

# Przetwarzanie sygnału w interfejsach mózg - komputer. Perspektywy i ograniczenia



Dr Dariusz Zapala  
*Katedra Psychologii Eksperymentalnej KUL*





Katedra Psychologii Eksperymentalnej,  
Laboratorium Percepcji i Poznania w Katolickim  
Uniwersytecie Lubelskim Jana Pawła II



Koordynator B+R w BioVR Sp. z o. o.



Visiting scholar New York State Department of  
Health (Albany, USA) oraz Hangzhou Dianzi  
University (Hangzhou, Chiny)



Uczestnik grupy standaryzacyjnej IEEE EMBS  
P2731 – Unified Terminology for Brain-Computer  
Interfaces (UT-BCI)



Autor publikacji naukowych z zakresu komunikacji  
mózg-komputer (BCI)

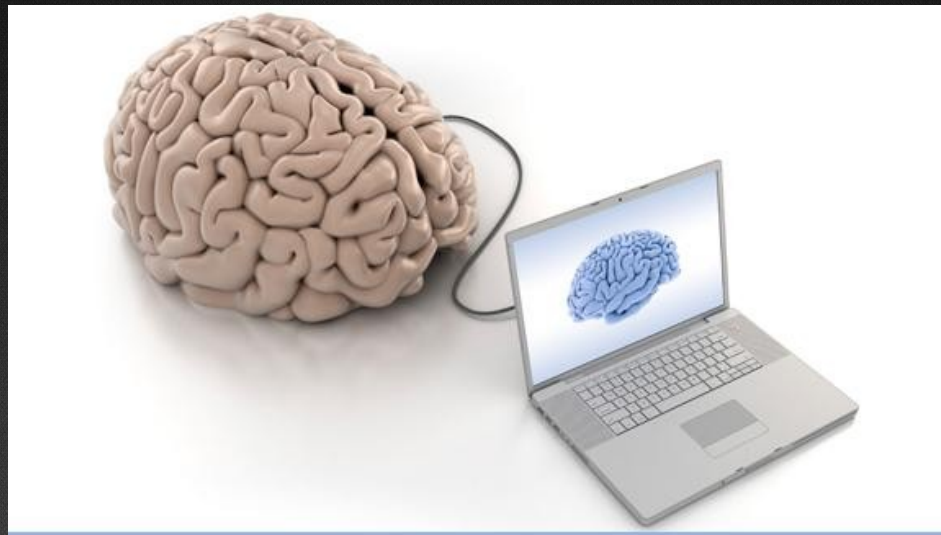


# 1964



Dr William Grey Walter  
(1910 - 1977)



