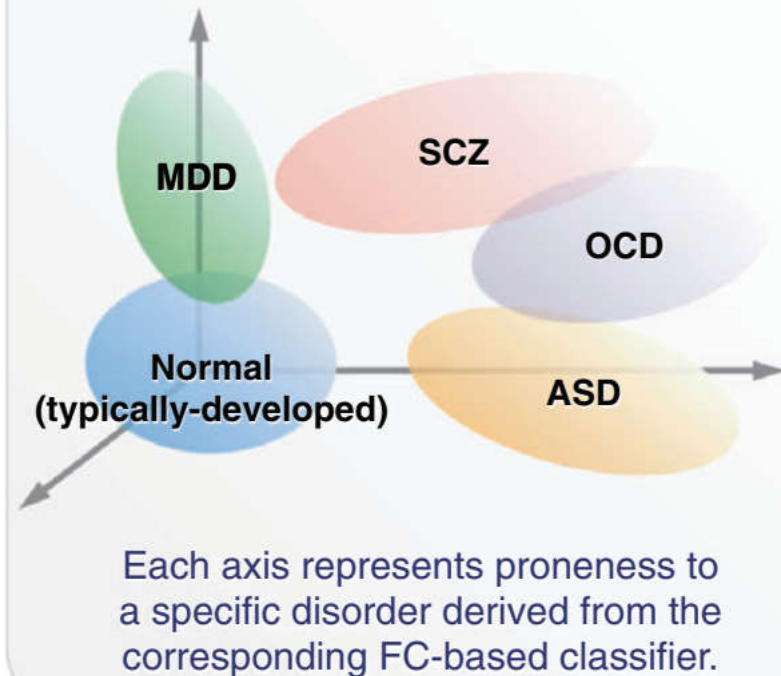
N. Yahata et al (2016): 29 wybrane regiony (ROI) i siła 16 najważniejszych połączeń pozwala rozpoznać autyzm z dokładnością 85% po nauczaniu systemu na pacjentach w Japonii; system w USA bez zmian rozpoznał prawidłowo 75%.

Skłonność do 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

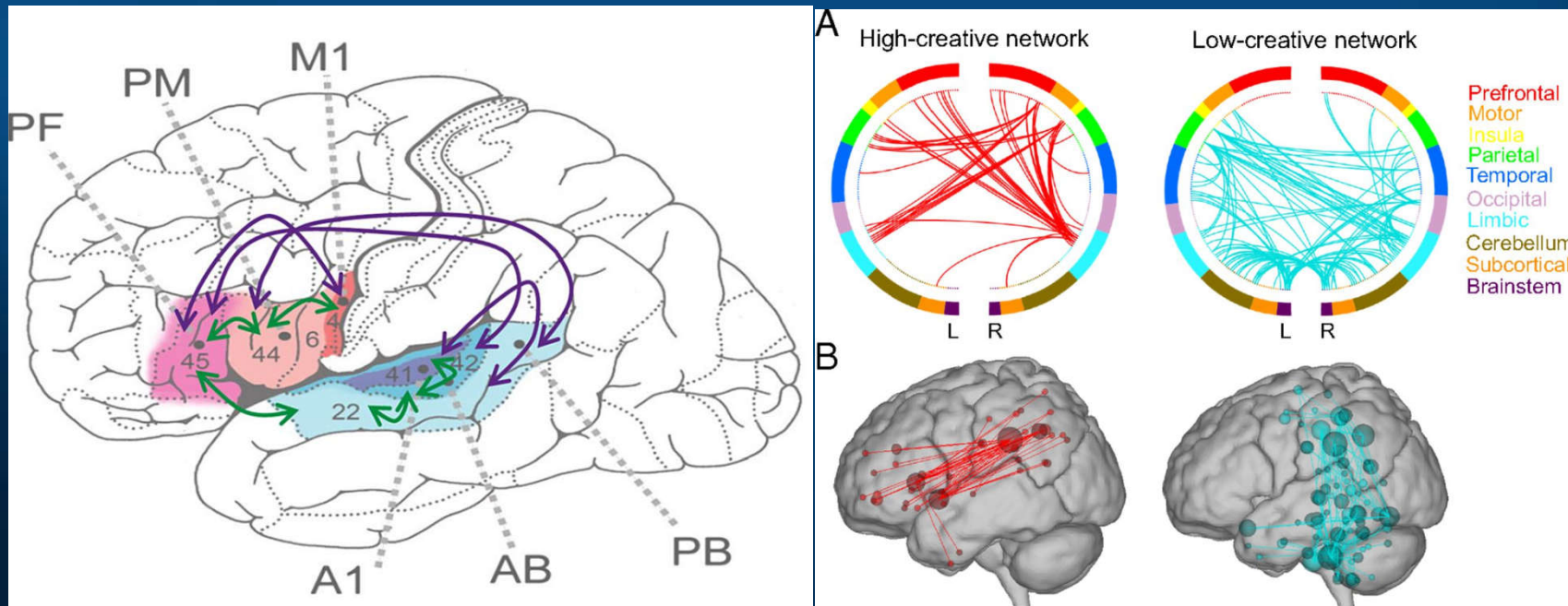


Mózg rozwija się najszybciej w dzieciństwie: badaliśmy w ramach grantu Symfonia rozwój słuchu fonematycznego i pamięci roboczej.

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

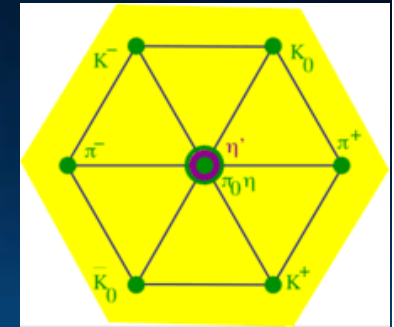
Badamy też gesty, wskazywanie – Monika Boruta-Żywiczyńska (nasz BabyLab).

Kreatywność zależy od funkcjonalnych konektomów.



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.

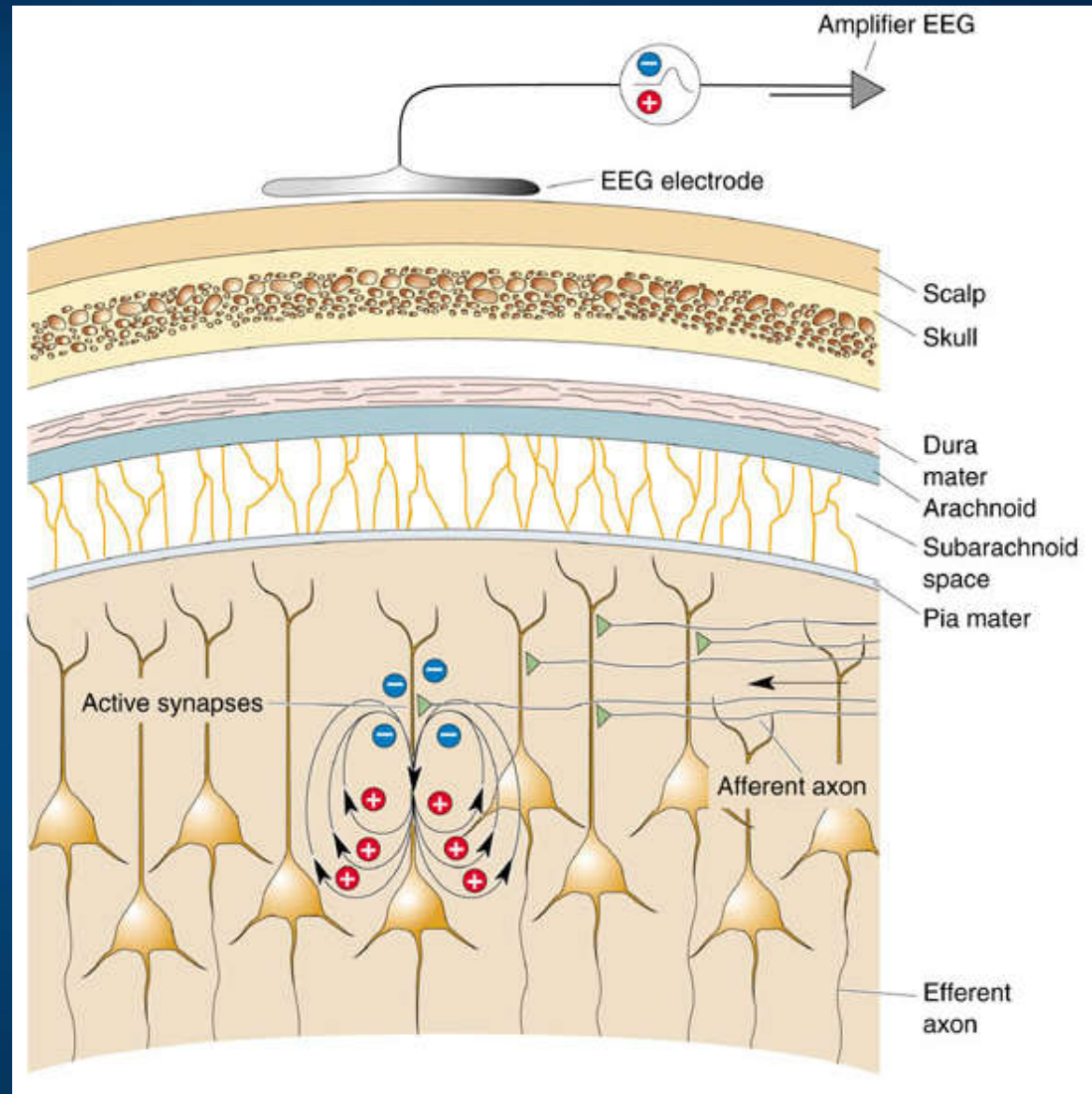
Obserwowany sygnał:

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

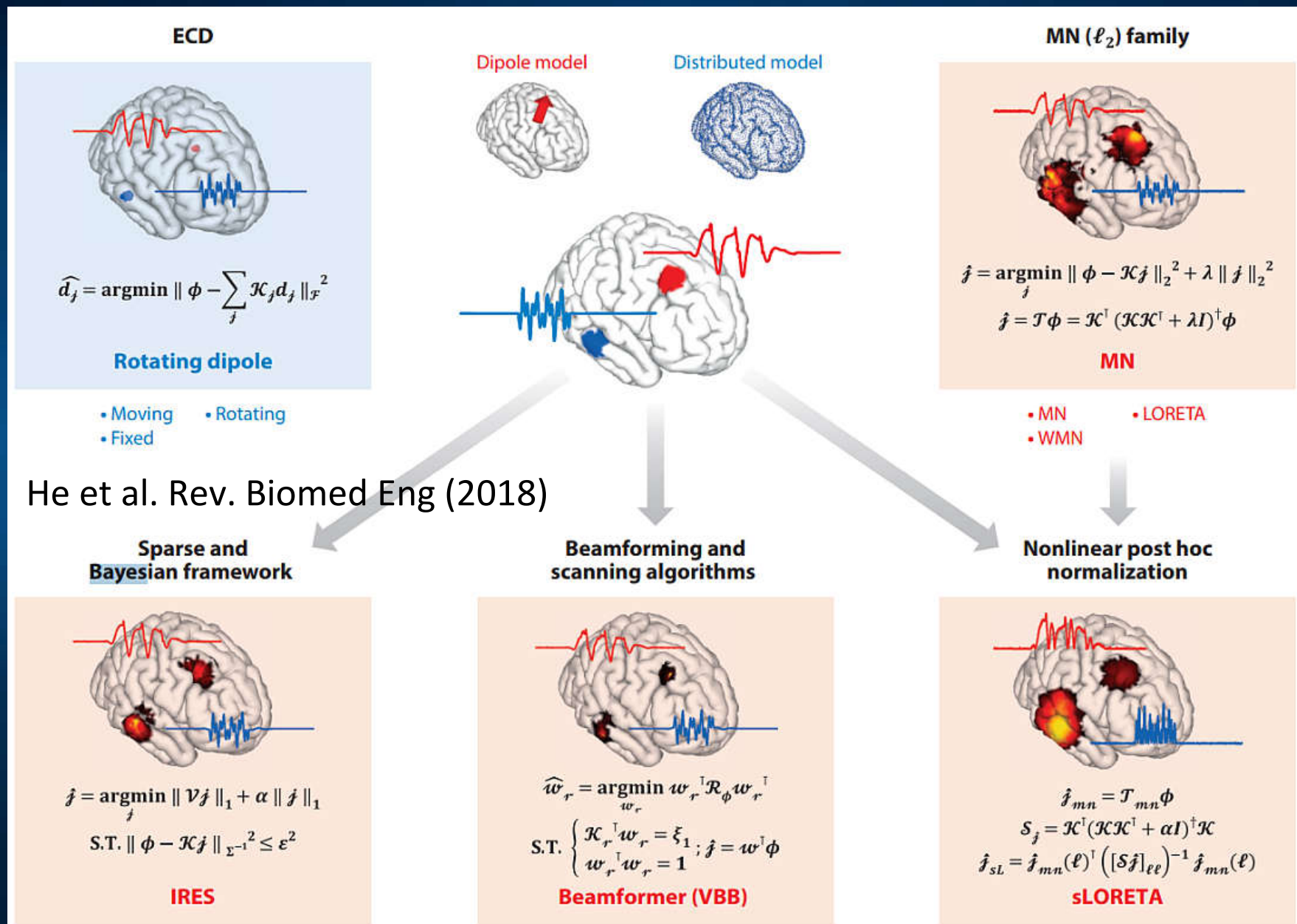
K = leadfield matrix

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

Segmentacja + rekonstrukcja
to parę dni pracy superkomp.



EEG lokalizacja i rekonstrukcja



SupFunSim

SupFunSim: nasza biblioteka/tollbox Matlaba, 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).

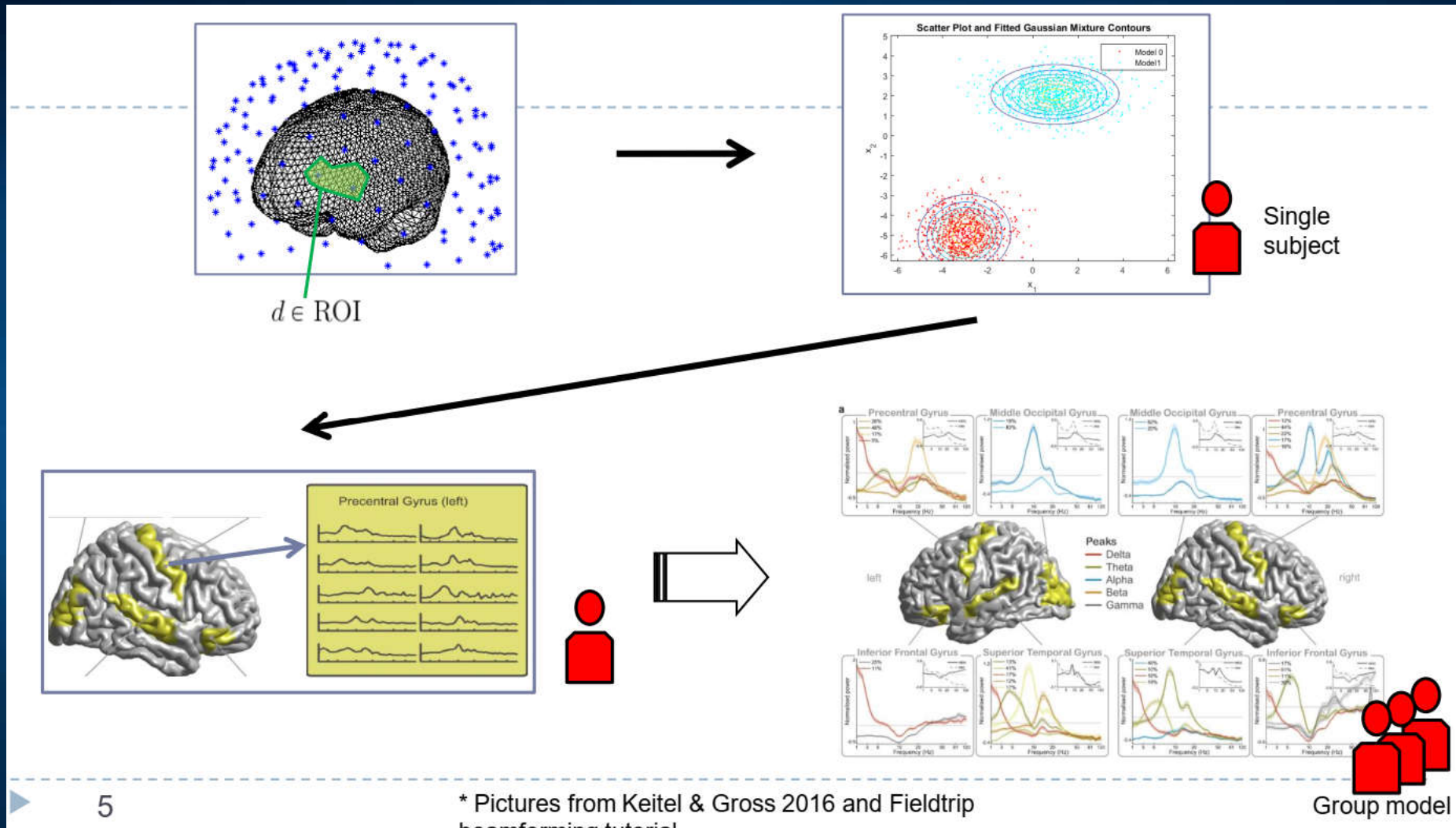
$$A := H_{Src,R} := R^{-1/2} H \quad (34)$$

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

```
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
```

Rykaczewski, K., Nikadon, J., Duch, W., & Piotrowski, T. (2019). *BioRxiv*, 618694

