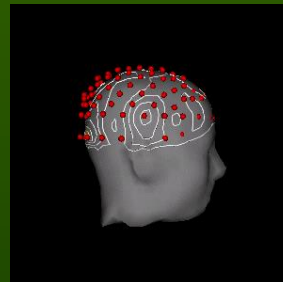




Falujące mózgi Waving brains



Włodzisław Duch

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

Falowanie – II Konferencja Katedry Obszarów Sztuki , Kraków 4/11/22

THE MOODY BLUES

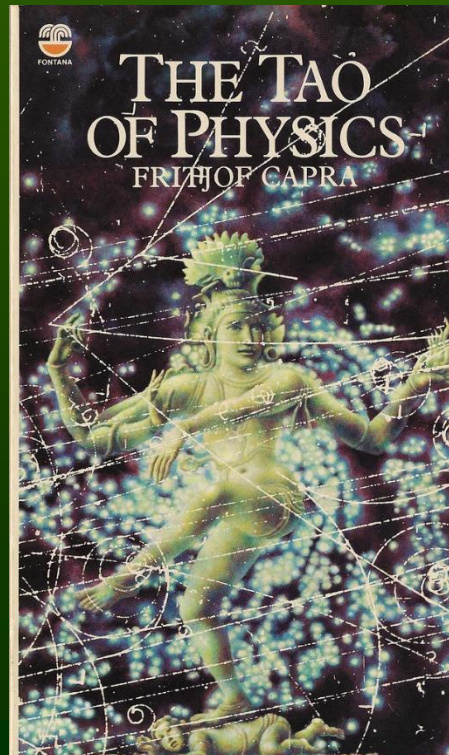
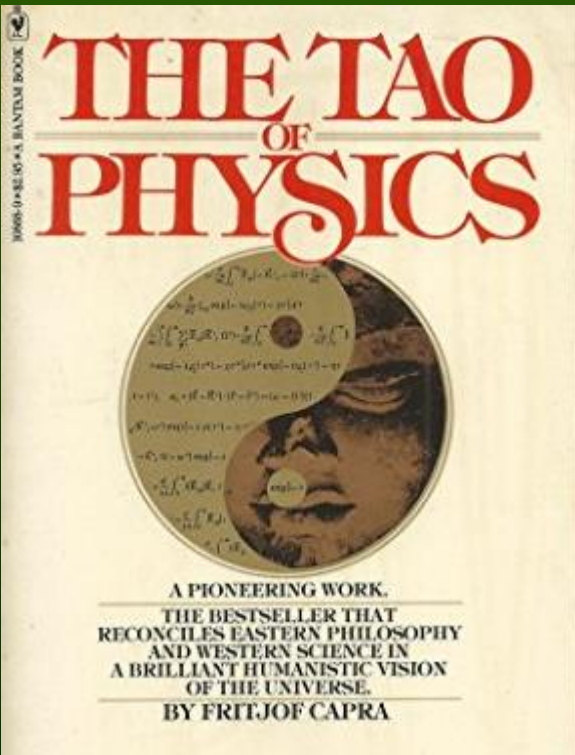
In Search of The Lost Chord



This garden universe vibrates complete.
Some we get a sound so sweet.

Vibrations reach on up to become light,
and then thru gamma, out of sight.

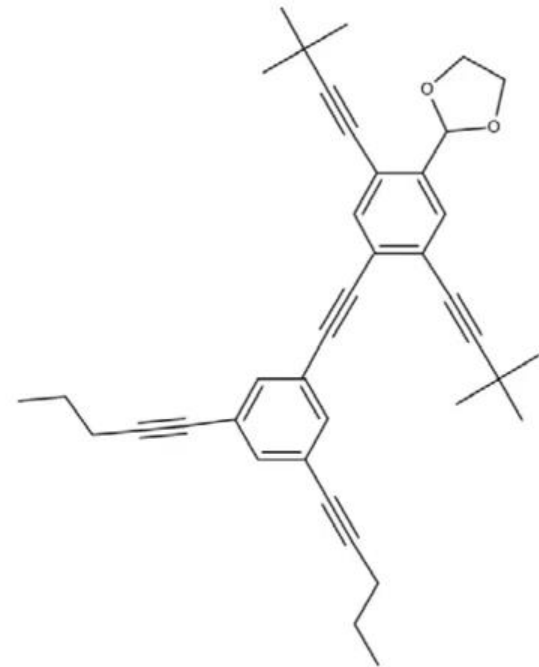
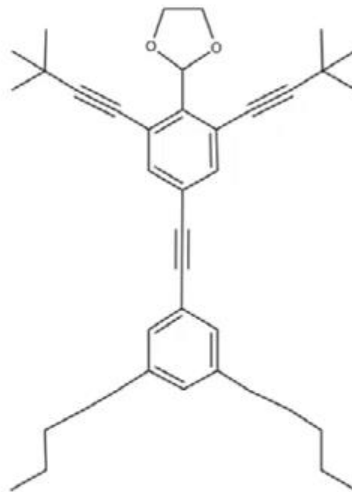
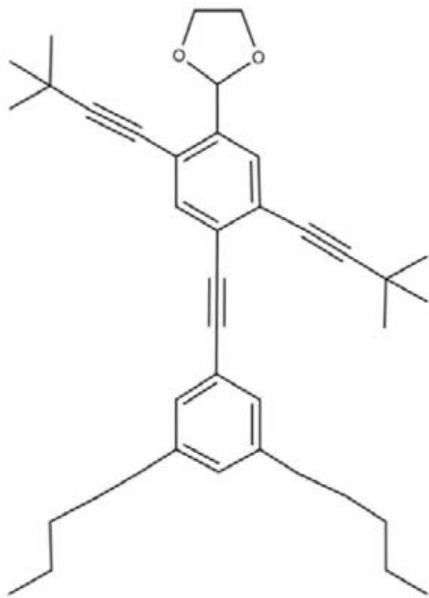
Życie to wibracje, proces dynamiczny.



Wibracje molekuł

Wszystkie cząsteczki chemiczne drgają i się obracają. Ciepło = wibracje.

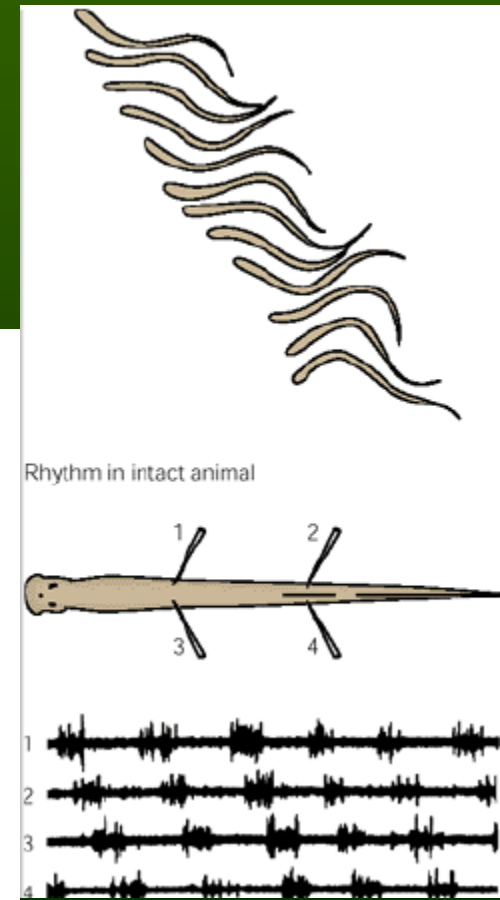
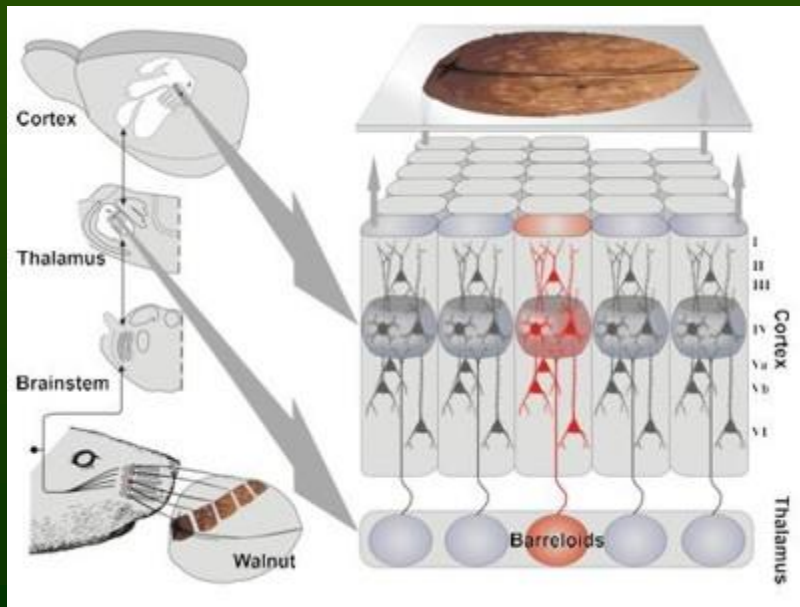
Nanoputians – syntetyczne molekuly, mają miliardowe części metra.



Rytm i ruch

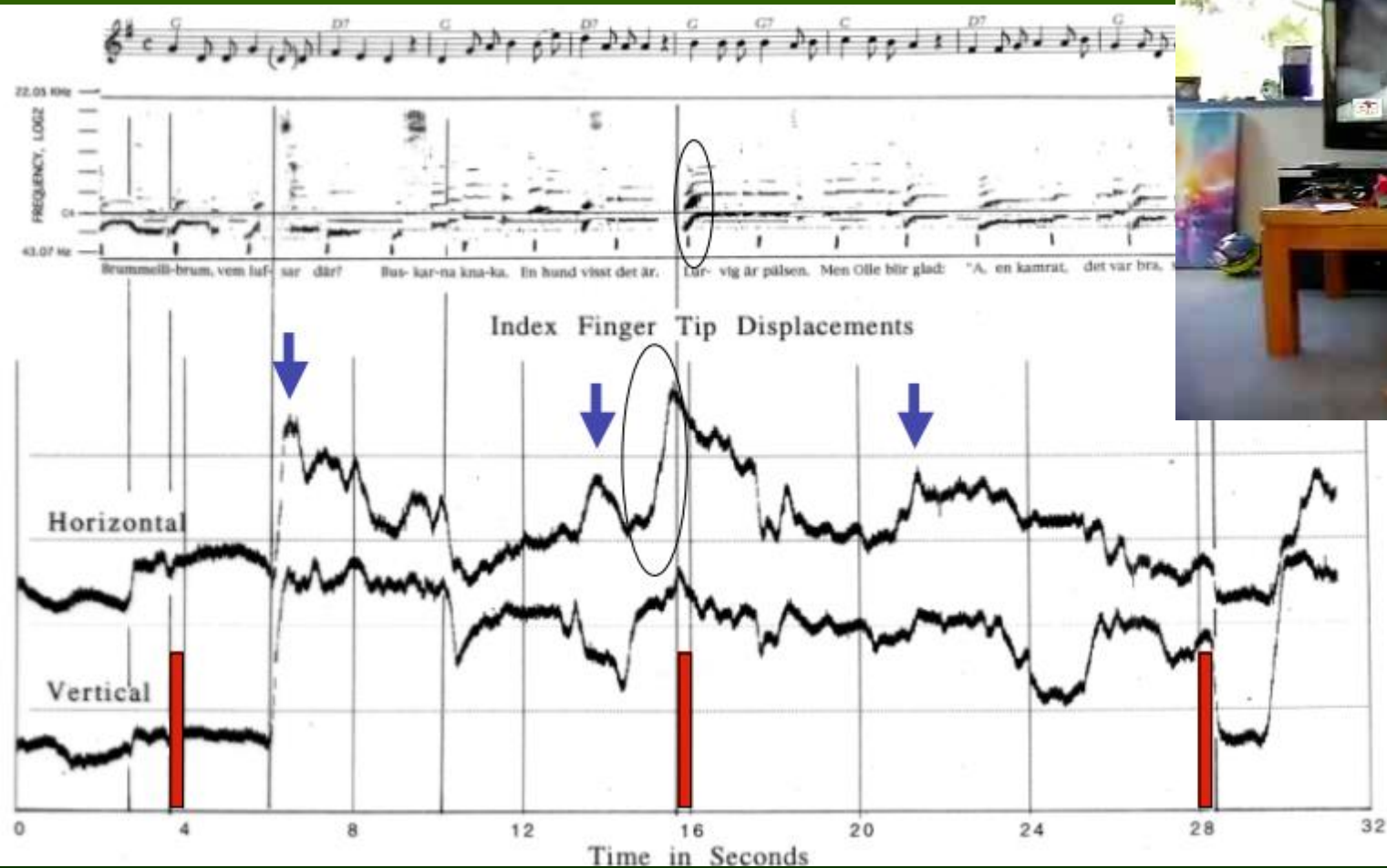
- Ruchy węzowate, minogi, węgorki: centralne generatory rytmu (CGR), pozwalające na wicie, ssaki mają je w rdzeniu kręgowym.
- Ruchy rytmiczne związane są z oddychaniem, biciem serca, połykaniem, poruszaniem czułkami – nie potrzebują ciągłej kontroli.
- Ruchy salamandry czy aligatora: więcej CGR, bardziej skomplikowane ruchy i złożona synchronizacja.
- To jest prawdopodobna podstawa rozwoju pamięci.

Nasze mózgi to zbiór bardzo wielu oscylacji/rytmów!



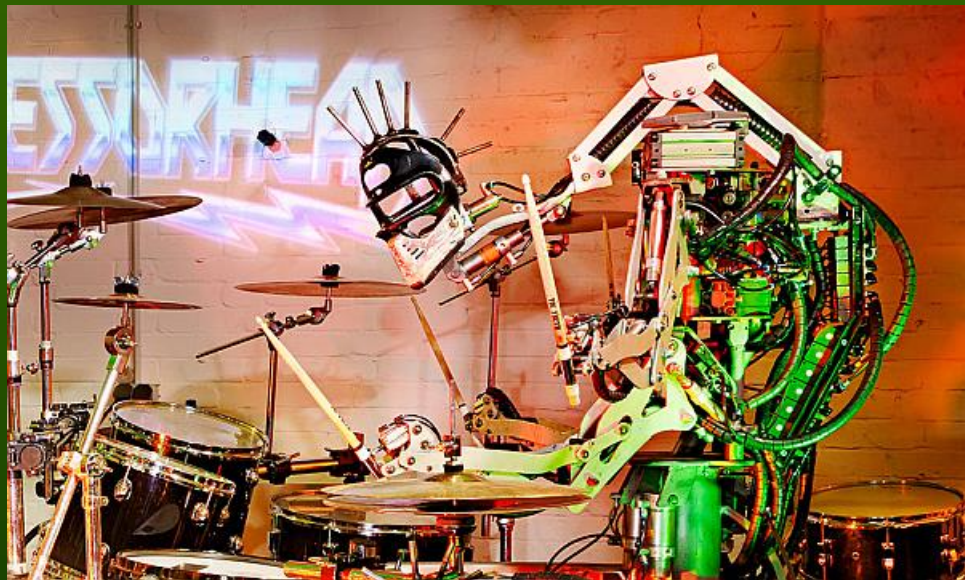
Niemowleta

Colwyn Trevarthen, Edynburg: dzieci dyrygują!