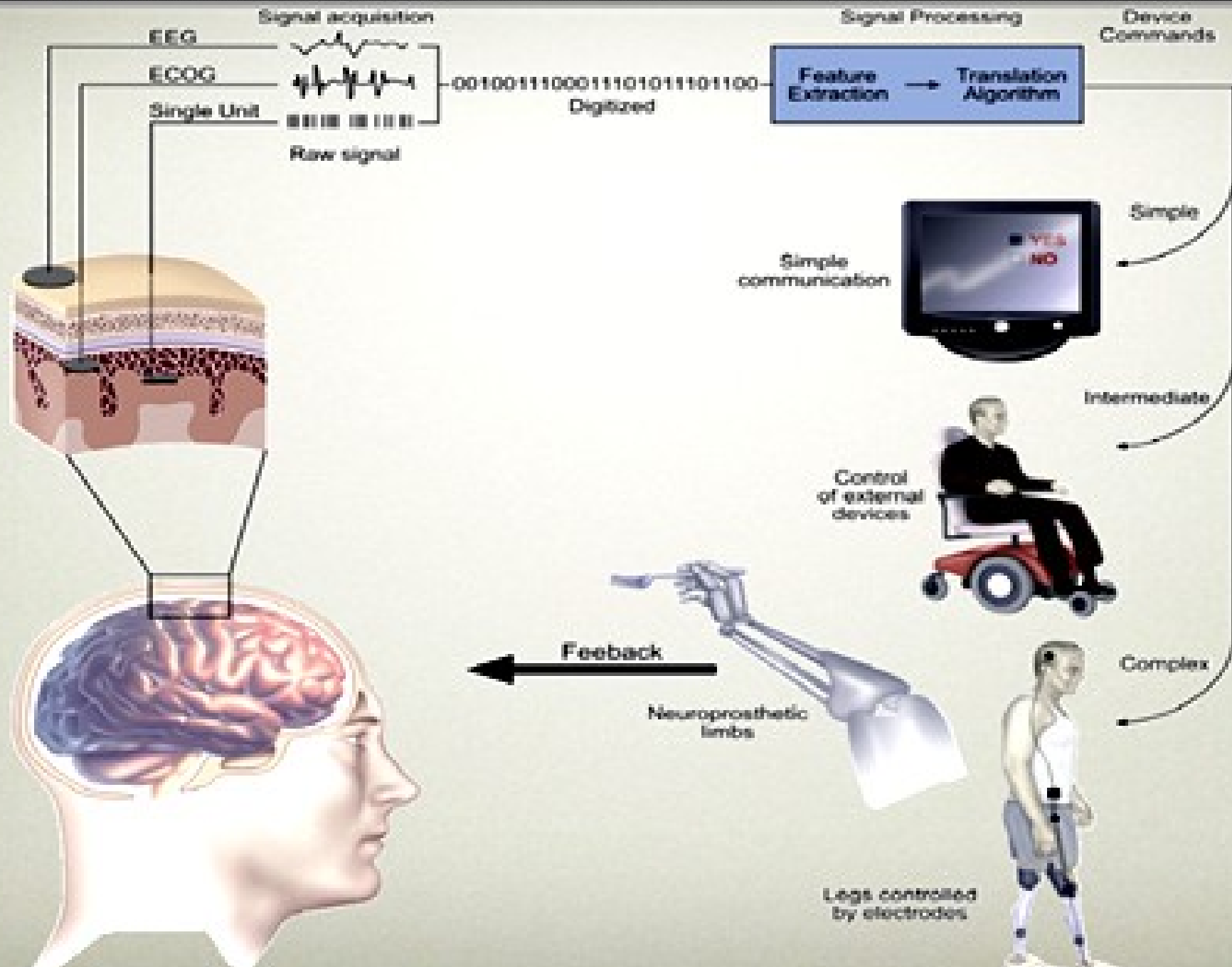


**INTERFEJS MÓZG-KOMPUTER (BCI)** – (ang. *Brain-Computer Interface, BCI*)- to urządzenia, które pozwalają na przesyłanie informacji z centralnego układu nerwowego z pominięciem dróg wewnątrzwydzielniczych i nerwowo-mięśniowych. Systemy BCI służą rejestracji aktywności CUN w celu kontroli innych urządzeń lub aplikacji, które:

- **zastępują,**
- **przywracają,**
- **wzmacniają** lub
- **uzupełniają**

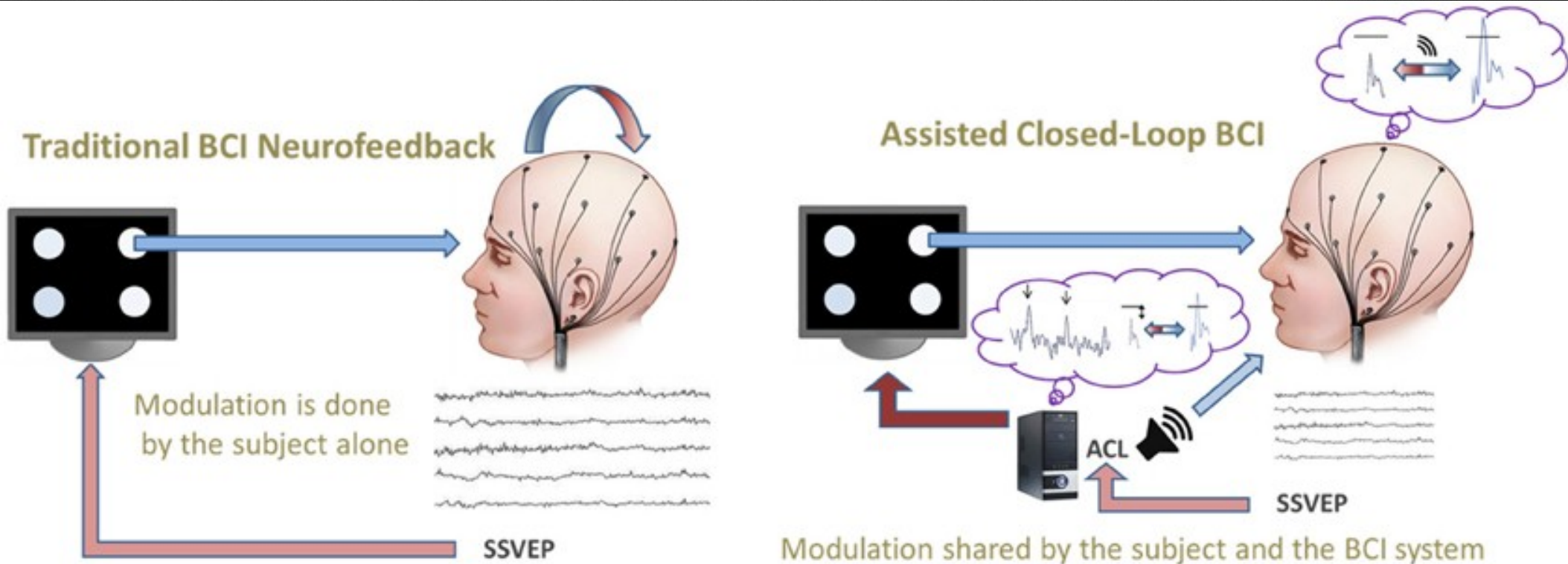
naturalne mechanizmy komunikacji z otoczeniem. Cały proces przebiega na zasadzie biologicznego sprzężenia zwrotnego (**biofeedback**), czyli interakcji pomiędzy CUN a zewnętrznym i wewnętrznym środowiskiem użytkownika.