Spectral fingerprints: dynamika

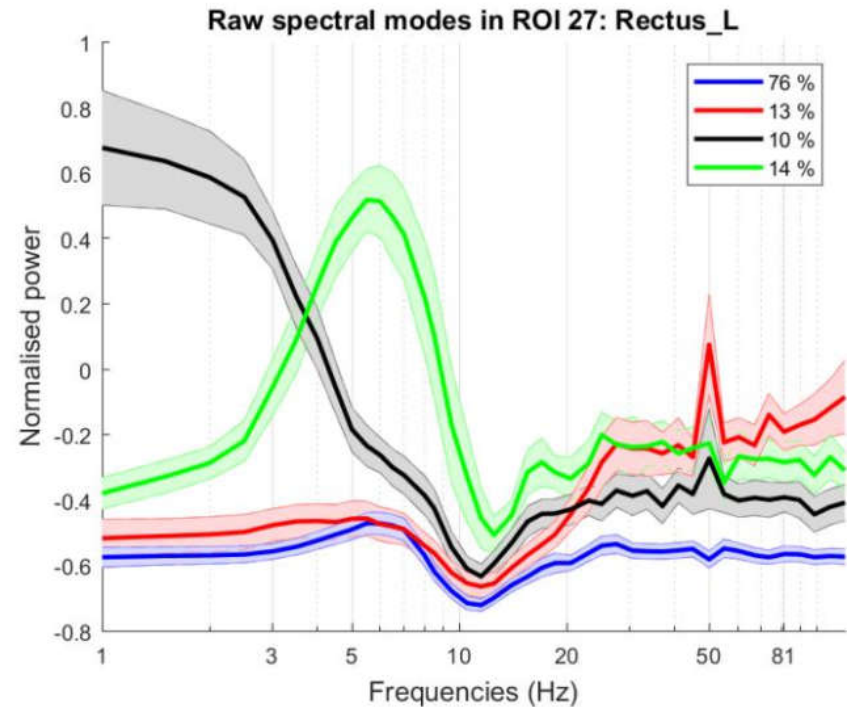
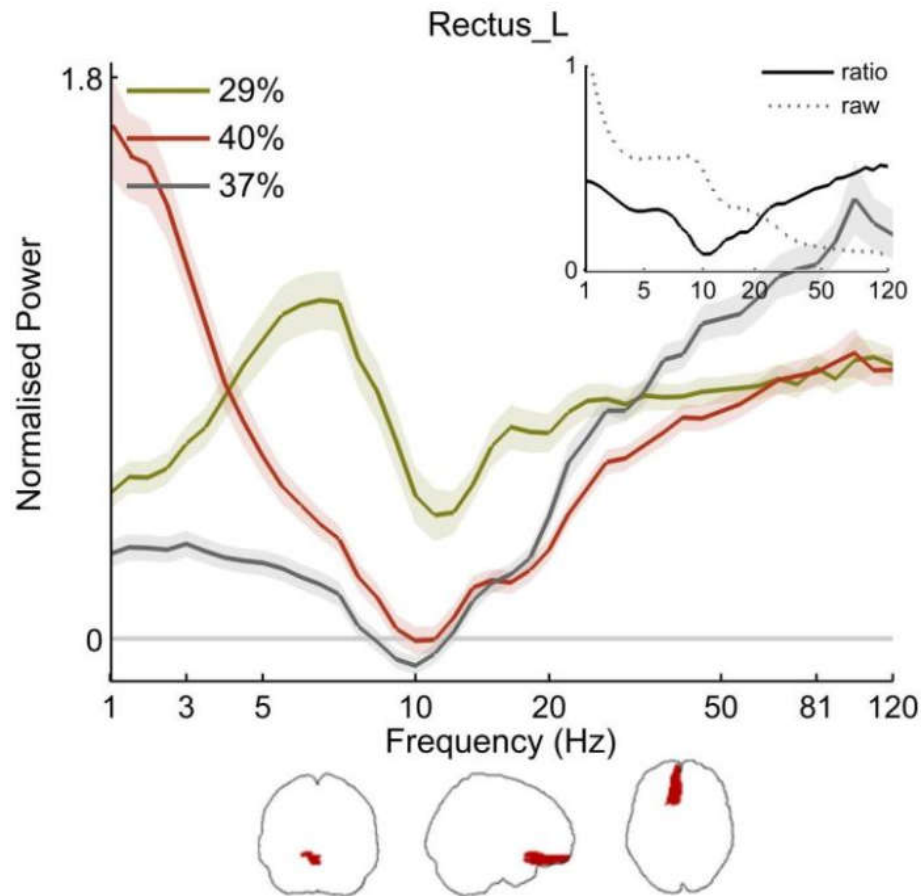