Co tu zrobić z dodatkową ręką?

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



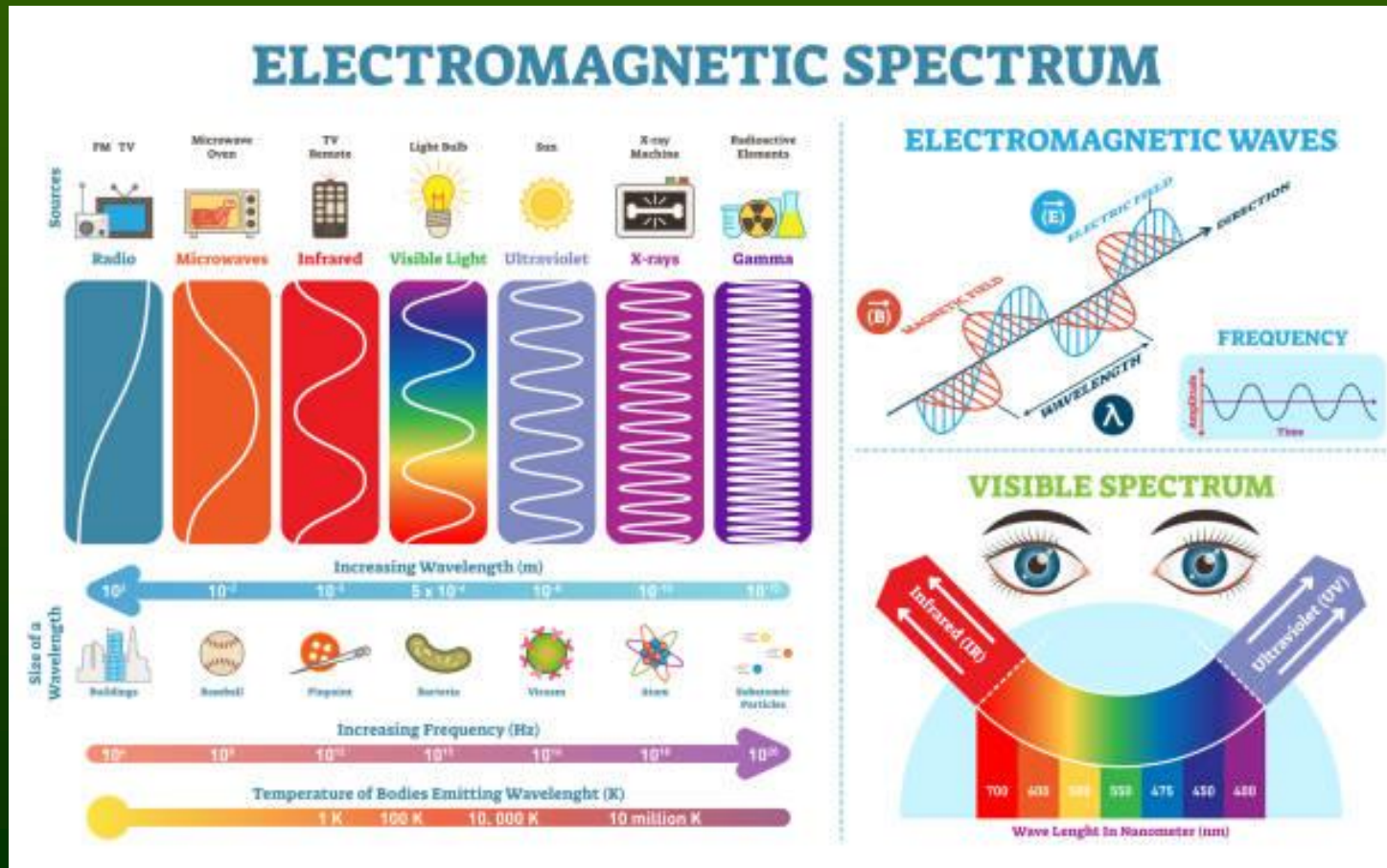
A gdybym był robotem to bym dopiero zagrał ...
Grupa robotów [Compressorhead](#) jeździ na tourne po świecie.

Transdukcja

Wolne wibracje: dotyk i słuch - ciśnienie powietrza: 0 – 200 000 Hz
węch, smak - stężenie molekuł, 1- 100 Hz.

Wzrok: 400-800 THz = 400-800 tysięcy miliardów oscylacji/sek.

Mózg: zamiana fizycznych bodźców na impulsy, 0-1000 sek.



Psychofizyka słuchu



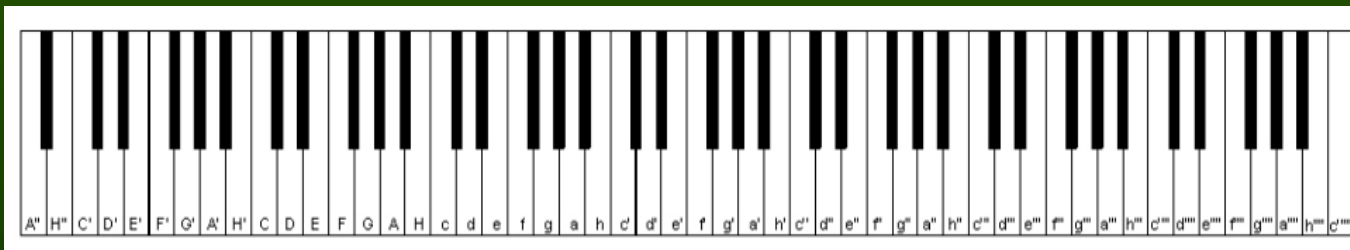
Topofon

Telecepcja: wzrok i słuch, reakcje na odległe zdarzenia, zmiany.
Słuch: działa w ciemności, odbiera sygnały z dowolnego kierunku.

Fala dźwiękowa w powietrzu: 343 m/sek, czyli $343 \text{ Hz} = 1 \text{ m}$,
3430 Hz to fala 10 cm, dźwięki o częstotliwościach 10 kHz
mają długość fali 3.4 cm, a 20 kHz około 1.7 cm.

Najwyższy dźwięk fortepianu to C5, ma 4186 Hz, to fala o długości 8.2 cm.

Muzyka: zamieniamy przestrzeń na wibracje i aktywacje mózgu.



Przy 1000 Hz słyszymy różnice rzędu 1 Hz.

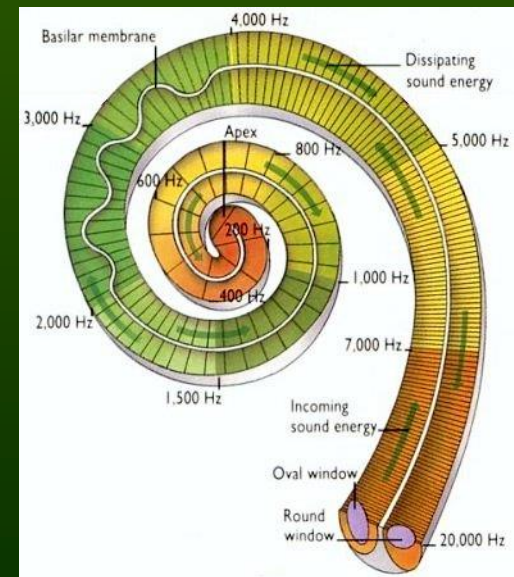
Duże, ruchome, pomarszczone uszy przydają się do polowania
i unikania niebezpieczeństw.

Psy słyszą do 65 kHz, nietoperze do 200 kHz (ok. 1.7 mm).

Słuch bez uszu?

Słyszenie kostne – wibracje pobudzają błonę/endolimfę.

Implanty ślimakowe – pobudzają nerw słuchowy, 8-20, a nawet 120 elektrod, pozwalają na percepcję i naukę muzyki – jak można zobaczyć na festiwalach muzyków z implantami „Ślimakowe rytmy,” organizowanych w Warszawie przez Instytut Fizjologii i Patologii Słuchu w Kajetanach.



Wibracyjne kamizelki

Sound Shirt, ubranie podłączone do systemu komputerowego odbiera sygnały audio z mikrofonów i przetwarza je na wibracje dostarczane przez małe silniczki umieszczone wokół całej kamizelki. Wysokie dźwięki skrzypiec wibrują w rękawach, niskie dźwięki kontrabasów na wysokości pasa.

Niemiecka orkiestra, Jungen Symphoniker Hamburg, organizuje koncerty dla osób niesłyszących, które "czują" muzykę za pomocą Sound Shirts.

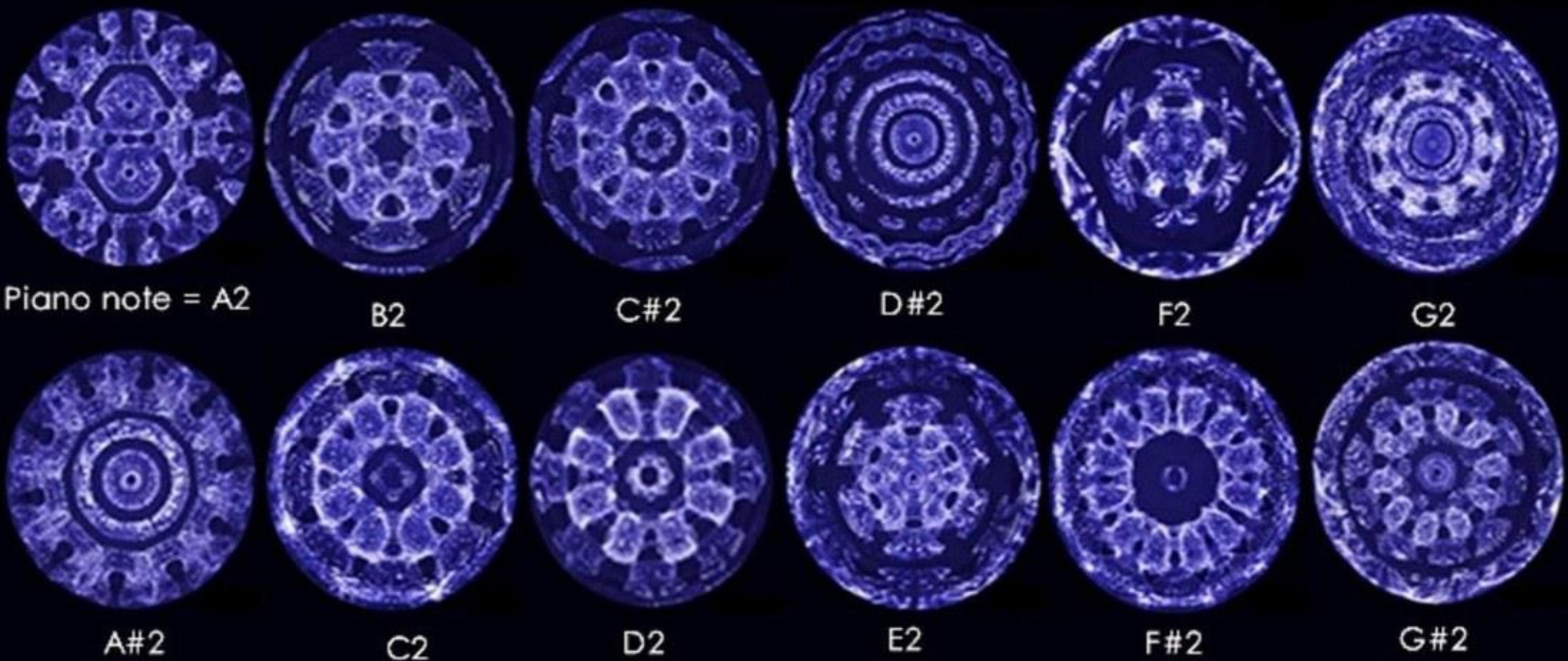
Beethoven miał trąbkę do ucha.



Cymatyka: dźwięki => obrazy

Geometria dźwięku jest skomplikowana. Jednym ze sposobów by ją ujawnić są krzywe Lissajou, figury Chladniego, oraz Cymatyka. [Przykłady z Cymascope](#).

Wibracje w mózgu są znacznie bardziej skomplikowane, wielowymiarowe.