# Pęta BCI





# BCI vs biofeedback



**BIOFEEDBACK**

Cel terapeutyczny

**BCI**

Urządzenie asystujące



# BCI vs HCI/BNCI

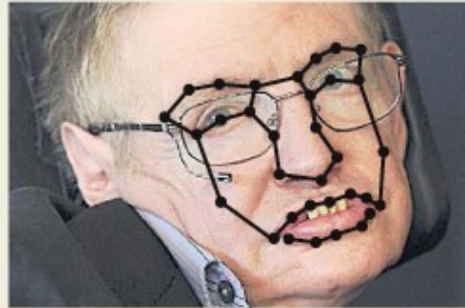
## Quantum leap

- 1 Professor Hawking currently moves his cheek to control his screen via an infrared sensor in his glasses
- 2 This controls a cursor on a screen: as it moves across letters and words, he can spell out sentences

Infrared sensor



- 3 New facial recognition technology will detect other parts of his face that he can move, such as his mouth and eyebrows

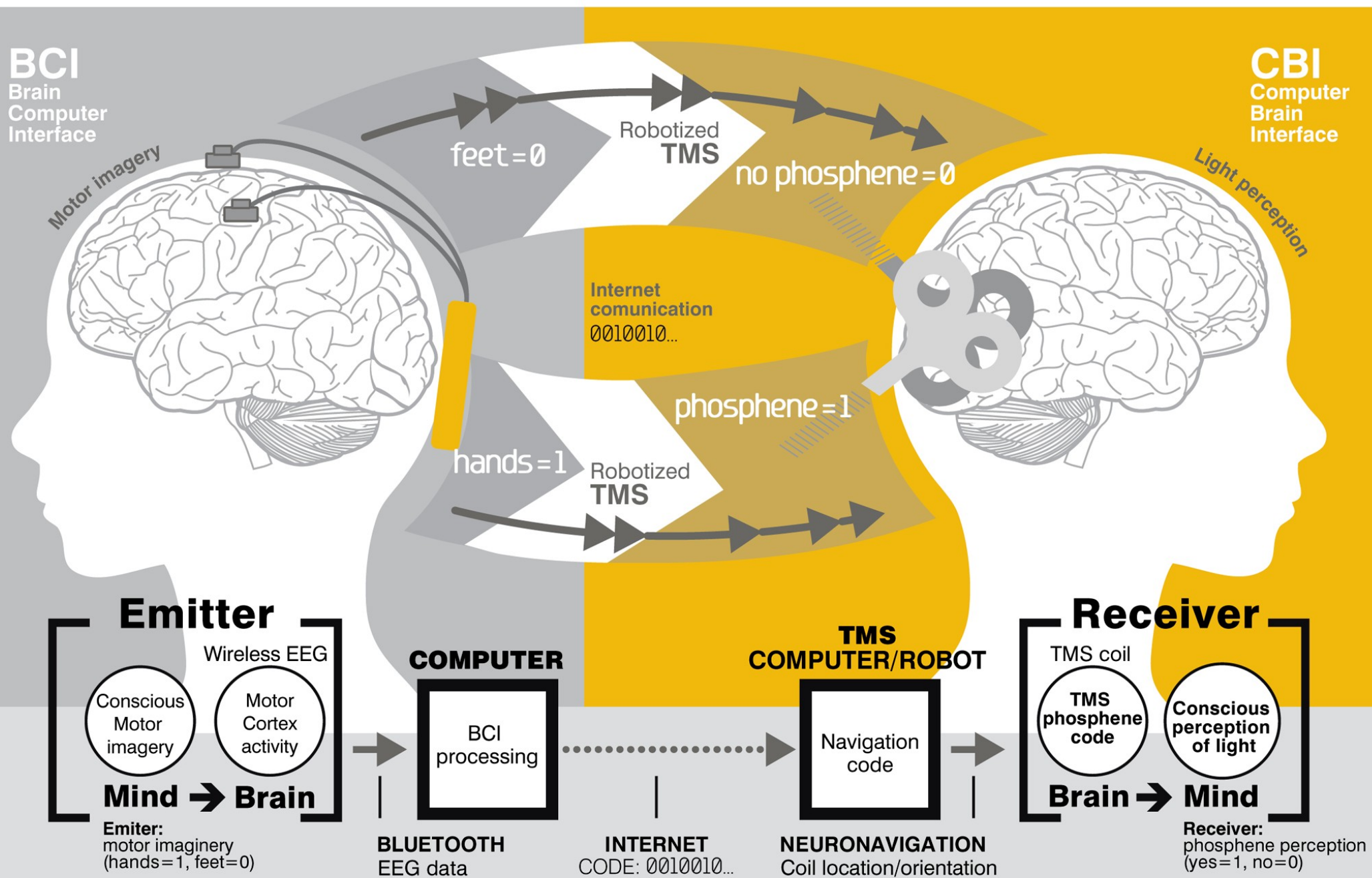


- 4 A new machine created by Intel can better predict what words Hawking is trying to spell out. Scientists hope this will increase the speed at which he can compose sentences