5

* Pictures from Keitel & Gross 2016 and Fieldtrip beamforming tutorial

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

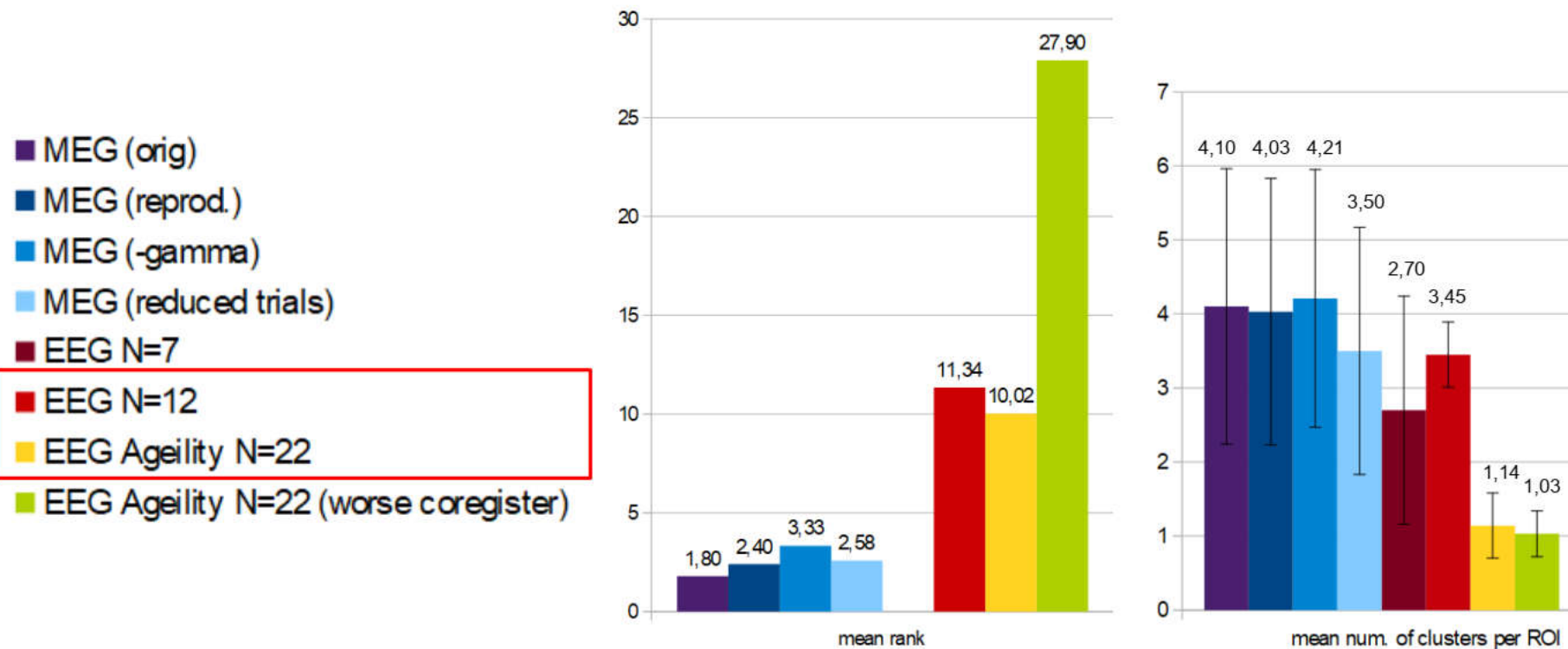
Spectral fingerprints



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

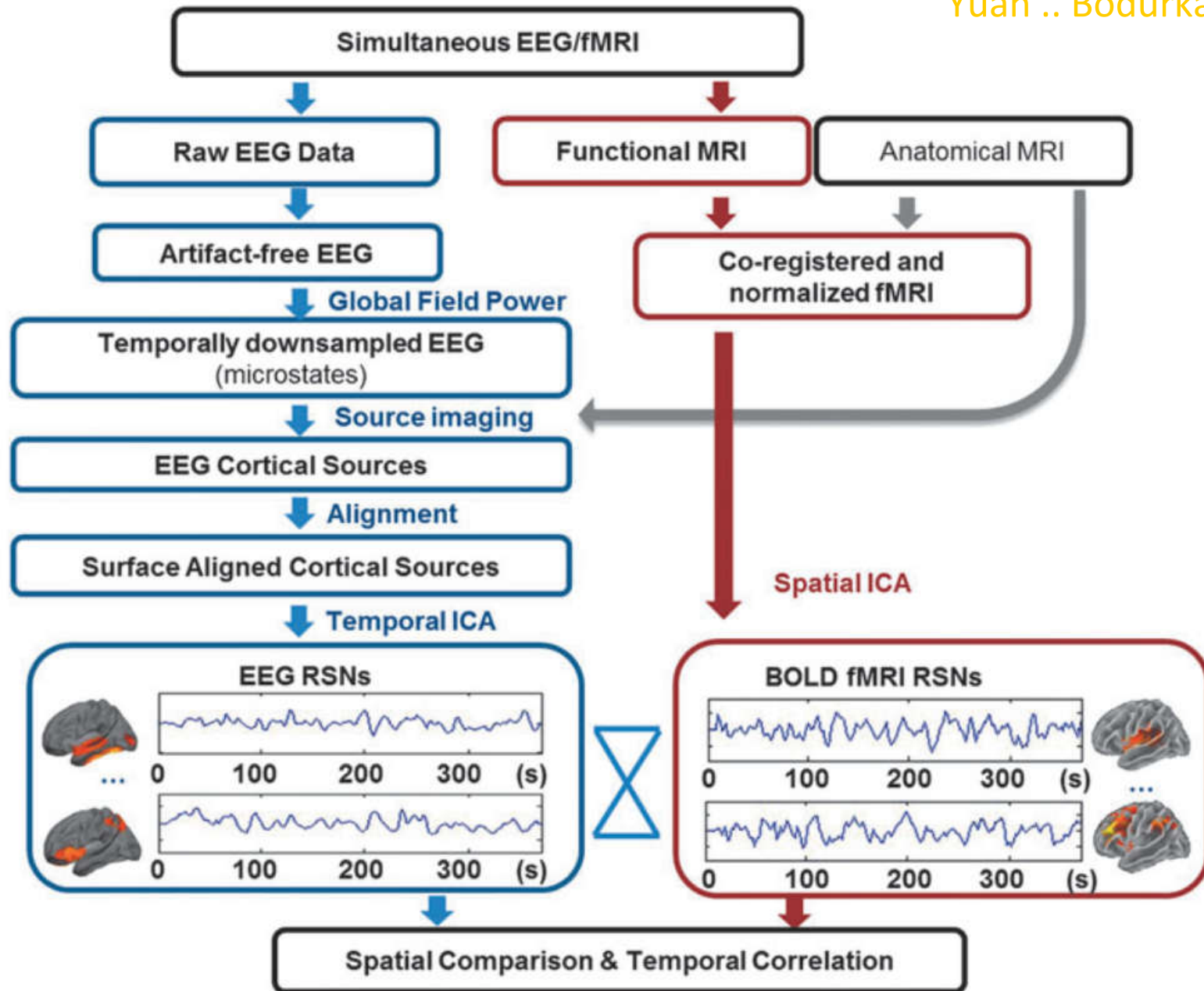
MEG-EEG preliminary comparison

Comparison between main results

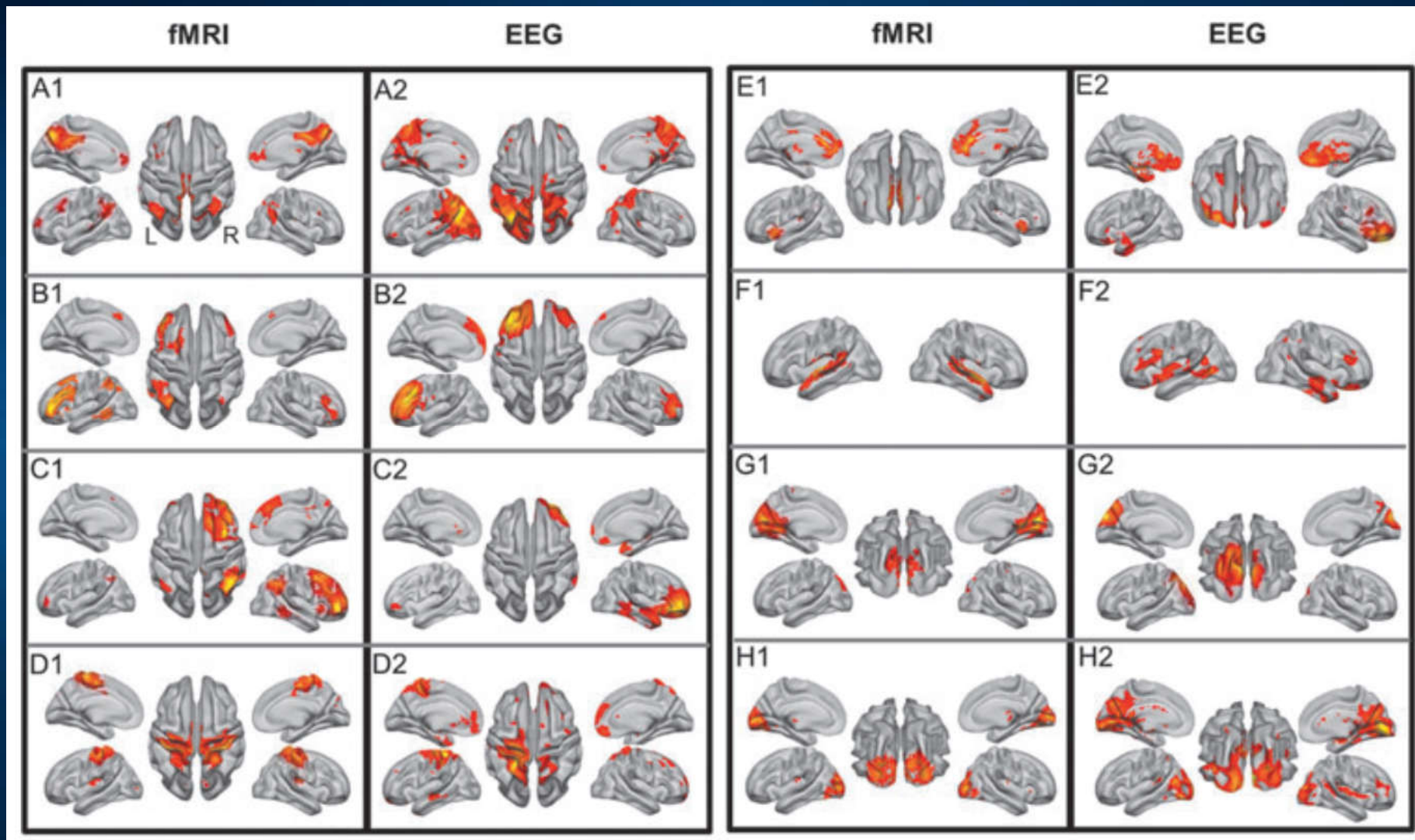


Ageility data have no information on sensor positions and results (in green) are quite poor; yellow – a bit of guessing where to place sensors on the head.

Our own experiment to collect EEG data with precise position of electrodes to enable good source reconstruction for 7 and 12 cases.