Substytucja zmysłów

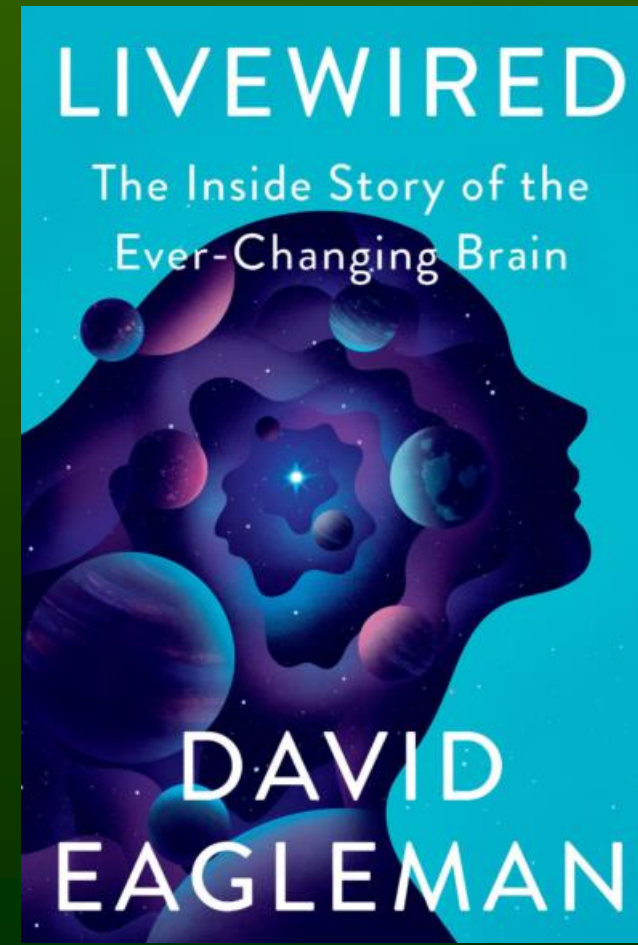
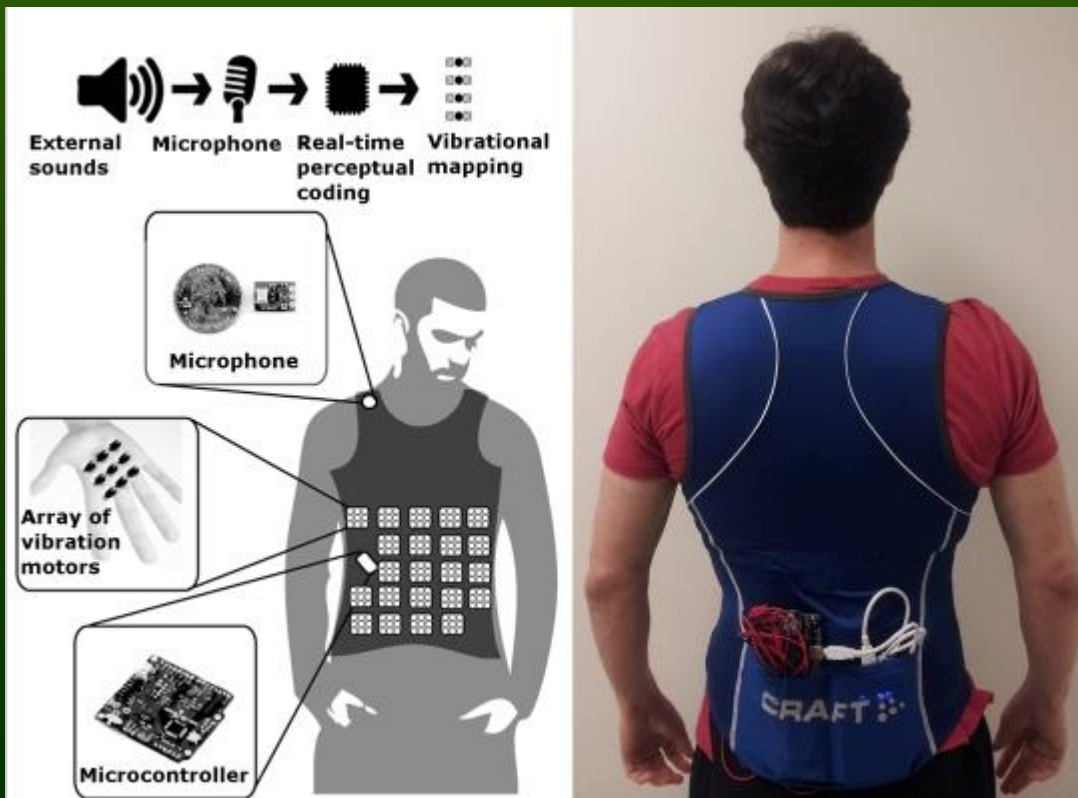
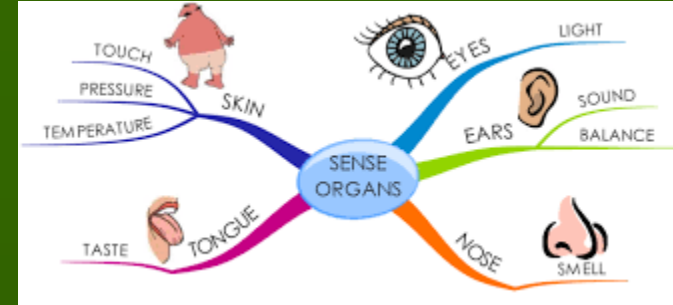
Namiastka synestezji.

Słuchowa => wzrokowa, dotykowa => wzrokowa,
wzrokowa => słuchowa, przedsionkowa.

Stymulacja wibrotaktylna: zmiana dźwięku na wibracje na skórze lub języku.

Patent na syntezytor organów zmysłów.

Sygnal magnetyczny=>wibrotaktylny, nowy zmysł.



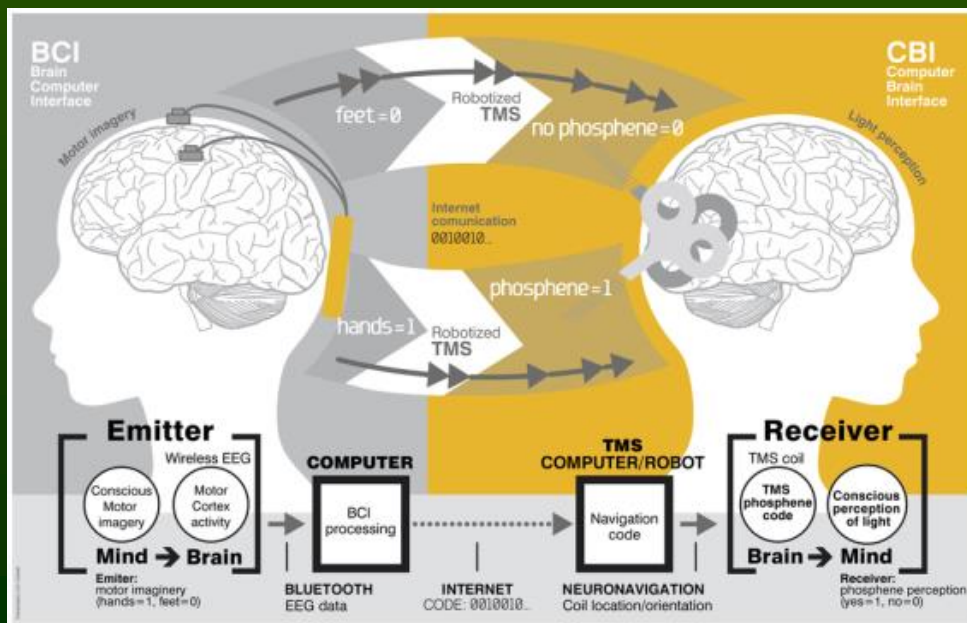
Aktywacja kory

Patent Sony na bezpośrednie przesyłanie multimedialnych sygnałów do mózgu.

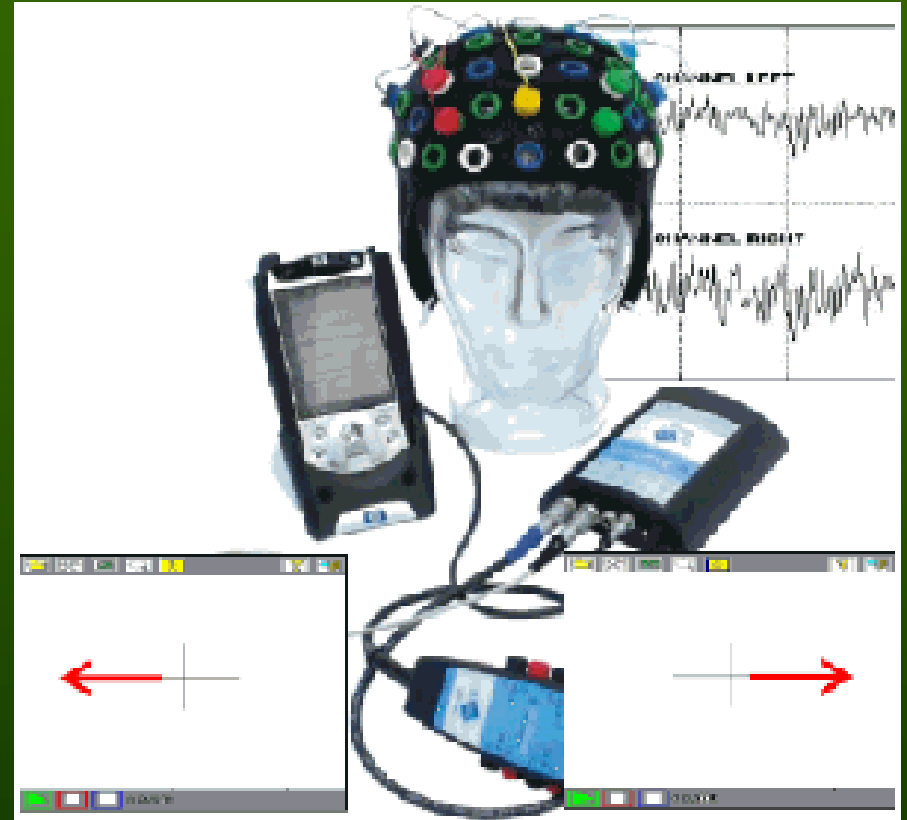
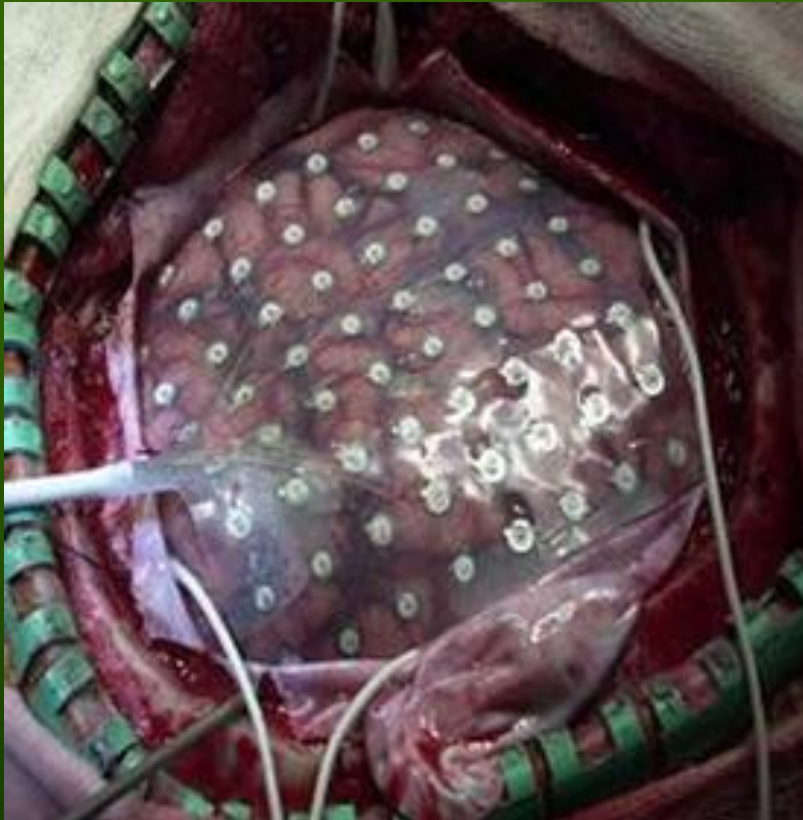
Patent USA 6536440 B1: Metoda i system do generowania danych sensorycznych w ludzkiej korze neuronowej.

Powinno to umożliwić „doświadczenia zmysłowe” poprzez wysyłanie impulsów ultradźwiękowych do kory, aby zmodyfikować wzorce pobudzania neuronów w wybranych częściach mózgu. Dzięki temu można by wywołać różne wrażenia zmysłowe, w tym dotyk, smak i dźwięk, omijając zmysły.

Synchronizacja mózg-mózg jest bardziej realistyczna, jeśli mamy dostęp do kory.



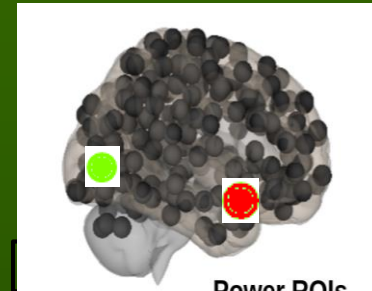
Interfejsy mózg-komputer



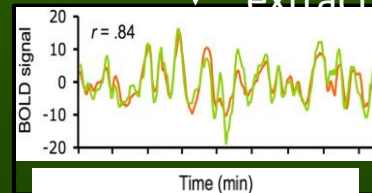
Osoby cierpiące na chorobę Parkinsona lub zaburzenia kompulsywno-obsesyjne, które mają wszczepione stymulatory w mózgu, mogą regulować swoje zachowanie za pomocą zewnętrznego kontrolera.

Przeptyw informacji

Node definition (parcelation)



Signal extraction

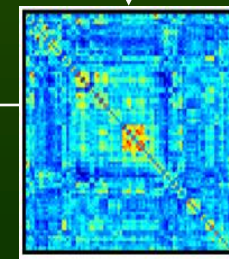


Correlation calculation

Binary matrix

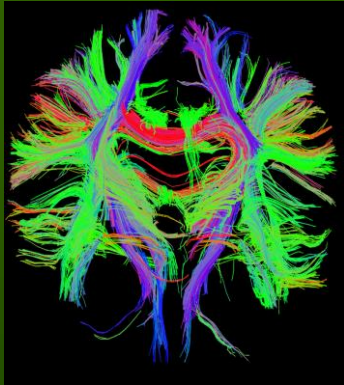


Correlation matrix

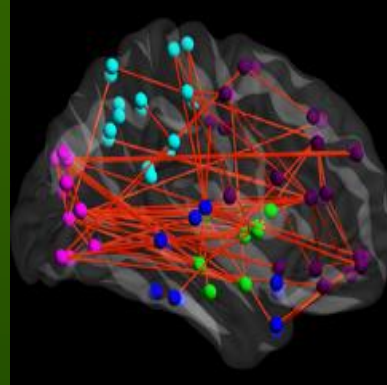


Bullmore & Sporns (2009)