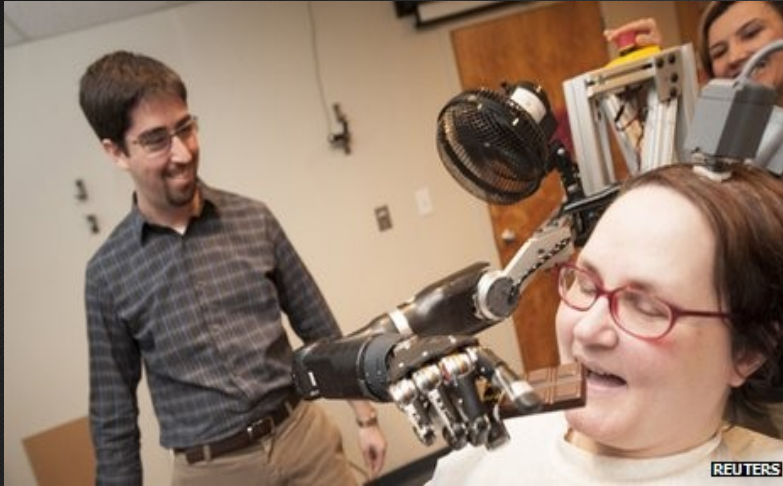


# Brain-to-Brain Interface





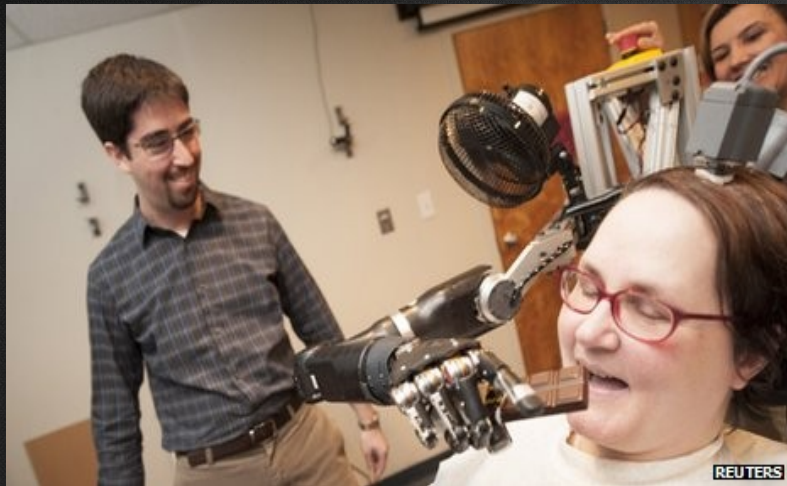
# Obszary zastosowań BCI



Protezy kończyn



# Obszary zastosowań BCI



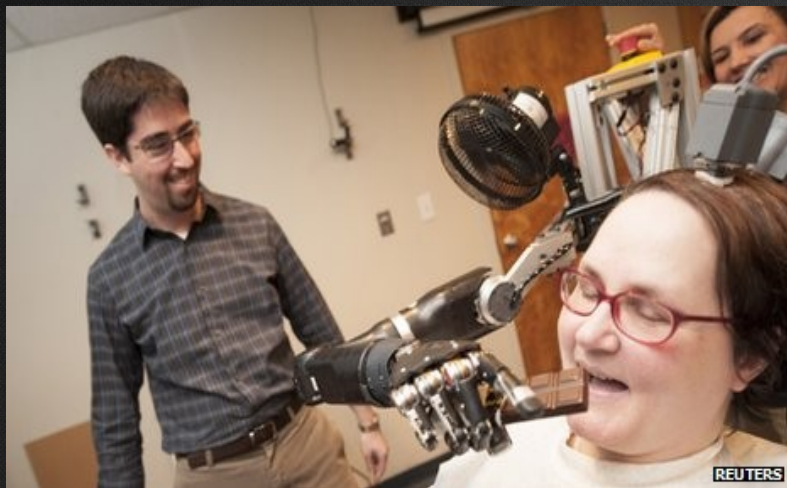
Protezy kończyn



Sterowanie wózkiem  
inwalidzkim



# Obszary zastosowań BCI



Protezy kończyn



Sterowanie wózkiem inwalidzkim



Komunikacja



# Obszary zastosowań BCI



Neurorehabilitacja