8 sieci, porównanie fMRI-EEG

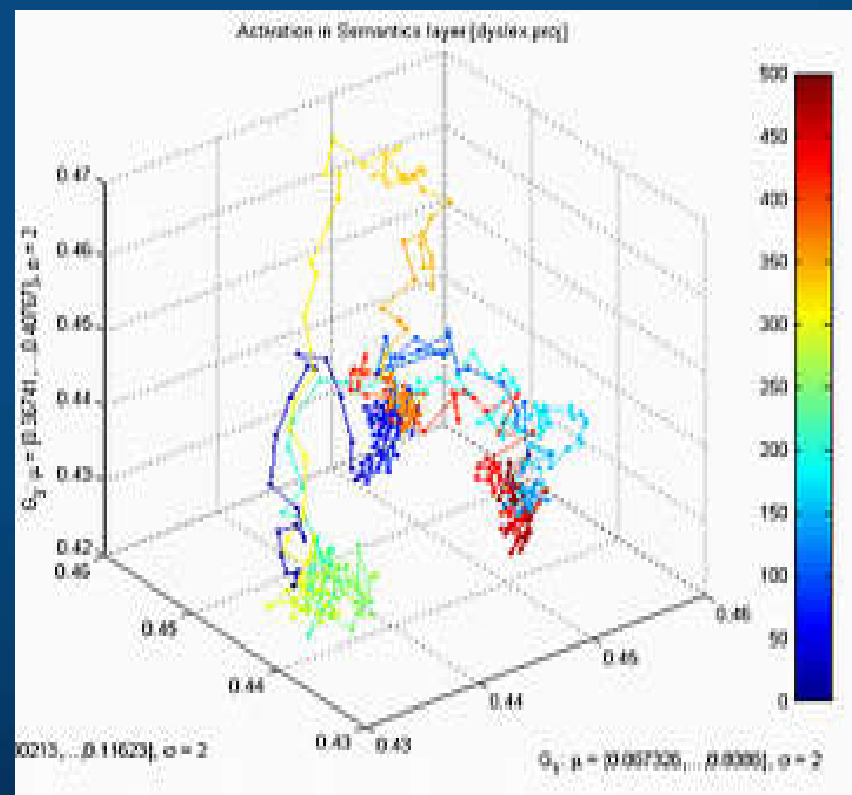
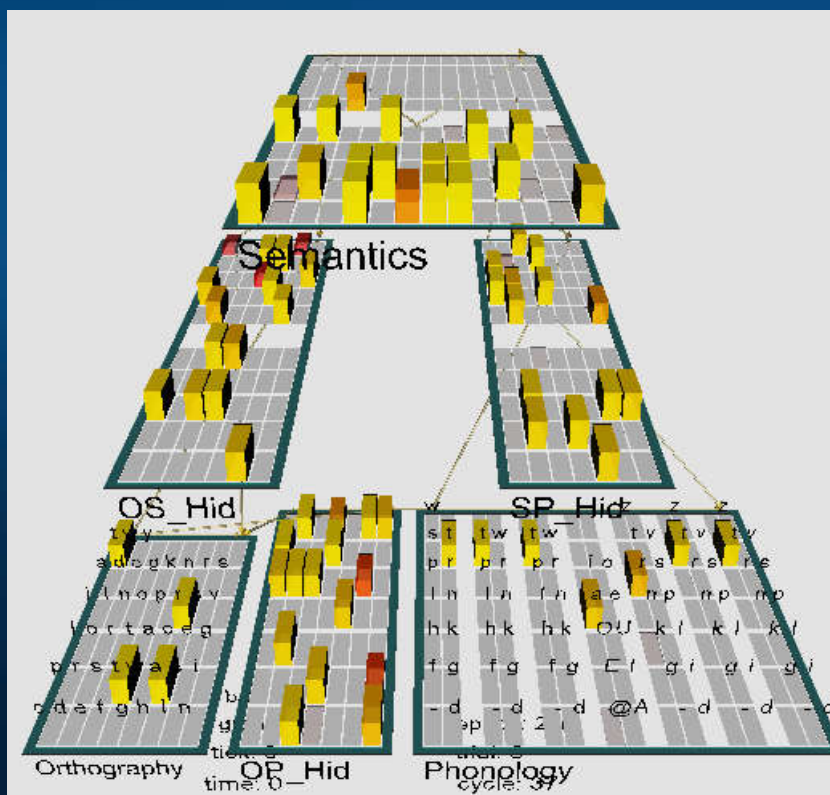


(A) DMN, (B,C) FP (frontoparietal)-left/right, (D) sensorimotor, (E) executive control, (F) auditory, (G) visual (medial), (H) visual (lateral). Ok. 150GB danych.

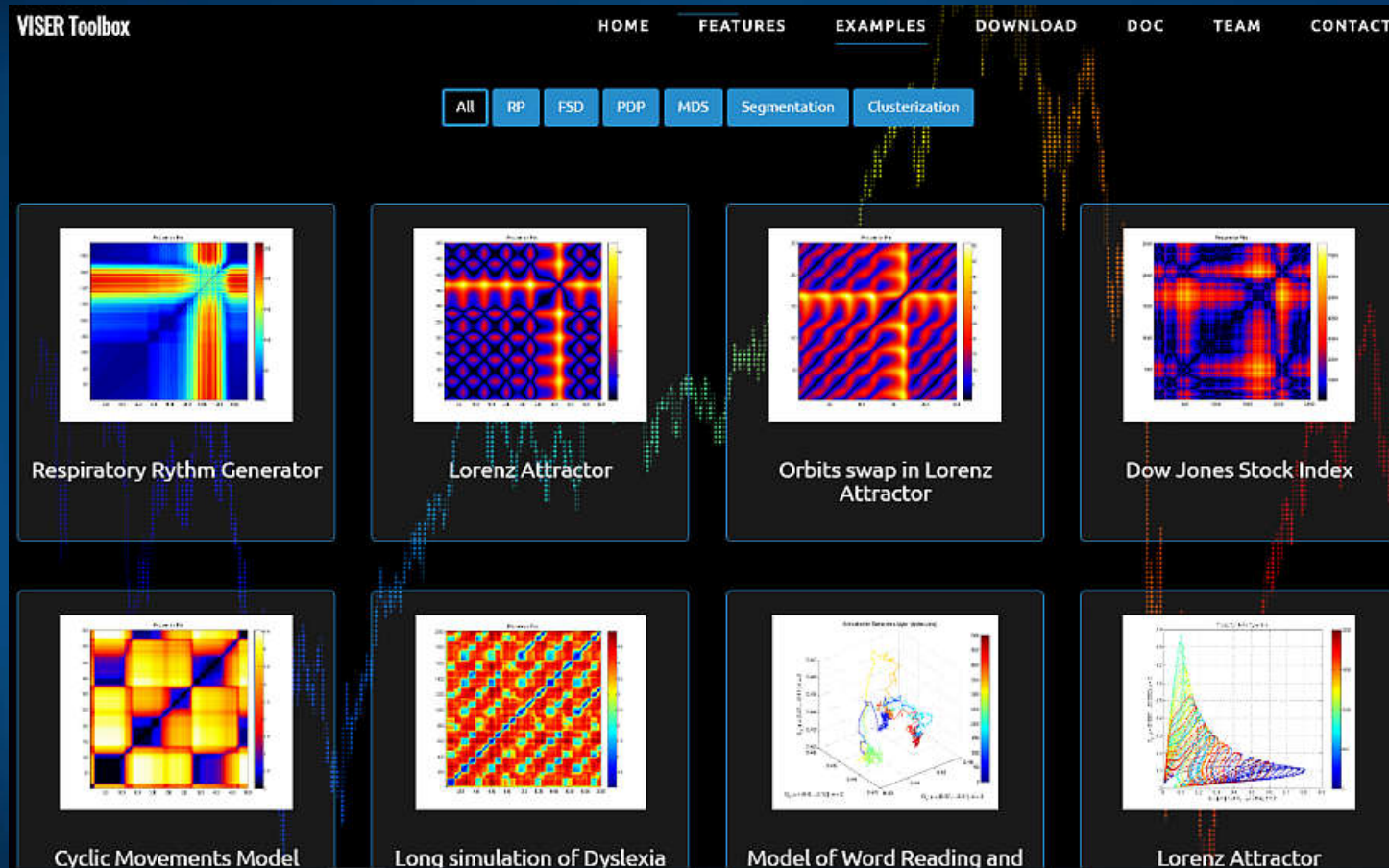
Symulacje wybranych funkcji

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).

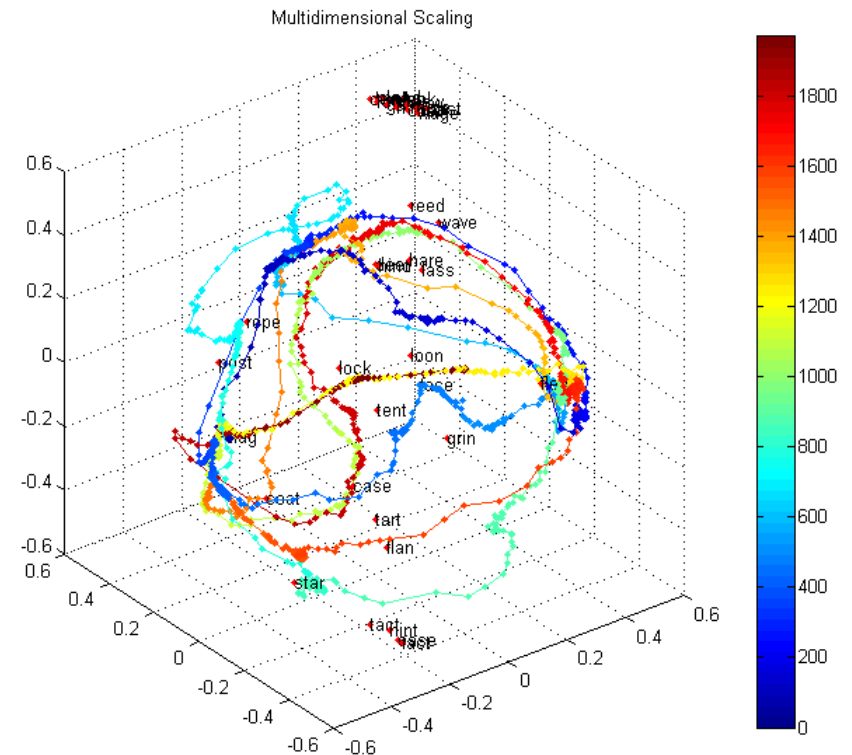
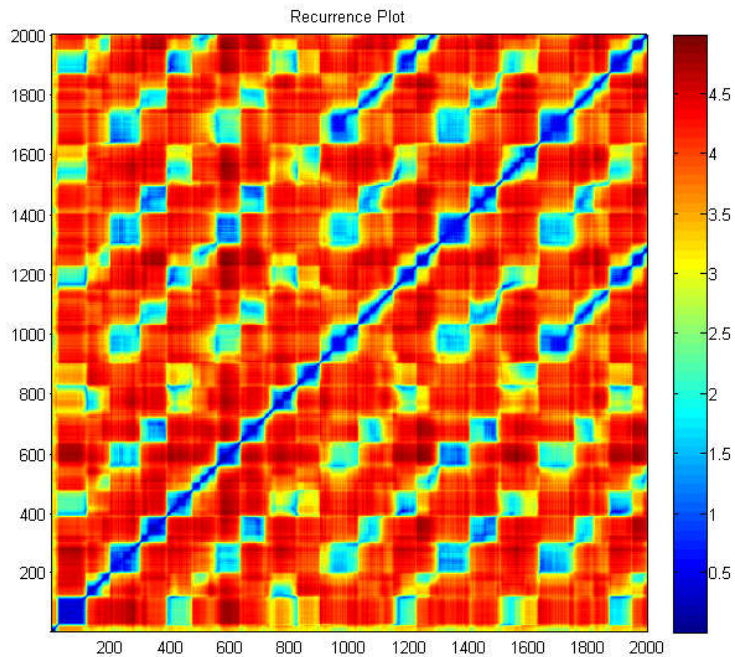