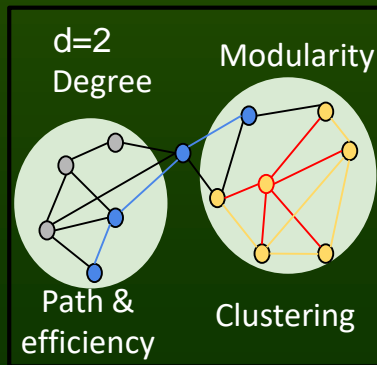
Structural connectivity



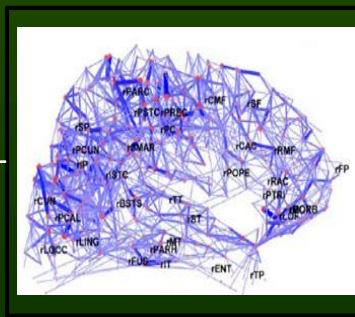
Functional connectivity



Graph theory



Whole-brain graph

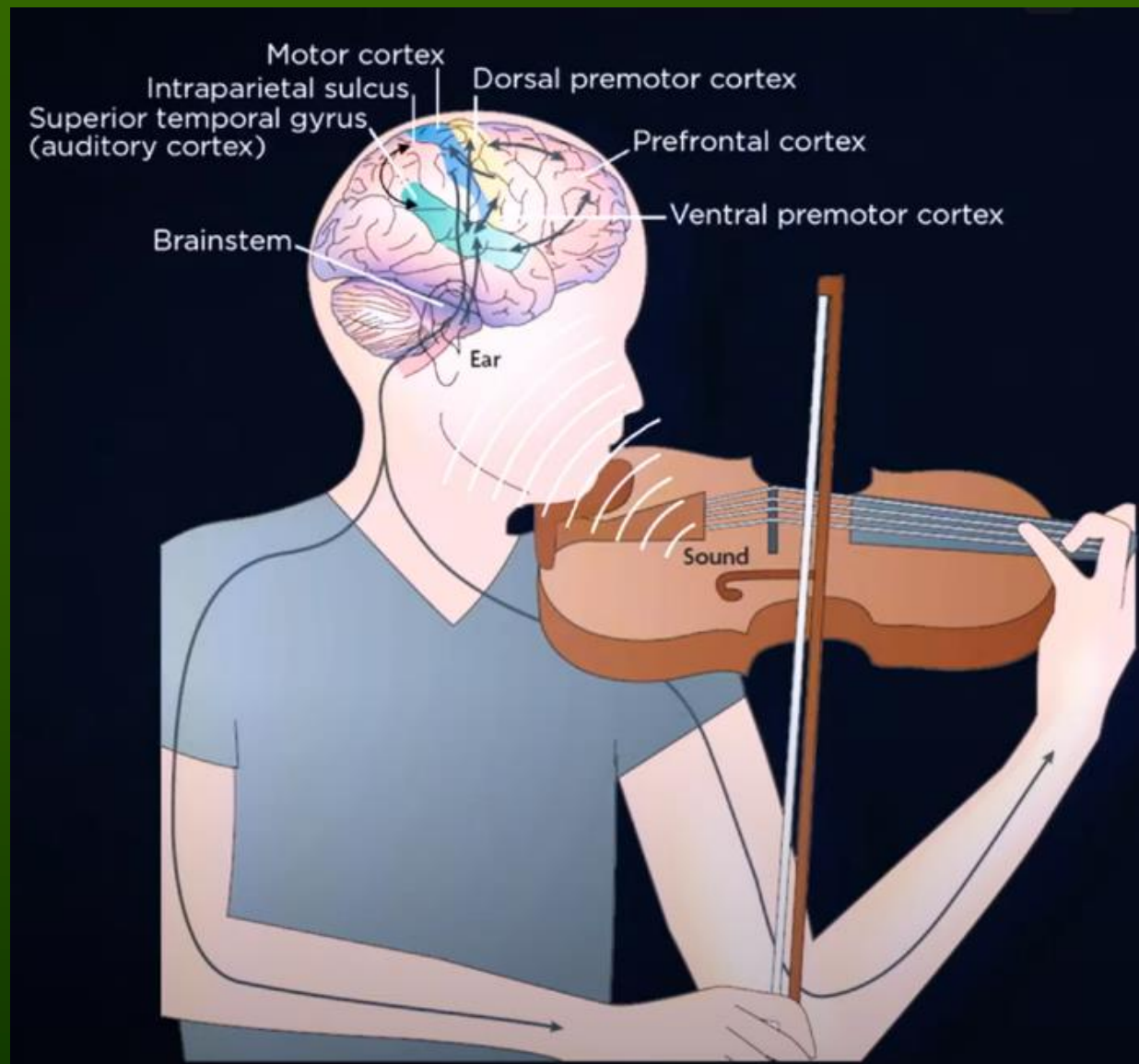


Interakcje słuchowo-ruchowe podczas wykonywania muzyki.

Kora ruchowa i przedruchowa kontroluje ruchy rąk z niezwykłą precyzją.

Pętla wewnętrzna:
kora przedruchowa
↔ kora słuchowa,
zanim powstanie dźwięk
lub wykonany ruch.

Ciągła antycypacja!

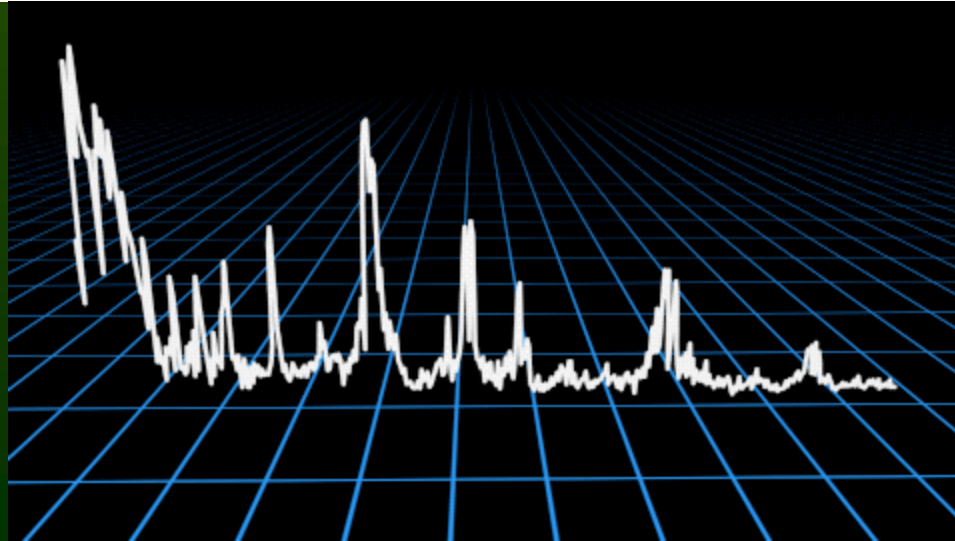
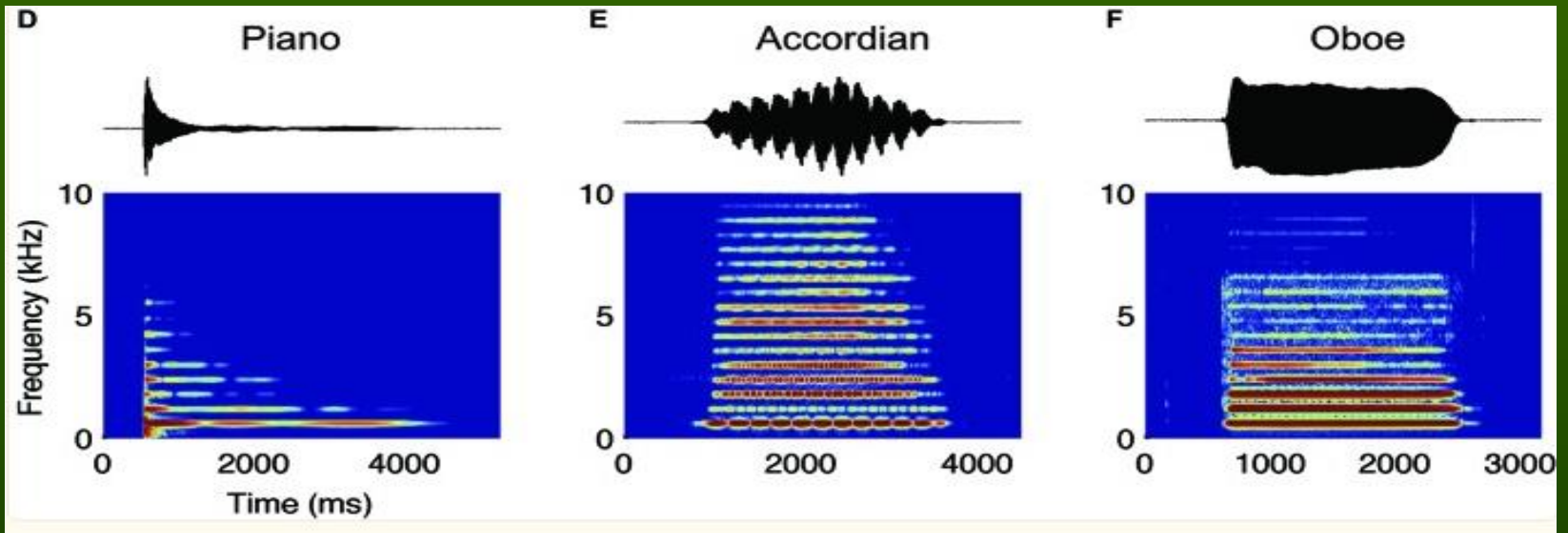


Zmysły ↔ działanie.

Zatorre, R. J., Chen, J. L., & Penhune, V. B. (2007). When the brain plays music: Auditory-motor interactions in music perception and production. *Nature Reviews Neuroscience*.

Barwa dźwięku

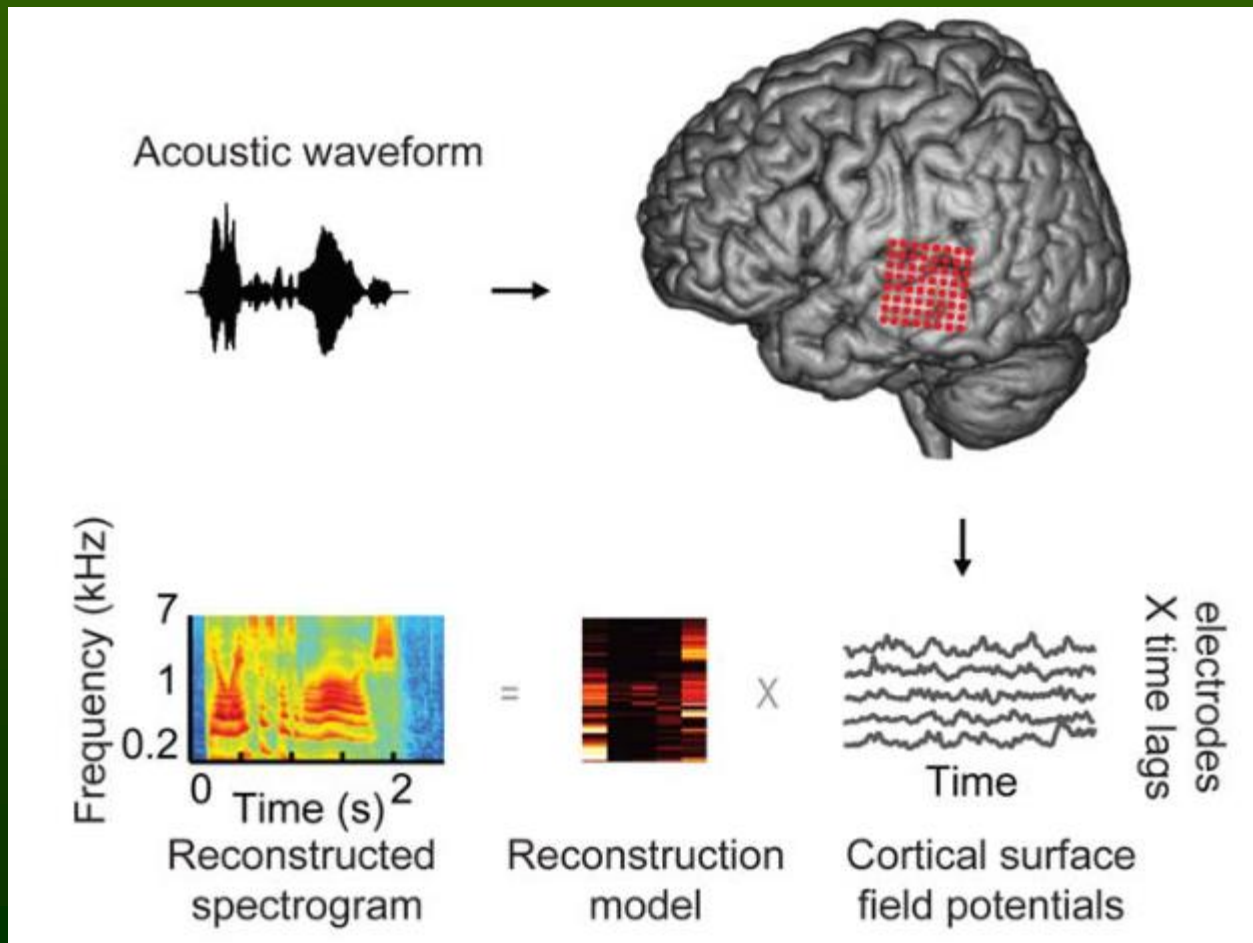
Ta sama nuta grana na różnych instrumentach ma inną barwę, bo co chwilę zmienia się rozkład częstotliwości harmonicznyc.



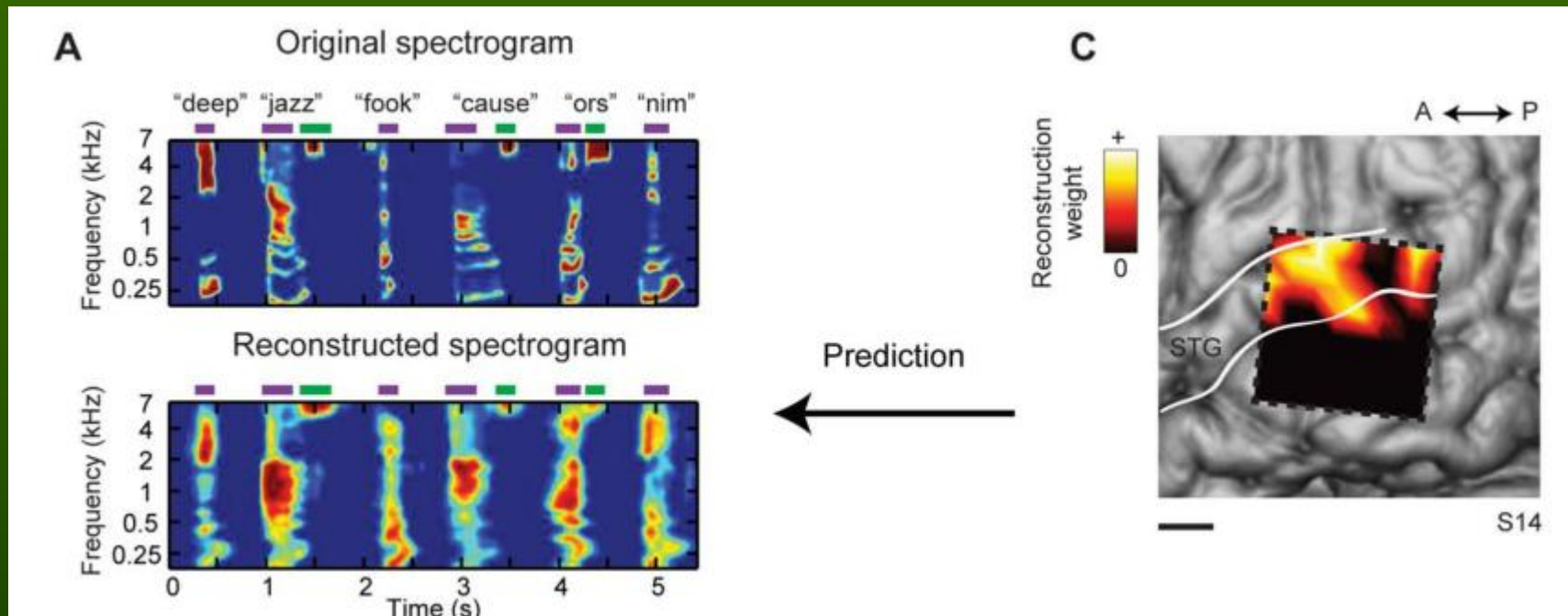
Dźwięki w mózgu

Siatka elektrod mierzących korowe potencjały pola elektrycznego pozwala na rekonstrukcję mowy z mierzonej aktywności mózgu.