Stwierdzenie wózkem  
inwalidzkim



Komunikacja



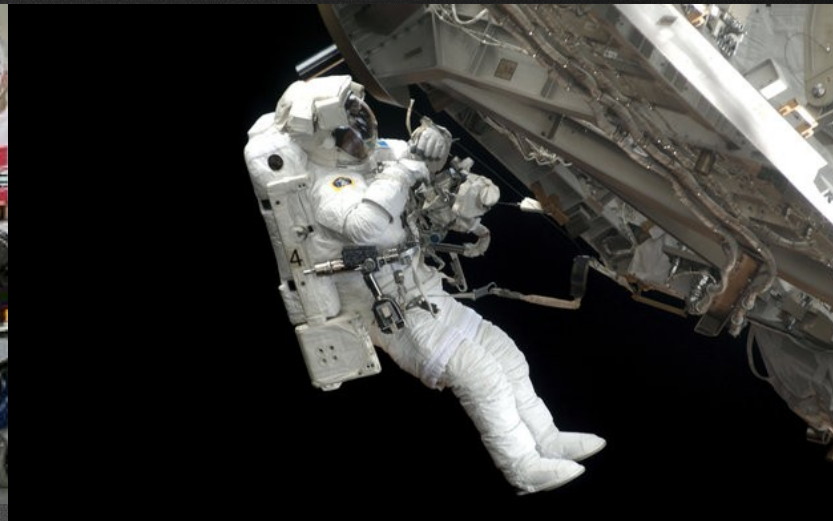
# Obszary zastosowań BCI



Neurorehabilitacja



Sterowanie wózkem  
inwalidzkim



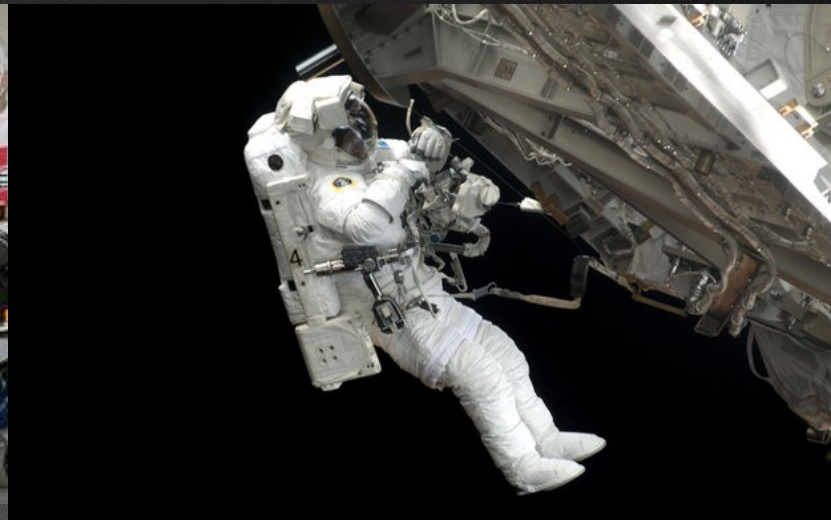
Sterowanie w trudnych  
warunkach



Komunikacja



# Obszary zastosowań BCI



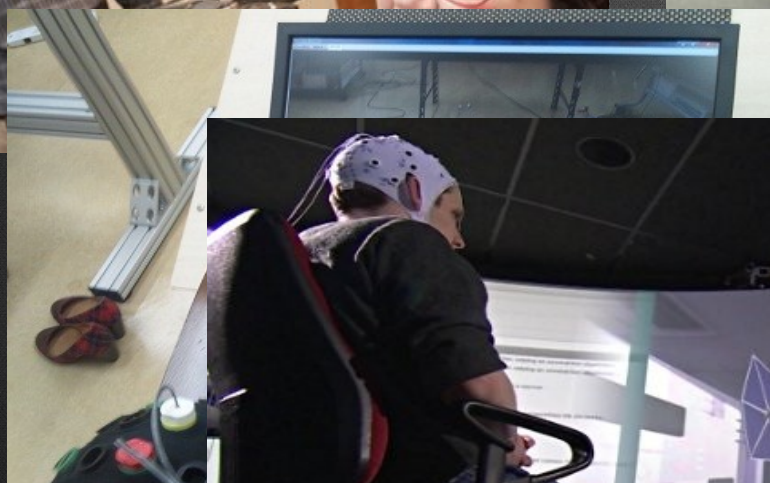
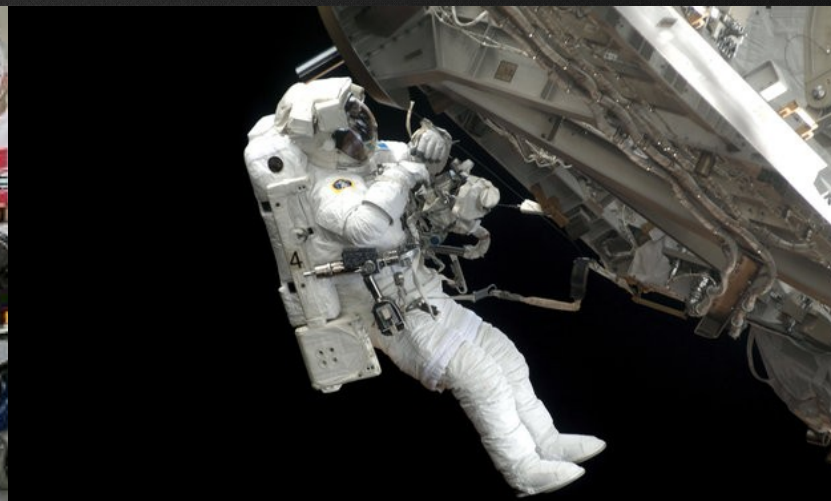
Sterowanie w trudnych warunkach