Viser toolbox



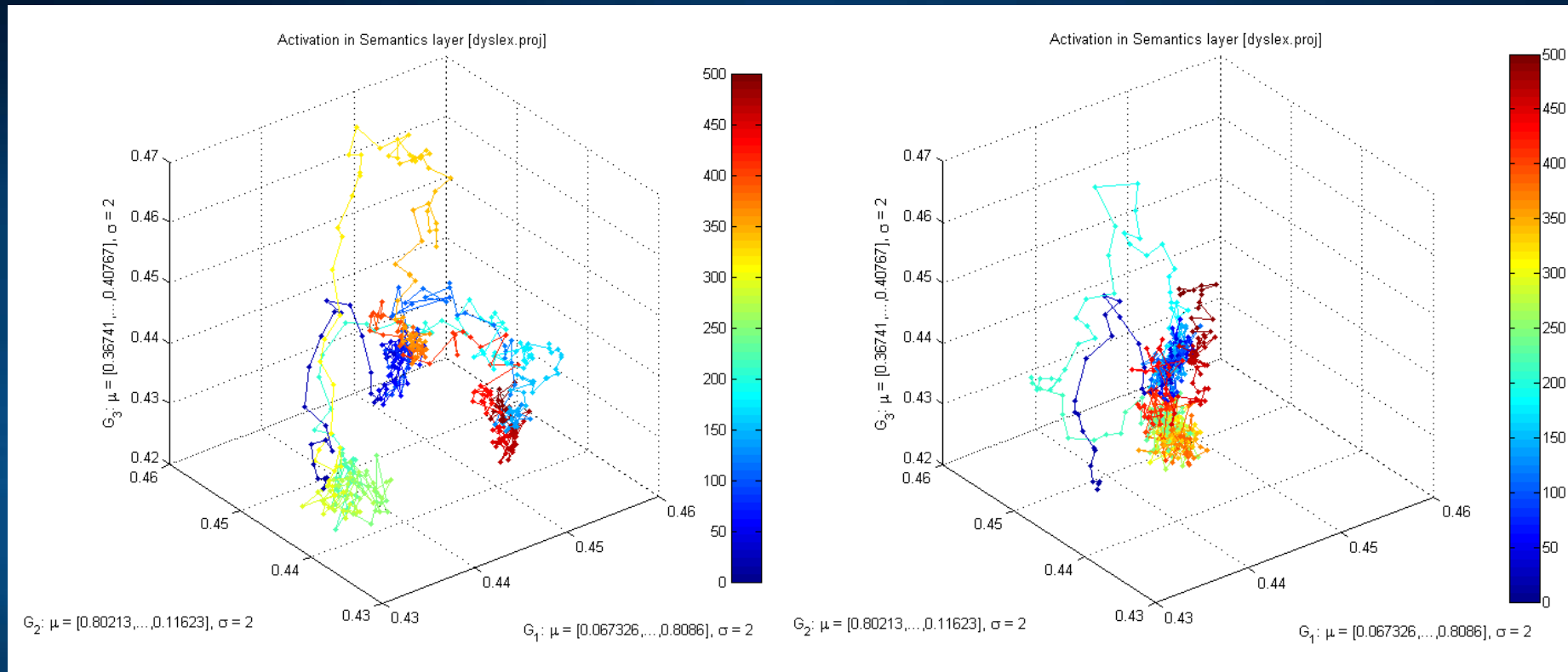
Nasz Viser toolbox (Dobosz, Duch) do wizualizacji szeregów czasowych w wielu wymiarach różnymi technikami.

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.