Możemy zrekonstruować słyszane dźwięki, a nawet wewnętrzny dialog.



Miejsce, czas, częstotliwość, energia



Aktywność mózgu to ciągi impulsów neuronowych i oscylacje mikroobwodów. Neuronowa reprezentacja dźwięku może być analizowana przez 4-wymiarowy spektrogram aktywności kory słuchowej (X, t, f, E).

Różne kombinacje => różne wrażenia.

Audiogram pokazuje jakie częstotliwości są słyszalne, co wpływa na barwę.

Pasley et al. Reconstructing Speech from Human Auditory Cortex. PLOS Biology 2012.

Nientencjonalna wyobraźnia (INMI)

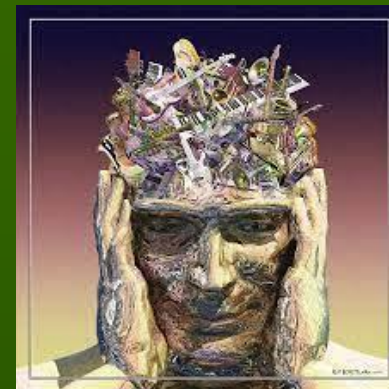
Nientencjonalna, natrętna wyobraźnia muzyczna (INMI), wewnętrzne postrzeganie spontanicznych melodii, powtarzających się dźwięków muzycznych.

Jak często występuje INMI? Jak ludzie reagują na INMI? Czy mogą to kontrolować? Czy jest to przyjemne?

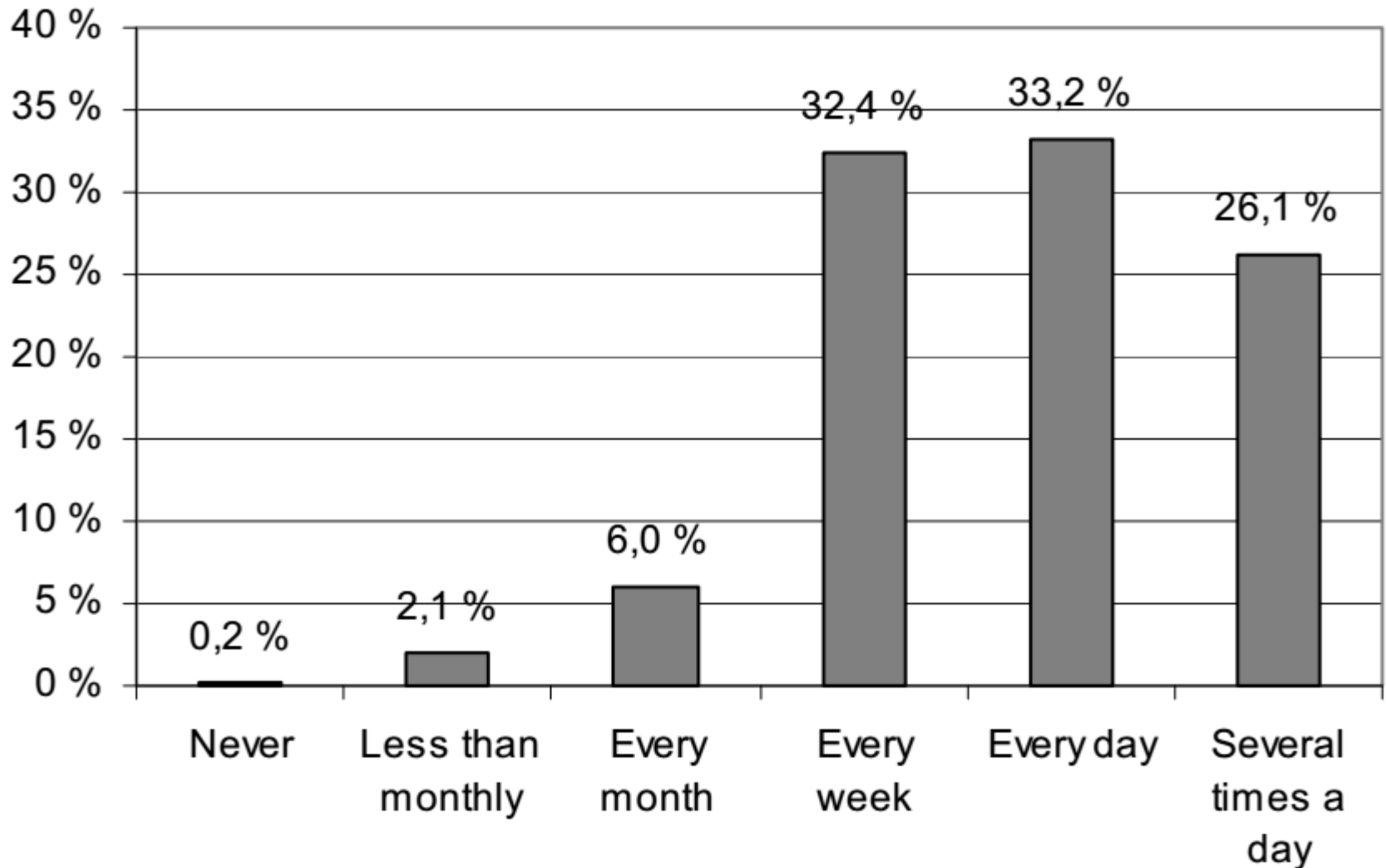
Często biernie akceptujemy i sobie podśpiewujemy, ale znaczna część osób chce powstrzymać niekontrolowane melodie w głowie i wymyśla różne strategie. Dzieje się to o różnych porach dnia, subiektywna ocena doświadczenia INMI zależy od wielu czynników.

INMI jest powszechnym doświadczeniem wewnętrznym rekrutującym sieci mózgowe zaangażowane w percepcję, emocje, pamięć i spontaniczne myśli.

Oliver Sacks, Muzykofilia, prezentuje wiele przykładów INMI.



Częstość INMI



Kwestionariusze Internetowe, 12.500 osób (Liikkanen 2010)

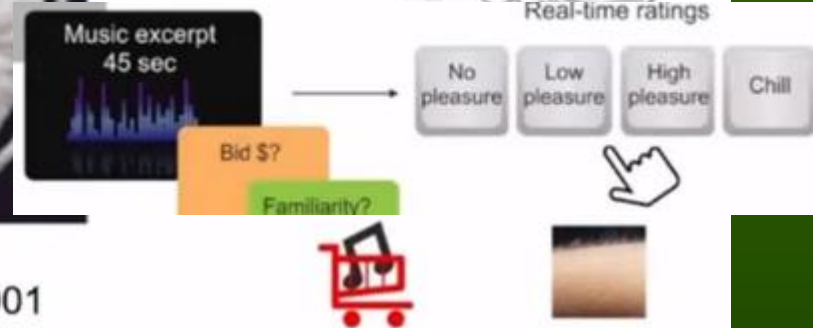
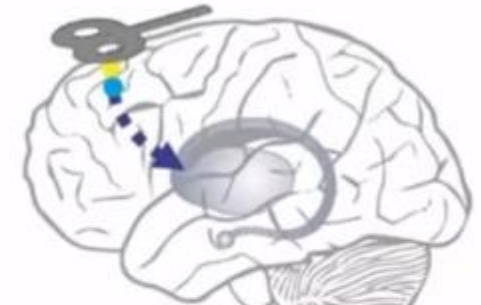
Emocje



- Słowa wywołują w mózgu precyzyjnie zsynchronizowane ciągi bioelektrycznych pobudzeń kory mózgu.
- Precyzja wymaga wysokich częstości oscylacji >40 Hz, czyli < 25 msek.
- Emocje wynikają ze znacznie wolniejszych pobudzeń, fal biochemicznych modulujących stan kory i wpływających na procesy poznawcze, są więc trudne do precyzyjnego zdefiniowania.
- Emocje pierwotne, takie jak strach, powodują mobilizację, silne pobudzenie, przygotowanie do działania => synchronizacja czynności całego mózgu.
- Dźwięki wywołują liczne reakcje emocjonalne, analizę zagrożeń/przyjemności i orientację przestrzenną, np. kiedy słyszymy brzęczenie komara w nocy.

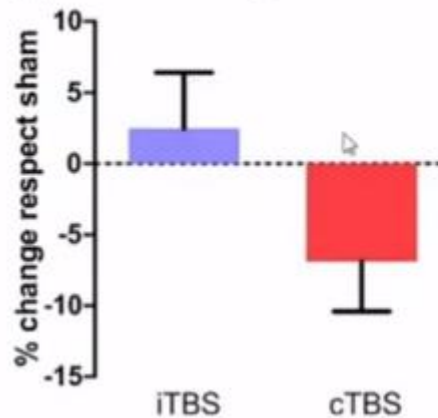
Przyjemność = dopamina

Dopamine release in caudate after TMS

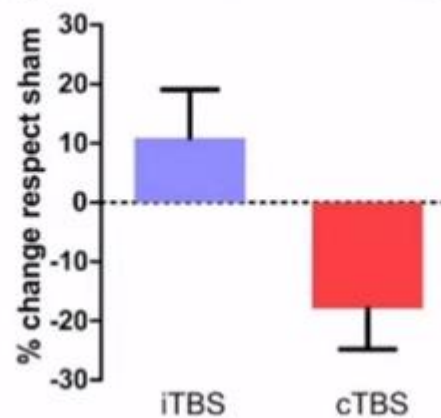


Strafella et al *J Neurosci* 2001

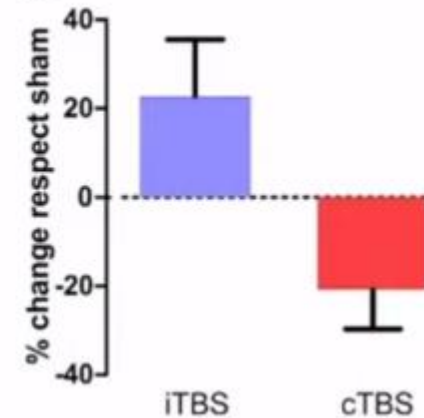
A Liking Rates



B Electrodermal activity



C Bids



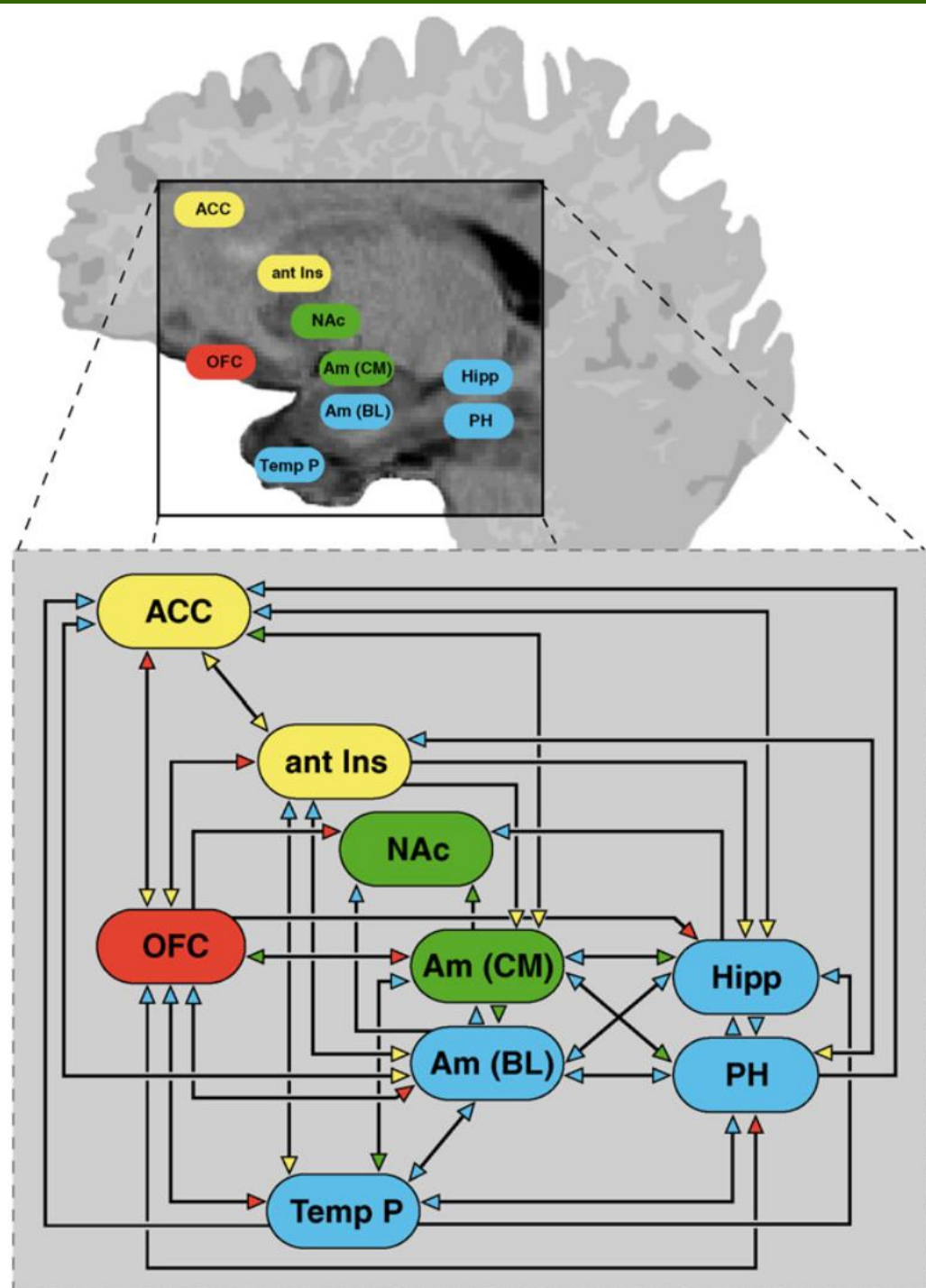
Sieć nagrody

Połączenia anatomiczne struktur podkorowych zaangażowanych w emocje wywoływane przez muzykę.