Wirtualna rzeczywistość



# Obszary zastosowań BCI

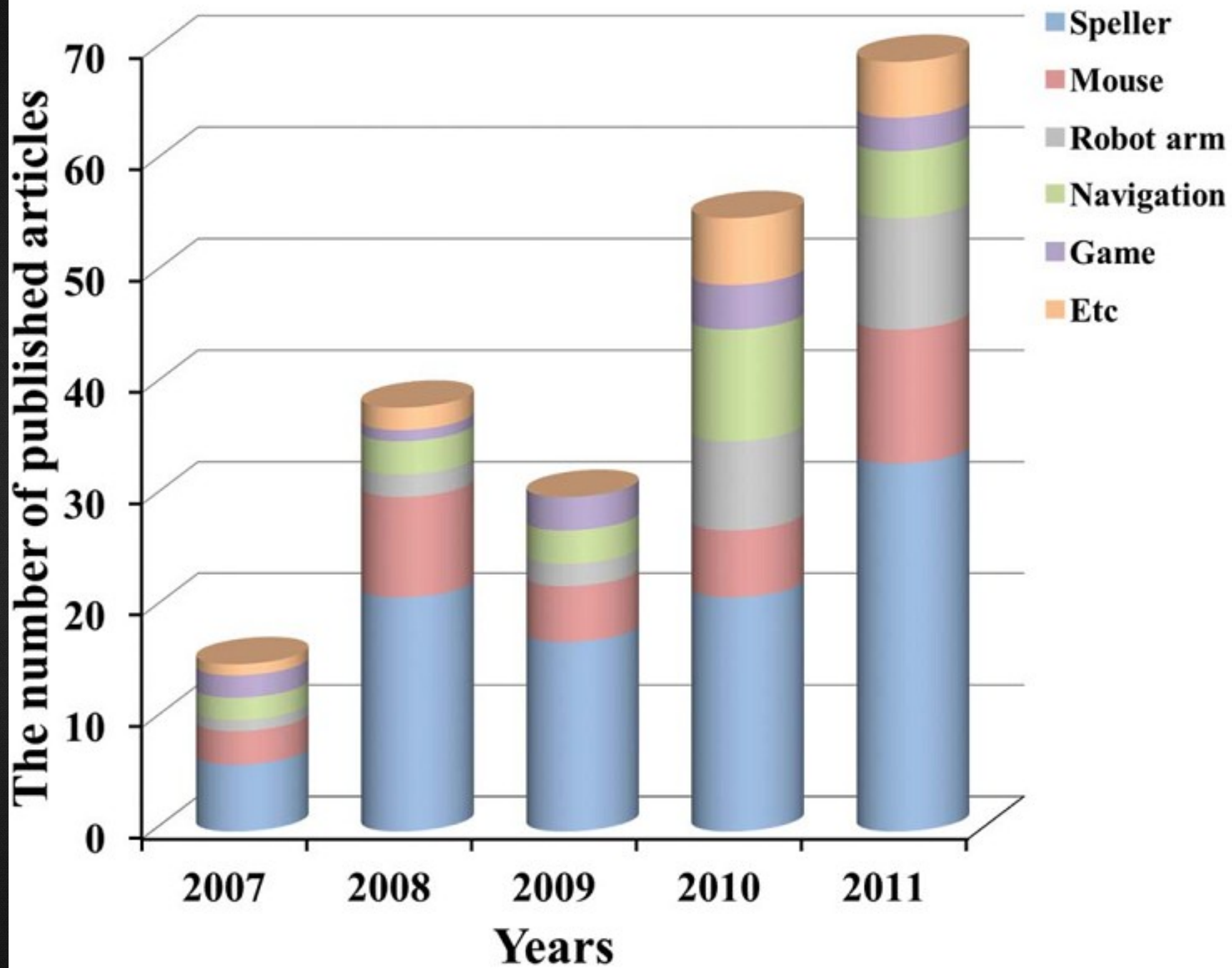


Wirtualna rzeczywistość



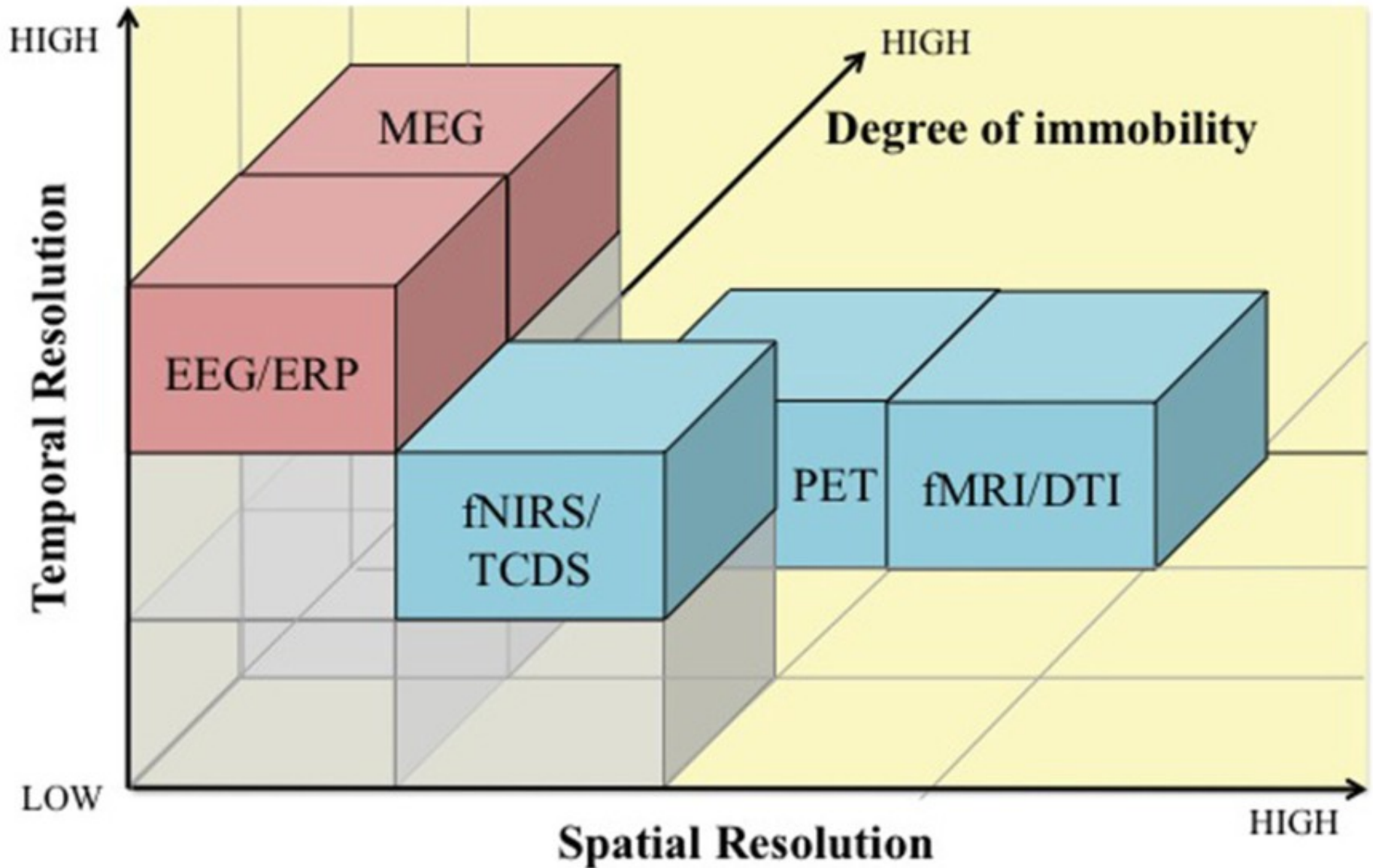
Rozrywka







# Metody rejestracji pracy mózgu w BCI





I  
N  
W  
A  
Z  
Y  
J  
N  
O  
Ś  
Ć

**Inwazyjne**  
Wszczepiane  
bezpośrednio do  
istoty szarej mózgu



Implanty mózgowie



I  
N  
W  
A  
Z  
Y  
J  
N  
O  
Ś  
Ć

### Inwazyjne

Wszczepiane  
bezpośrednio do  
istoty szarej mózgu



Implanty mózgowie  
(neuroprotezy)

### Częściowo inwazyjne

Umieszczane na  
korze mózgowej



Elektrokortykografia  
ECoG



I  
N  
W  
A  
Z  
Y  
J  
N  
O  
Ś  
Ć

**Inwazyjne**

Wszczepiane  
bezpośrednio do  
istoty szarej mózgu



Implanty mózgowie  
(neuroprotezy)