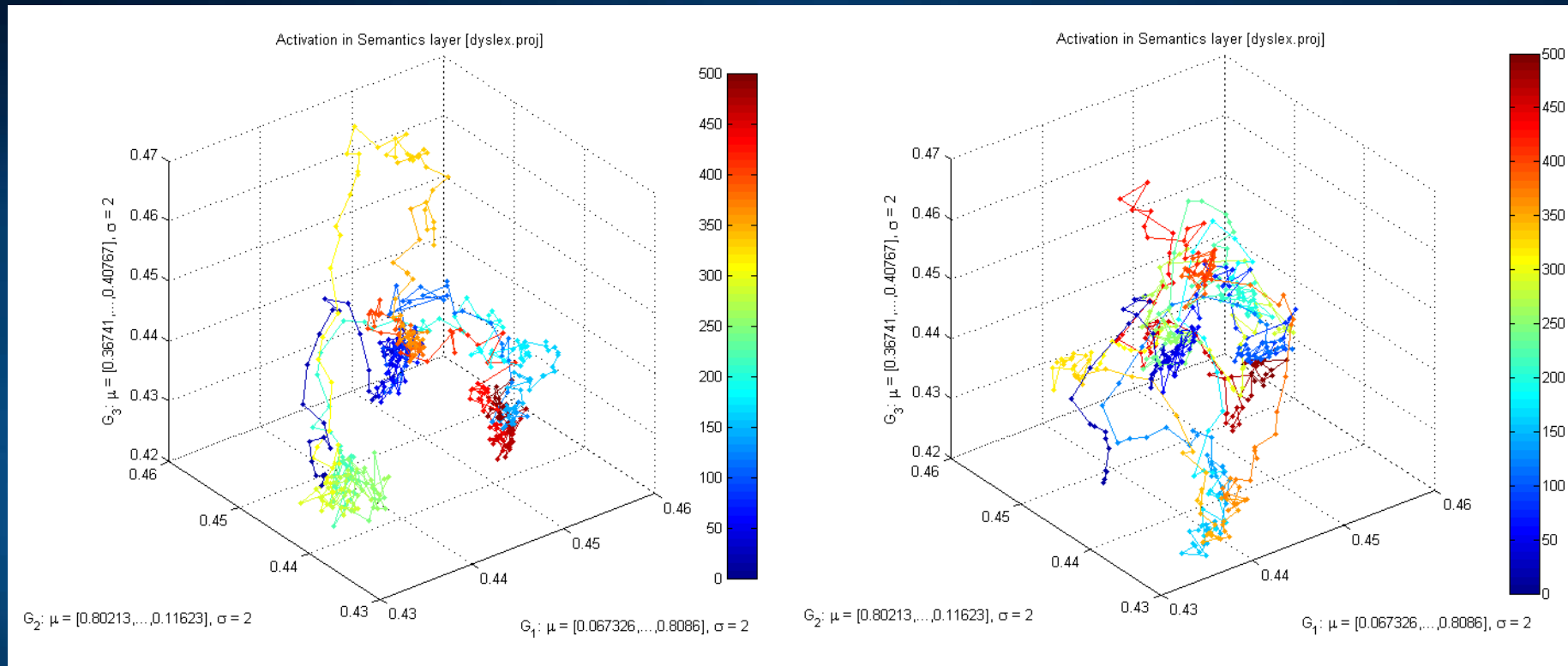
Norma-Autyzm



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

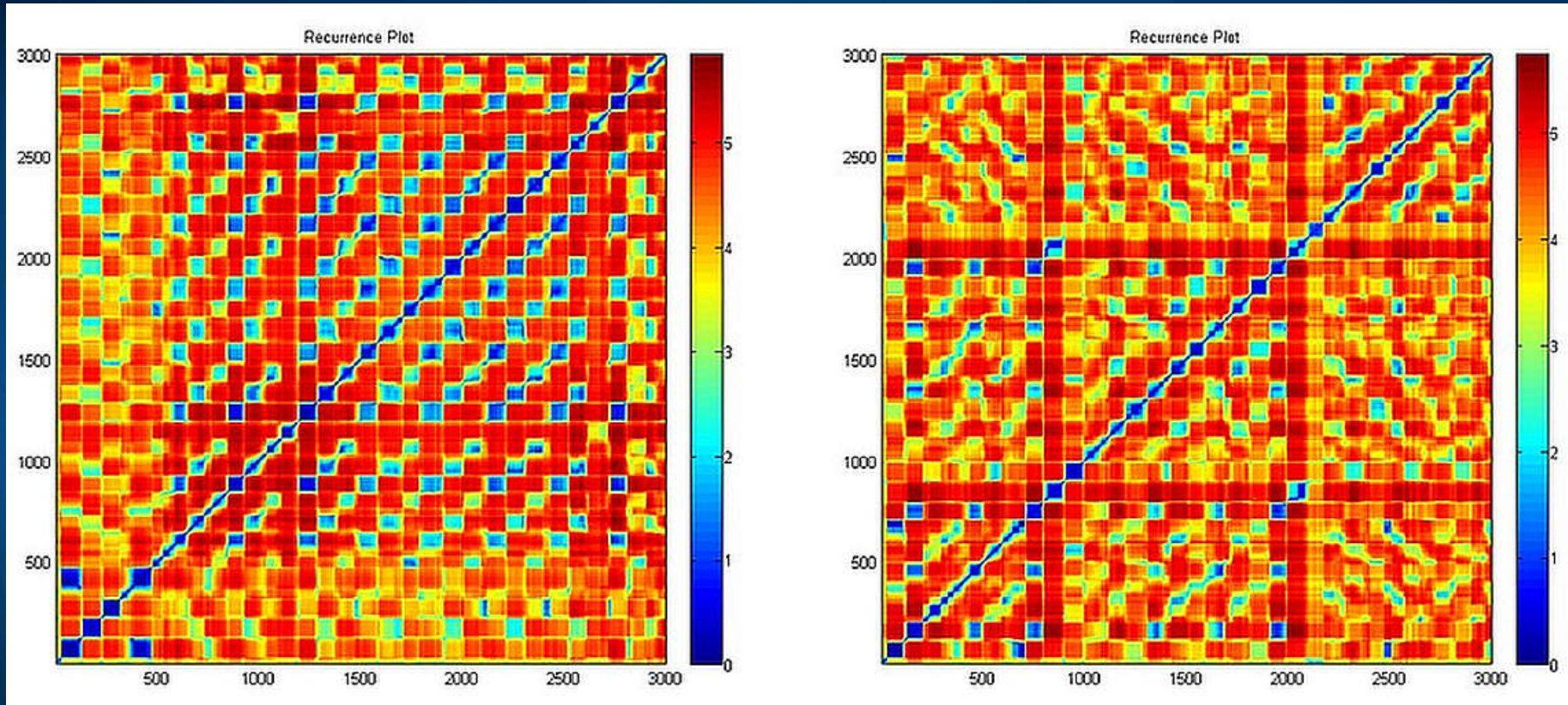


ADHD: dużo więcej i krócej trwających aktywacji wzorców, „ulotne” stany.

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

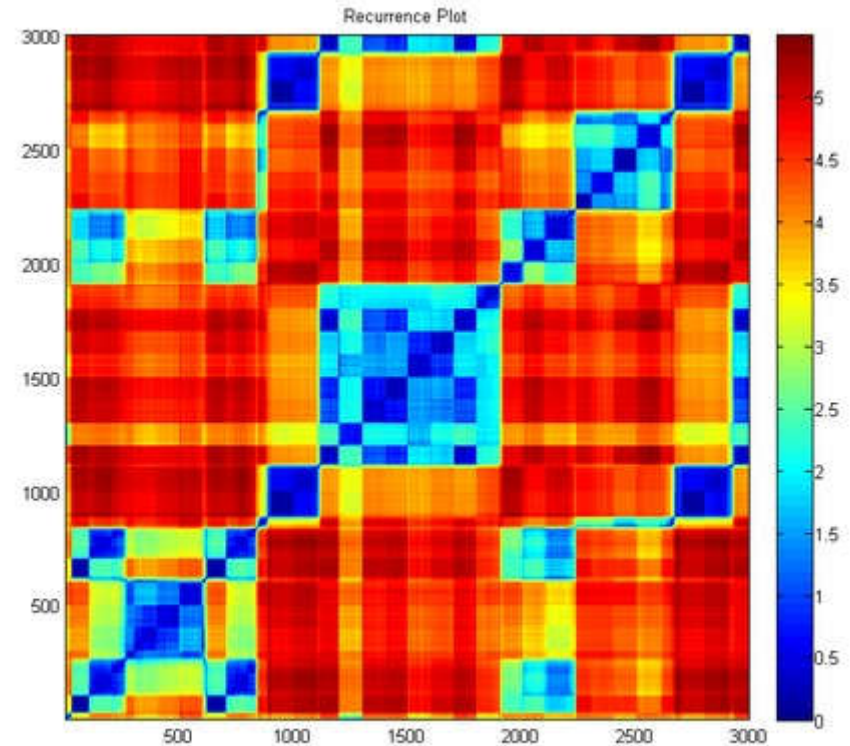
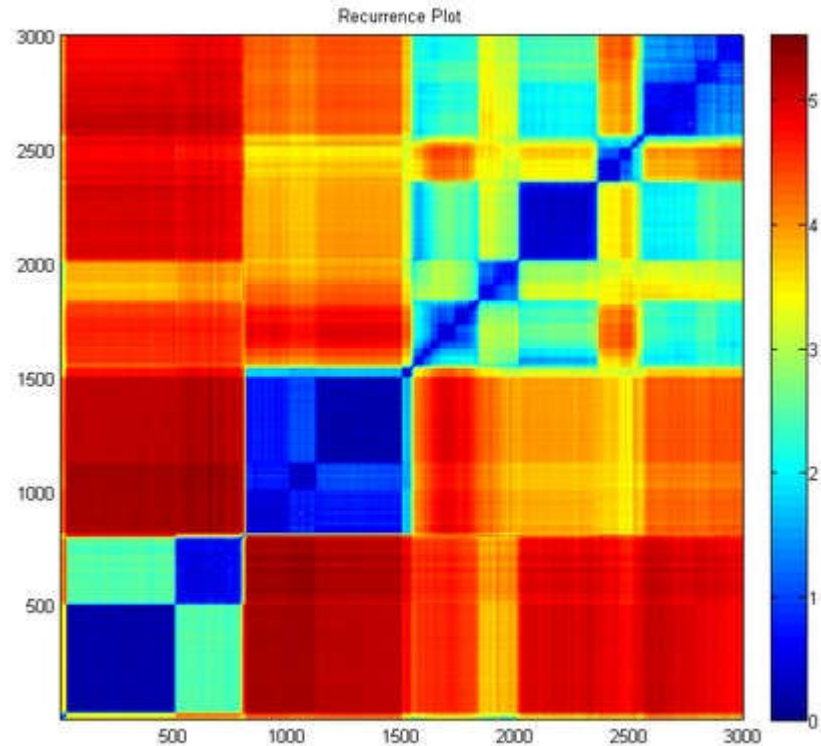


Norma

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

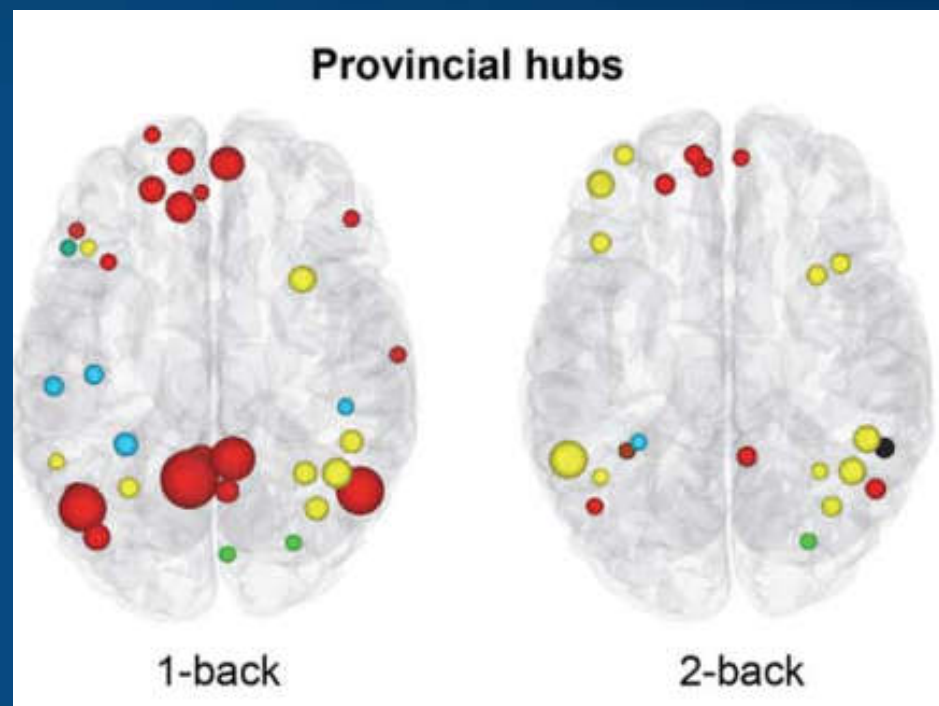
Proste i trudniejsze zadanie pokazuje jak zachodzi reorganizacja sieci całego mózgu, lokalnych hubów.