ACC: przedni zakręt obręczy
ant Ins: przednia kora wyspy;
Am: ciało migdałowe (BL) boczne; (CM) przyśrodkowe,
Hipp: formacja hipokampa.

NAc: jądro półleżące;
OFC: kora orbitofrontalna;
PH: zakręt przyhipokampowy;
Temp P: biegun skroniowy.

S. Koelsch, W stronę neuronalnych podstaw emocji wywołanych muzyką. TICS 2010



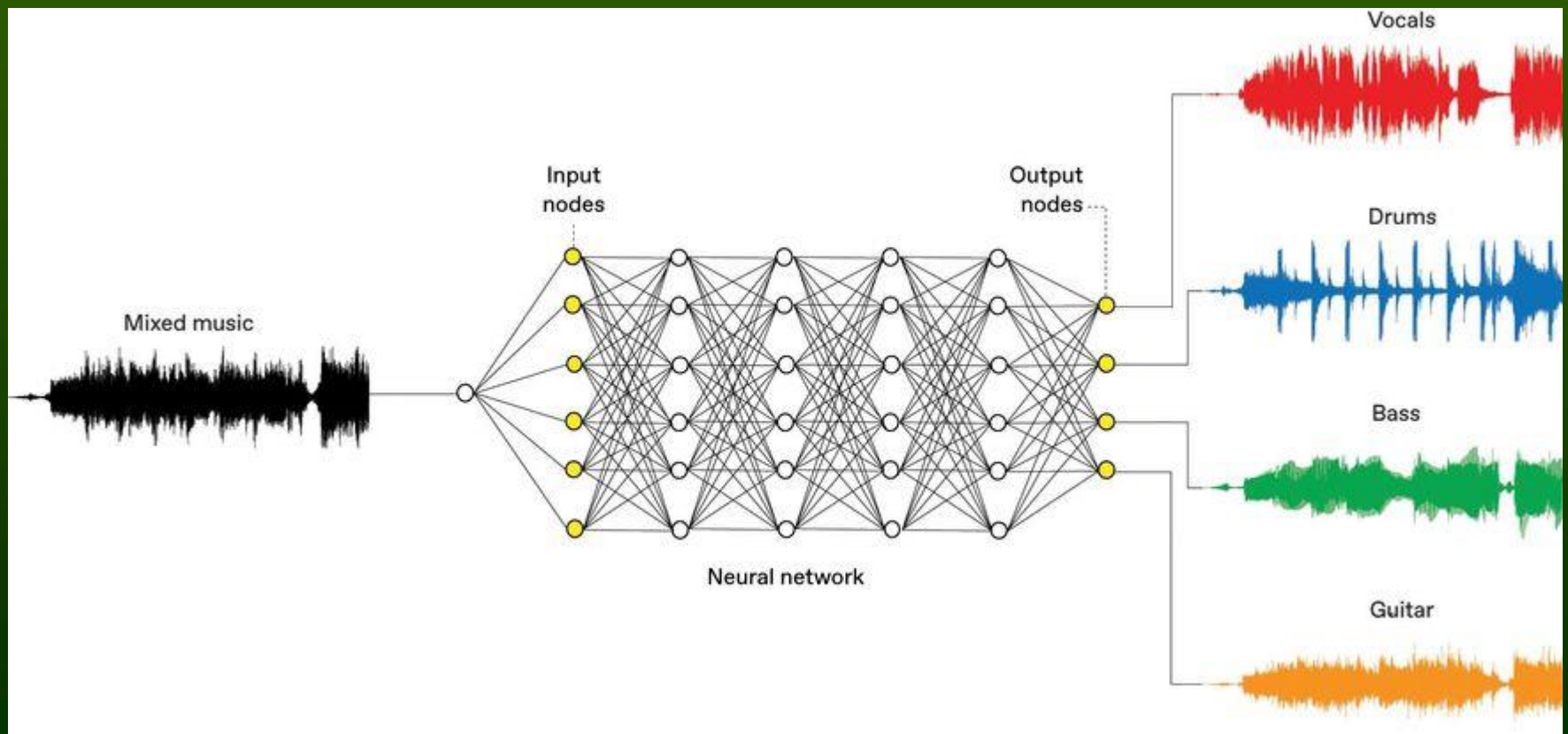
Soundstage

Mózg oddziela różne strumienie dźwięków (koktajl-party problem).

Soundstage: po dźwięku wielokanałowym, precyzyjna separacja instrumentów i dowolne rozmieszczanie przestrzenne.

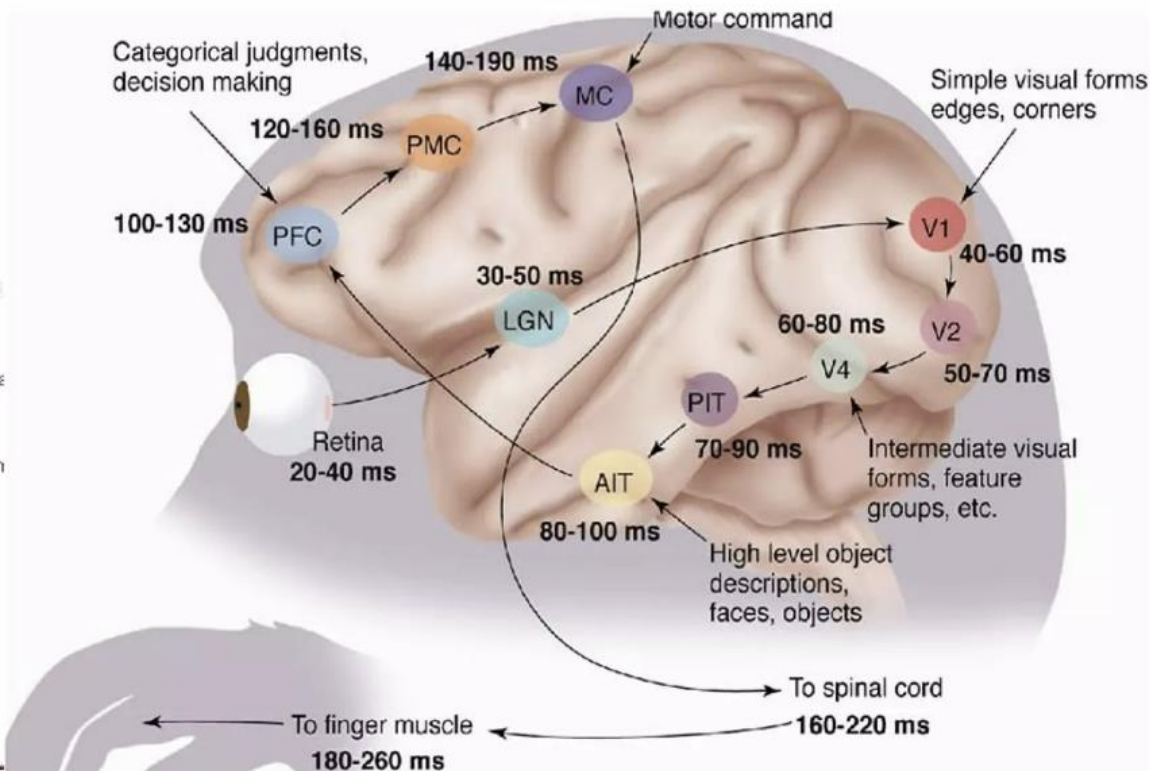
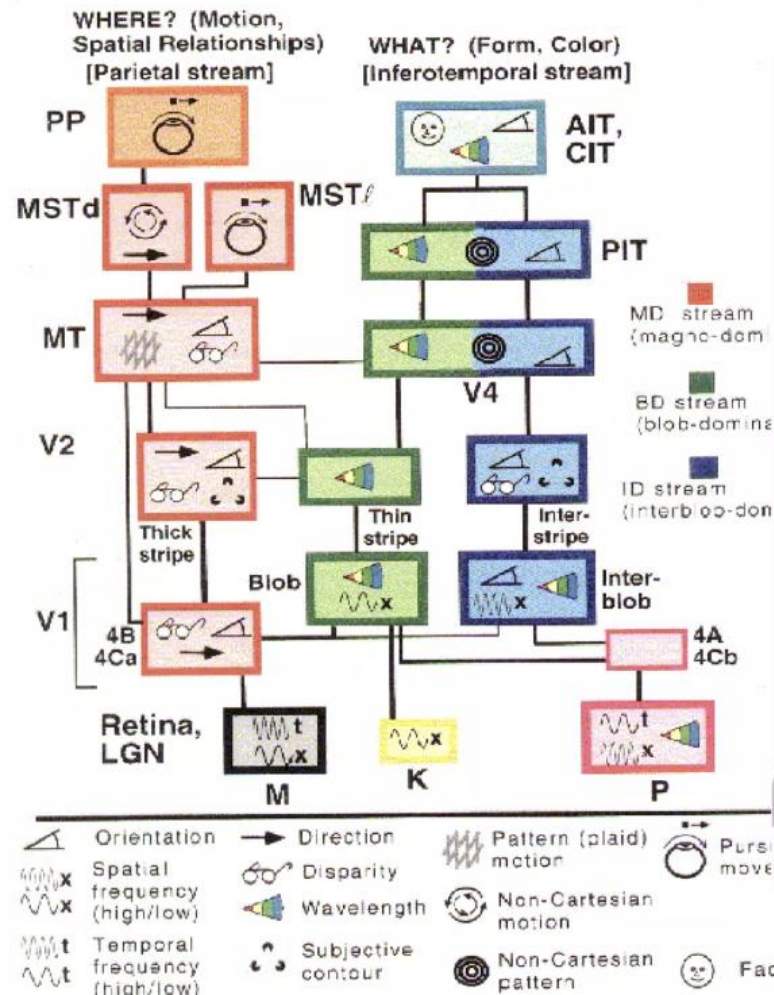
Działa dla kilku instrumentów, ale jeszcze nie z całą orkiestrą?

- <https://spectrum.ieee.org/3d-audio>



Hierarchie wzrokowe

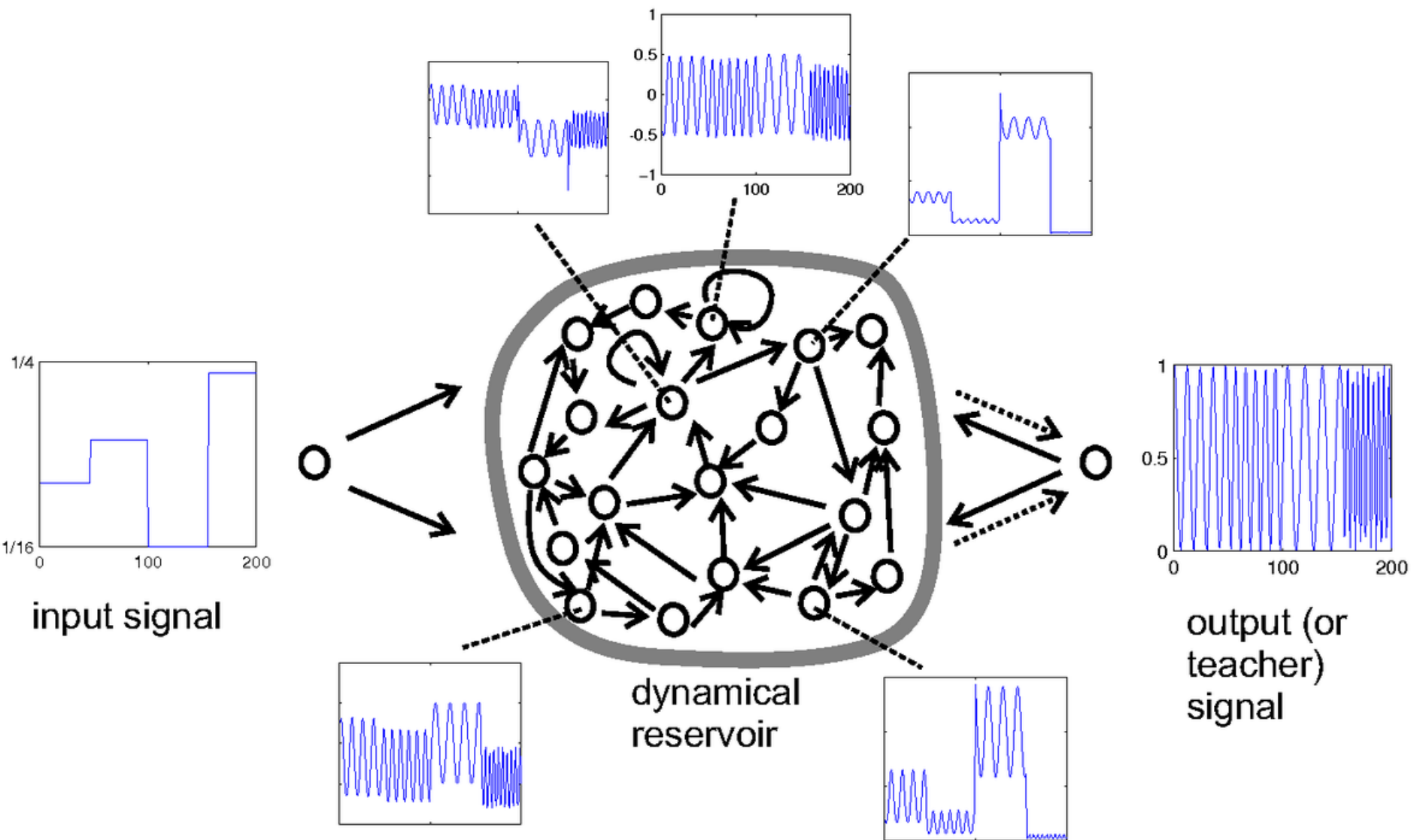
- The ventral (recognition) pathway in the visual cortex has multiple stages
- Retina - LGN - V1 - V2 - V4 - PIT - AIT
- Lots of intermediate representations



[picture from Simon Thorpe]