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.



Fronto-Parietal (FP)

Memory (MEM)

Somato-Motor (SOM)

Default Mode (DM)

Ventral Attention (VA)

Saliency (SA)

Cingulo-Opericular (CO)

Auditory (AU)

Subcortical (SUB)

Dorsal Attention (DA)

Visual (VIS)

Other

Modularność i procesy poznawcze

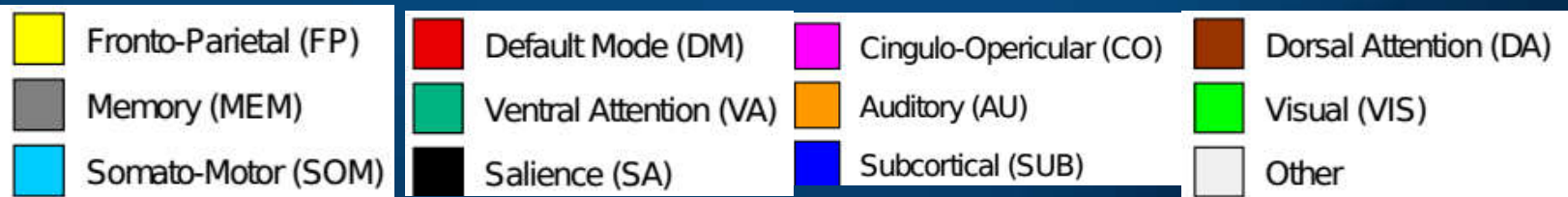
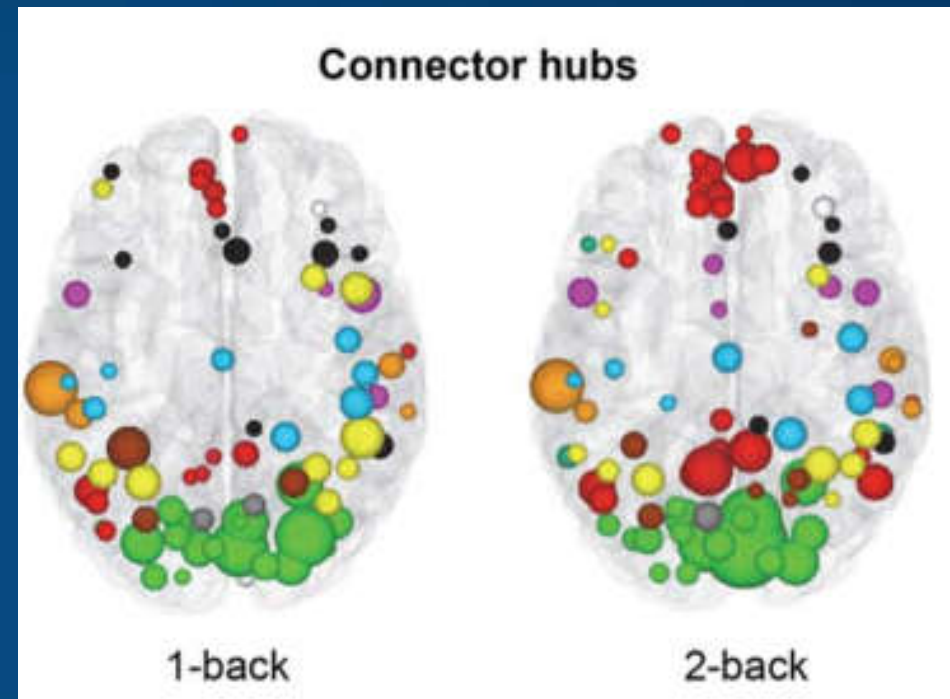
Proste i trudniejsze zadanie pokazuje jak zachodzi reorganizacja sieci całego mózgu, globalnych hubów.

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.



Wnioski



- Zaczynamy rozumieć związki pomiędzy stanami mózgu i wyobrażeniami oraz pojęciami na poziomie mentalnym ale to nadal wierzchołek góry lodowej.
- Neuroobrazowanie \Leftrightarrow modele całego mózgu (TVB) \Leftrightarrow grafy sieciowe \Leftrightarrow modele mentalne, pokazują jak $S(B) \Leftrightarrow S(M)$.
- Kluczem jest badanie neurodynamiki sieci funkcjonalnych na konektomach strukturalnych, biologicznie poprawne modele sieci neuronów i fenomenika neurokognitywna na wielu poziomach.
- Interpretacja wyników eksperymentalnych w coraz większym stopniu korzysta z modeli sieci neuronowych (CNN i sieci z rekurencją) i modeli uczenia maszynowego (reinforcement learning).
- AI/ML czerpie coraz więcej inspiracji z badań nad mózgiem.
- Nadchodzą liczne technologie neurokognitywne i systemy neuromorficzne.

Grupa neuro-fanatyków



Kongres INCF 2019



Neuro Informatics 2019



September 1-2, 2019

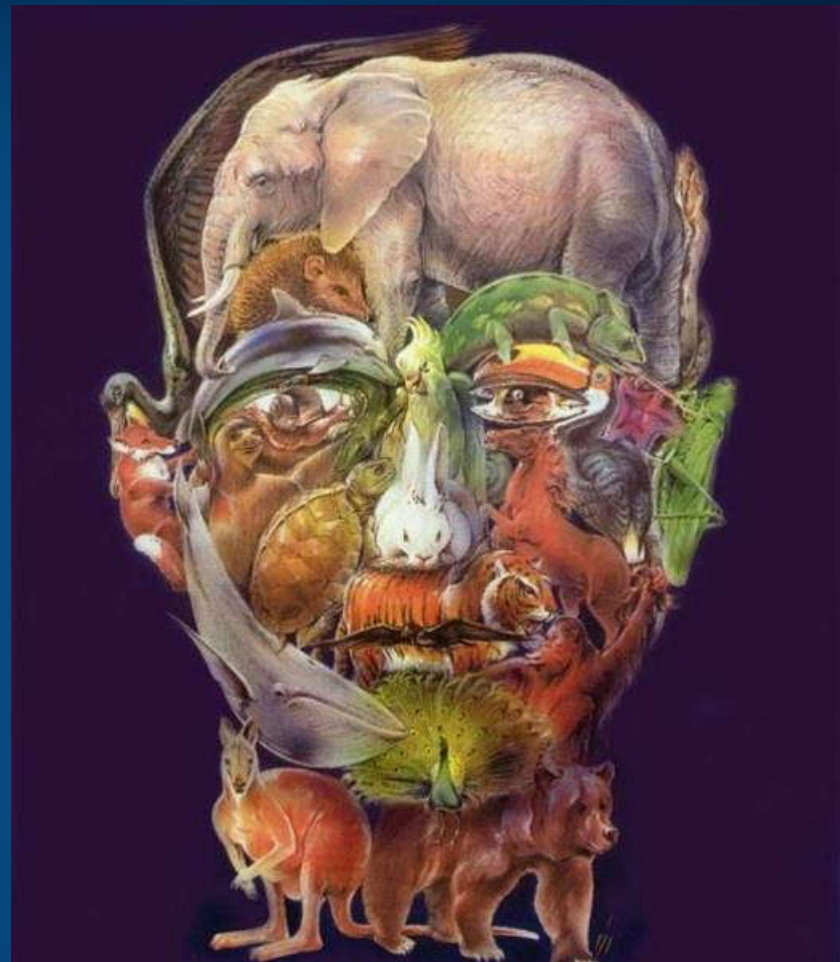
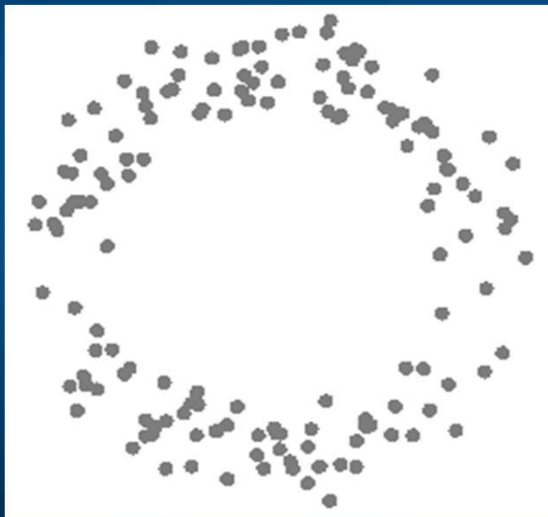


University of Warsaw,
Poland
Department of Physics

Deadline: May 31

**ABSTRACT
SUBMISSION
DEADLINE IS
EXTENDED!**

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



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

Disorders of consciousness
17-21.09.2017

Autism: science, therapies
23.05.2017