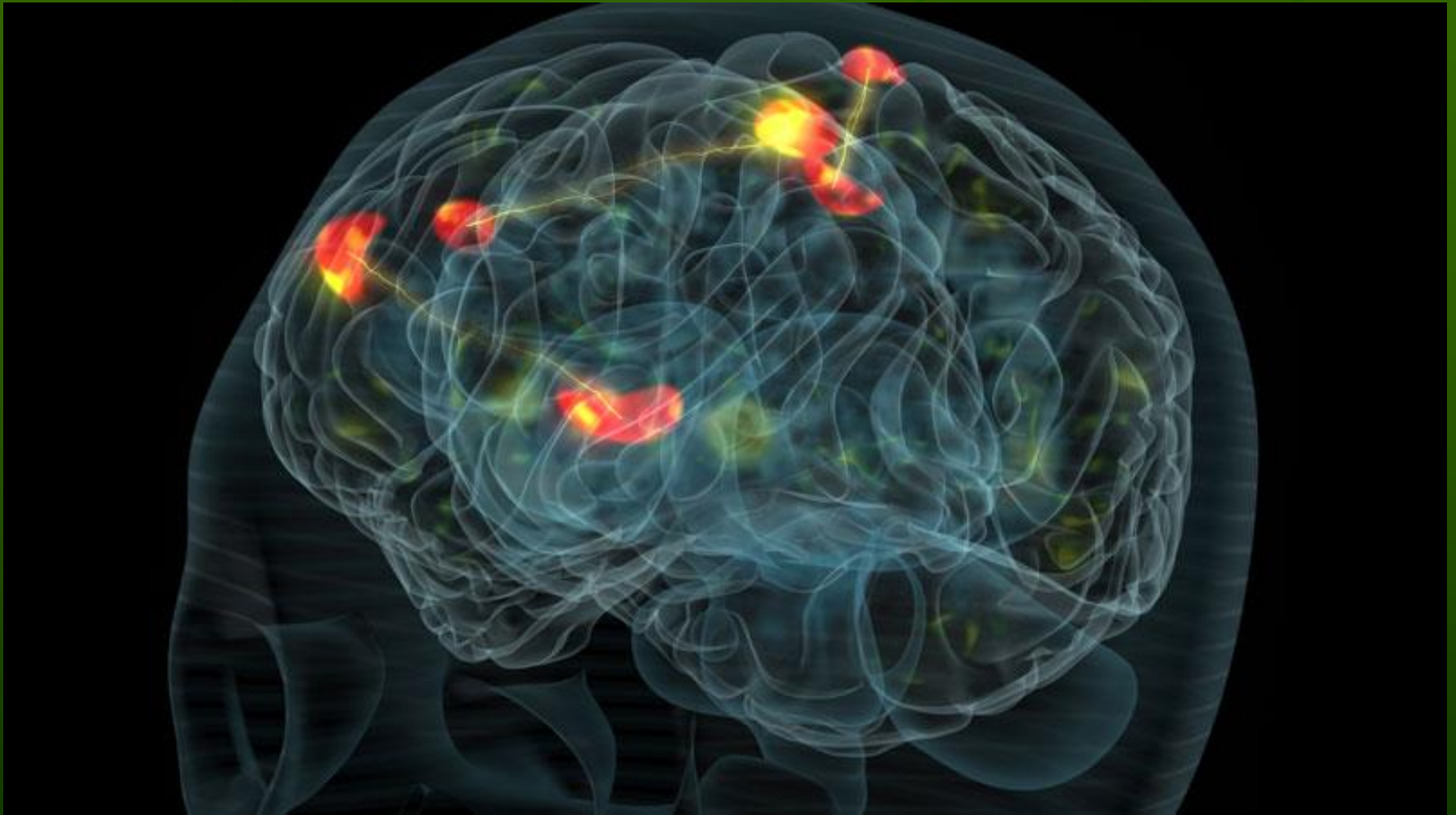
[Gallant & Van Essen]

Wyobrażenia w sieciach neuronowych

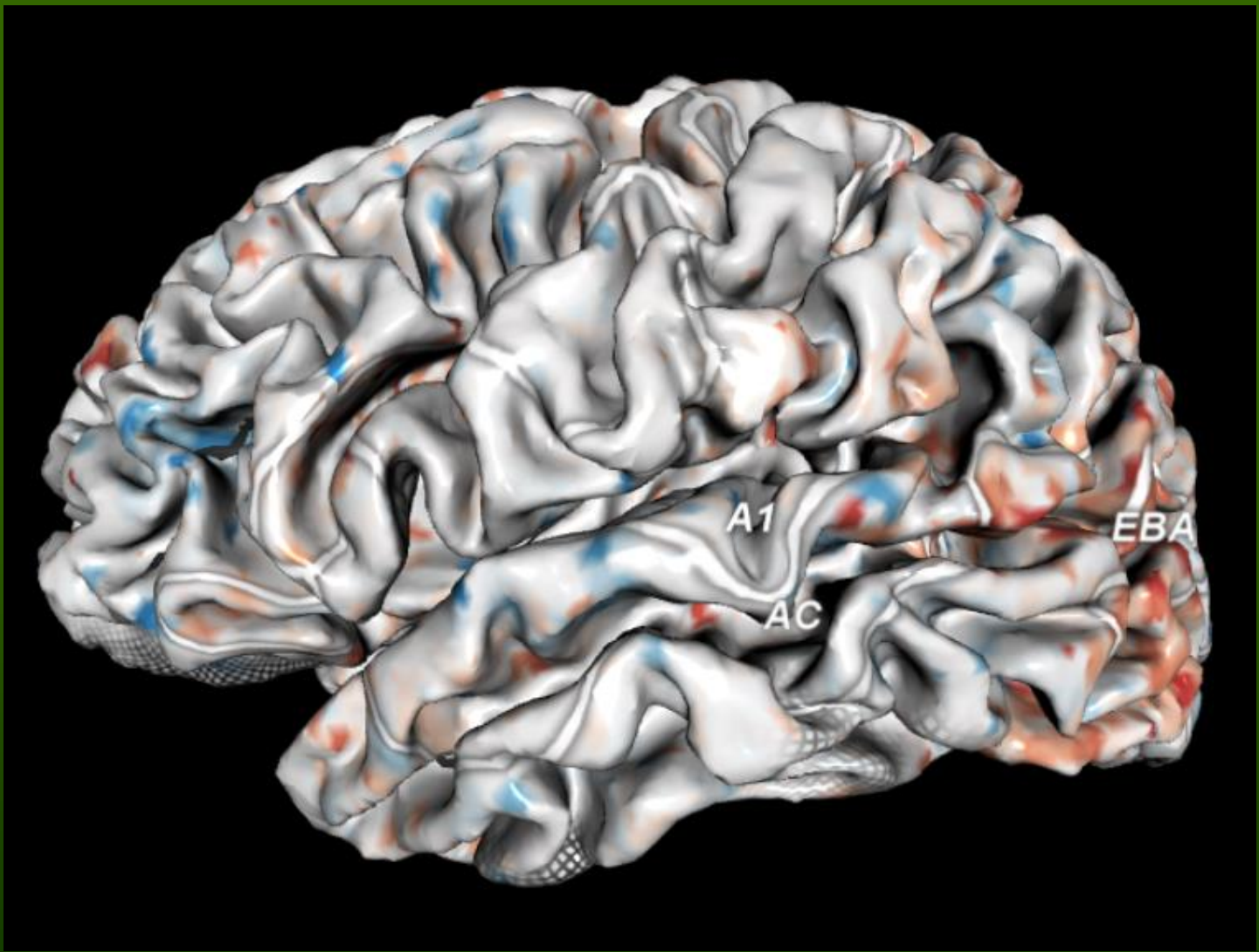


Oscylacje w 100 mld neuronów sieci mózgu = percepcja i wyobrażenia.

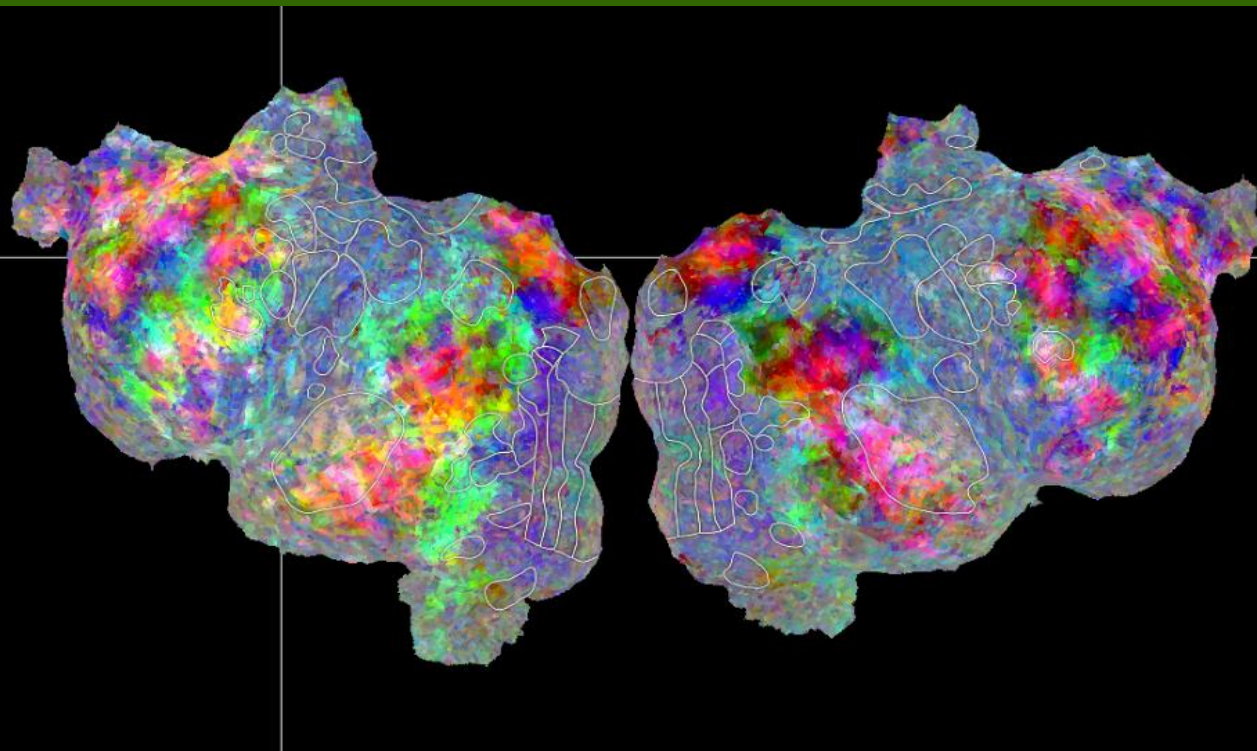
Stany mentalne: silne, spójne aktywacje



W mózgu bez przerwy toczy się bardzo wiele procesów. Liczne sieci neuronalne wzbudzają się i konkurują ze sobą. Jeśli da się wyraźnie odróżnić od szumu zgodnie z **teorią detekcji sygnałów**, wyrazi się przez ruch, myśl, lub wrażenie? Świadomość to percepcja tego, co dzieje się we własnym umyśle (J. Locke, 1689).



Aktywacja określonego pojęcia/stanu psychicznego, wyobraźni, frazy muzycznej prowadzi do aktywacji sieci określonych struktur w całym mózgu, przyczyniając się do semantycznej interpretacji postrzeganego znaczenia poprzez globalną aktywność mózgu.



voxel [24,51,68] left

model performance: 0.207 (p=0.000)

Not bad, pretty reli

eternal
victim
death dies
sins evil thou
false innocent
killer
murder
murderer

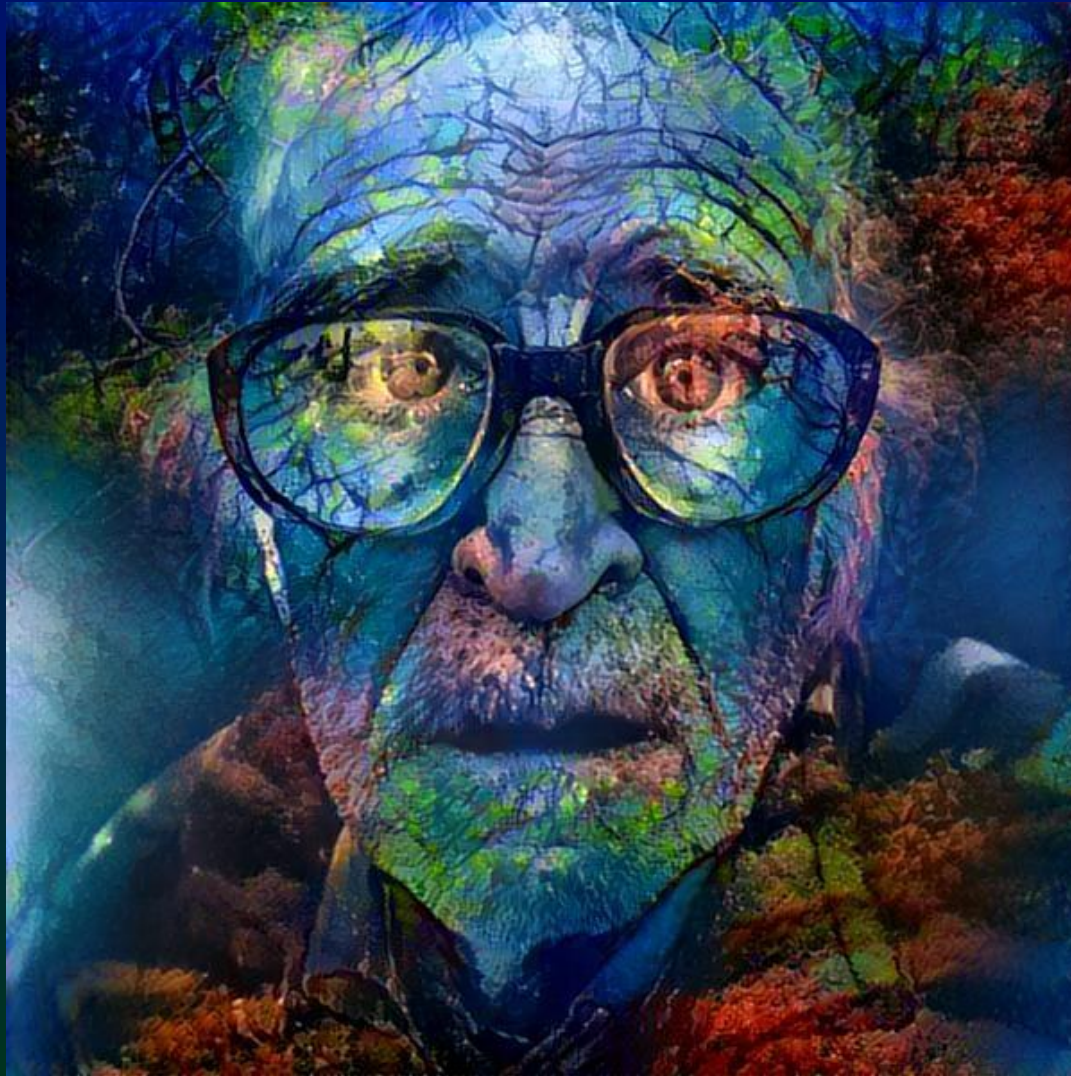
W przypadku mowy stworzono mapy aktywacji kory dla ponad 1700 słów, z skanów mózgu w czasie oglądania filmów i słuchania radiowych opowiadań. Aktywacja kory jest rozproszona, można jej nadać pewien sens.

Nie mamy jeszcze niczego takiego dla muzyki ...

Będzie to znacznie trudniejsze, bardziej subiektywne niż w przypadku języka.

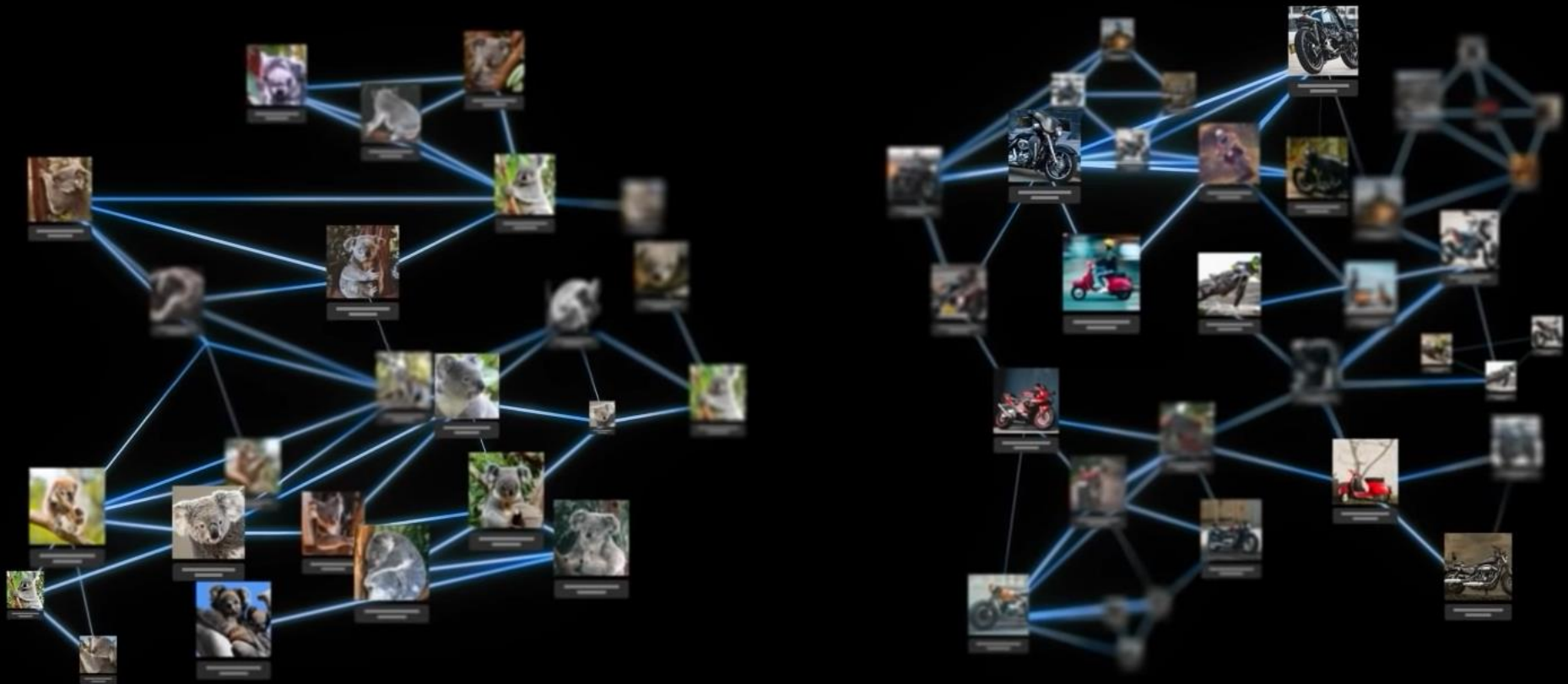
Interakcyjny atlas aktywacji dla słów: <http://gallantlab.org/huth2016/>

Deep Dream



[Google Deep Dream/Deep Style & Generator](#), [Gallery](#) – transformacje obrazów.
LA Gatys, AS Ecker, M Bethge, A Neural Algorithm of Artistic Style (2015)

Obrazy i słowa



koala bears

motorcycles

Through deep learning, it not only understands individual objects, like koala bears and motorcycles,

Dalle-2, Imagen, Midjourney i 100 innych! Obrazy/słowa to aktywacje sieci.

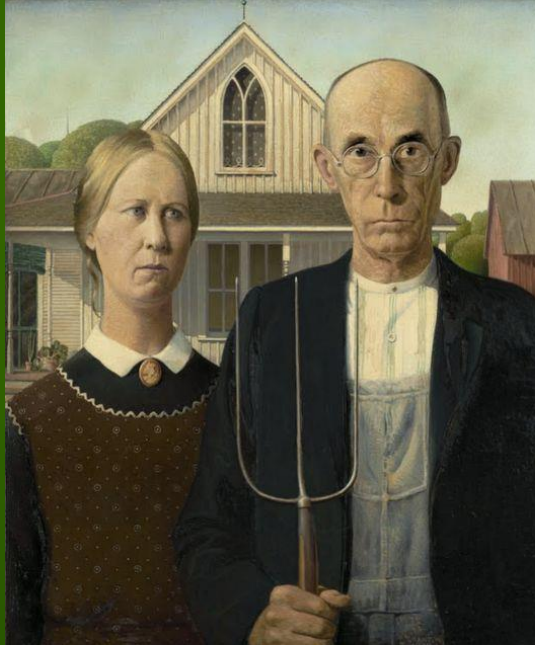
Wyobraźnia AI

Sieć neuronowa ma miliardy parametrów, potrafi połączyć opis tekstowy z obrazami.

Obrazki powstały z opisu:

The painting American Gothic, with two dogs holding pepperoni pizza instead of the farmers holding a pitchfork.

Każde uruchomienie programu tworzy inną wersję, 3D + wideo.

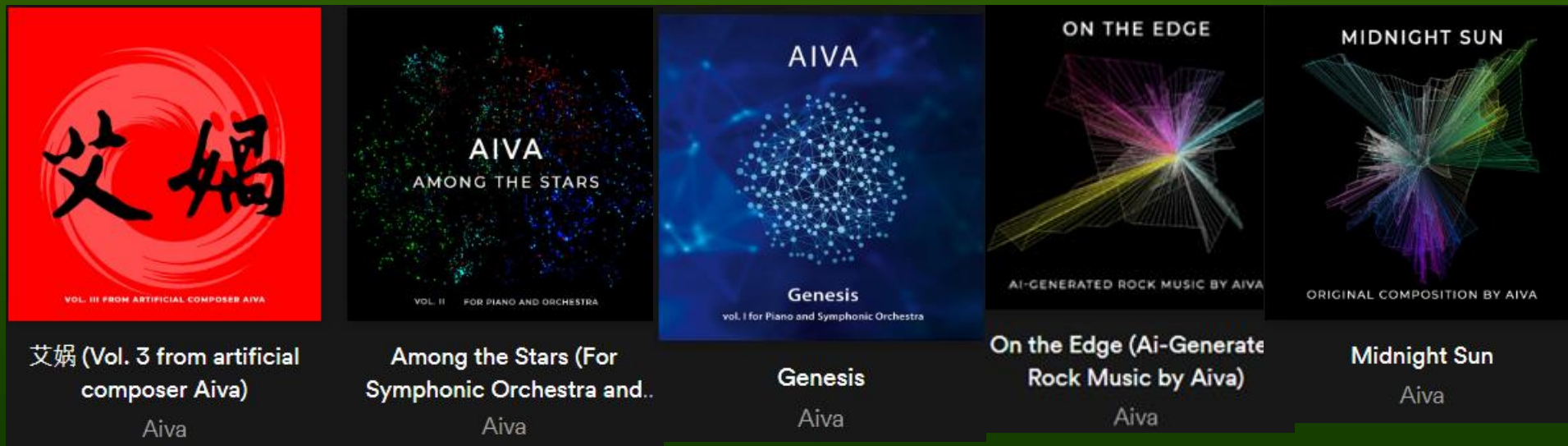


AI Virtual Artist

[AIVA](#) (2016) – AI Virtual Artist, przyjęta do [SACEM](#) (Stowarzyszenie Autorów, Kompozytorów i Wydawców Muzycznych Francji), [1872 utwory](#) (10/2022), specjalizuje się w muzyce symfonicznej.

[AIVA YouTube channel](#), Youtube „[Letz make it happen](#)”, Op. 23

[SoundCloud channel](#) [Spotify](#) i [Apple](#) channel

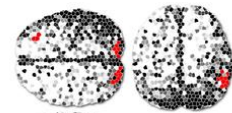


Duch W, [Intuition, Insight, Imagination and Creativity](#).

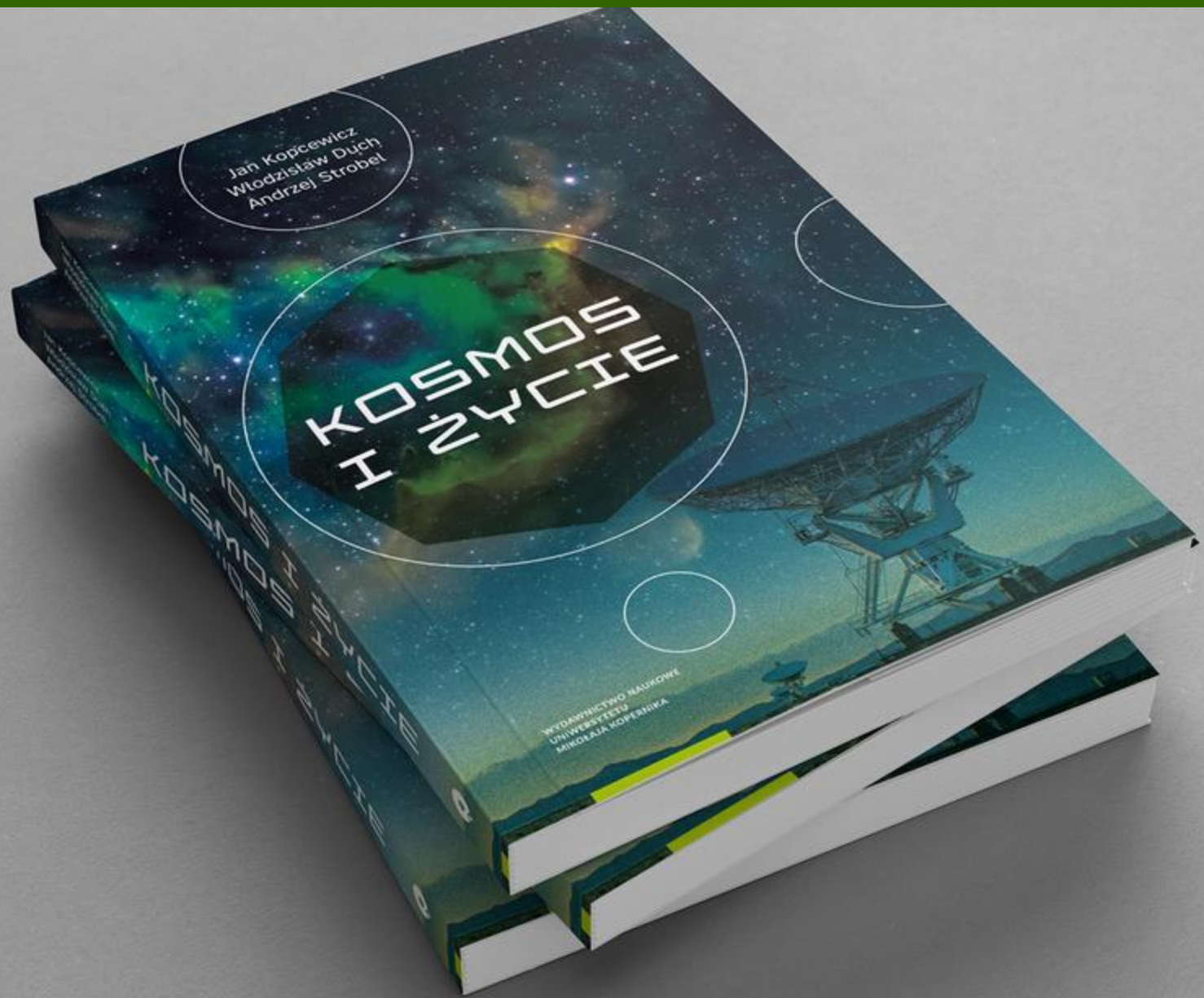
IEEE Computational Intelligence Magazine 2(3), August 2007, pp. 40-52

Podsumowanie

- Ruch to życie, od molekuł po całe organizmy! Rock & Roll!
- By powstały wrażenia, trzeba pobudzić neurony, doprowadzić do synchronizacji oscylacji impulsów elektrycznych w wielu obszarach mózgu.
- Sztuka ma głębokie ewolucyjne korzenie, łączy racjonalne procesy w korze mózgu z emocjonalnymi i instynktownymi procesami głębokich struktur podkorowych i regulacji biochemicznej (neurotransmitery).
- Talent to neuroplastyczność + doskonała synchronizacja wielu obszarów mózgu, zdarza się rzadko, ale beztalencia też mają przyjemność z sztuki 😊
- Indywidualne różnice wyobraźni są ważnym aspektem talentu.
- Sztuczna inteligencja będzie w coraz większym stopniu kreatywnym pomocnikiem artystów.
- W niedalekiej przyszłości bezpośrednia integracja mózgów z systemami sztucznymi stanie się stopniowo możliwa.



NEURO
historia sztuki?

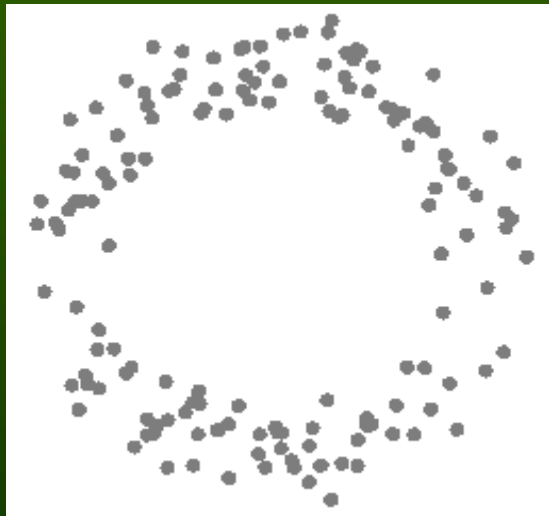


Jan Kopcewicz
Włodzisław Duch
Andrzej Strobel

KOSMOS I ŻYCIE

WYDZIAŁ NUKLEONIKI I FIZYKI ATOMOWEJ
UNIWERSYTETU MIKOŁAJA KOPIŃSKA

Dziękuję za
synchronizację
neuronów!



Google: Włodzisław Duch
=> wykłady, referaty, publikacje, wideo ...