**Częściowo  
inwazyjne**

Umieszczane na  
korze mózgowej



Elektrokortykografia  
ECoG

**Nieinwazyjne**

Niewymagające  
interwencji  
chirurgicznej



Nieinwazyjne metody  
neuroobrazowania  
(fMRI, MEG, fNIRS,  
EEG)



I  
N  
W  
A  
Z  
Y  
J  
N  
O  
Ś  
Ć

**Inwazyjne**

Wszczepiane  
bezpośrednio do  
istoty szarej mózgu



Implanty mózgowie  
(neuroprotezy)

**Częściowo  
inwazyjne**

Umieszczane na  
korze mózgowej



Elektrokortykografia  
ECoG

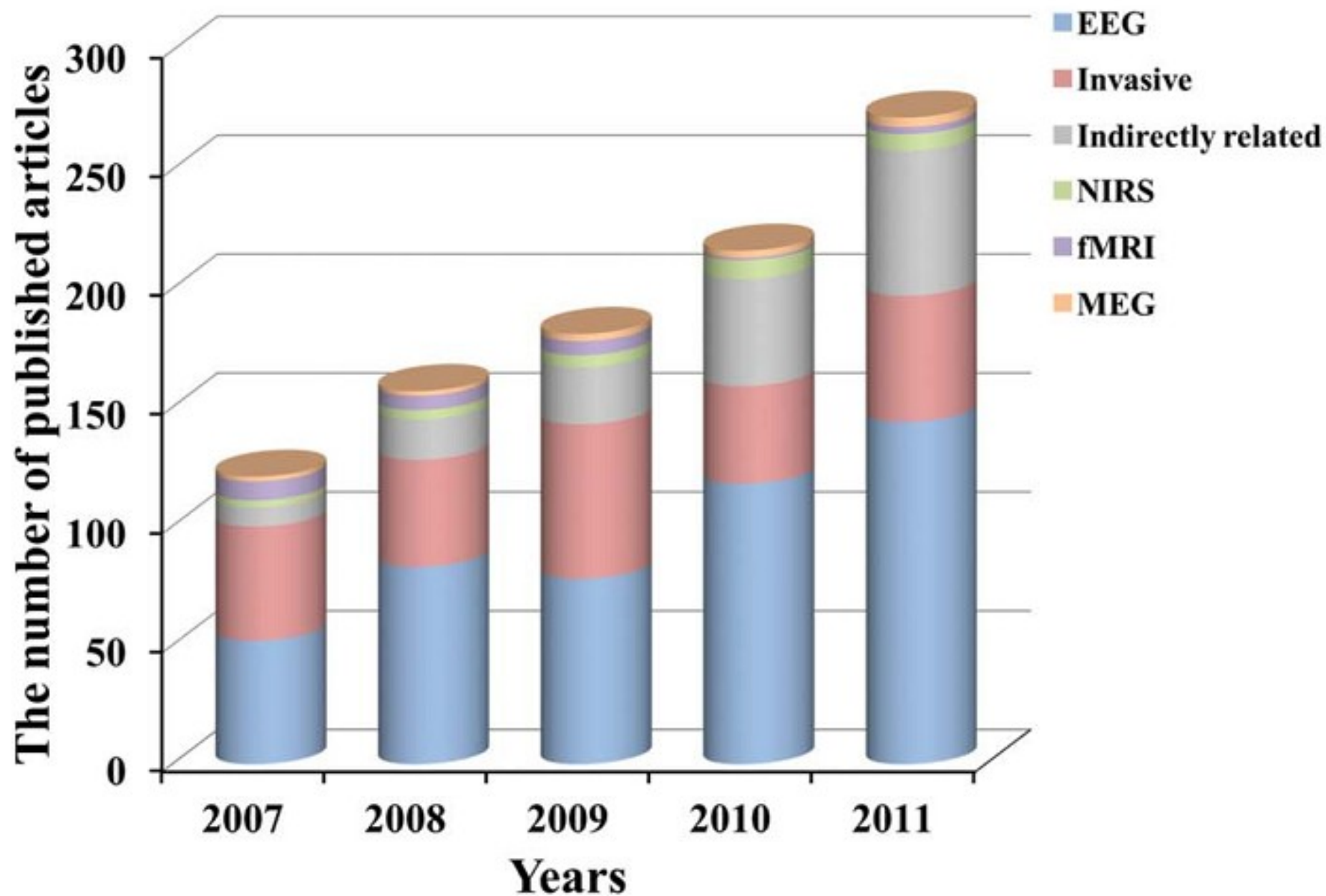
**Nieinwazyjne**

Niewymagające  
interwencji  
chirurgicznej



Nieinwazyjne metody  
neuroobrazowania  
(fMRI, MEG, fNIRS,  
**EEG**)







# EEG - BCI



Rodzaj analizowanego sygnału

**Pasywne**

Reakcja mózgu na  
prezentowane bodźce





# EEG - BCI



Rodzaj analizowanego sygnału

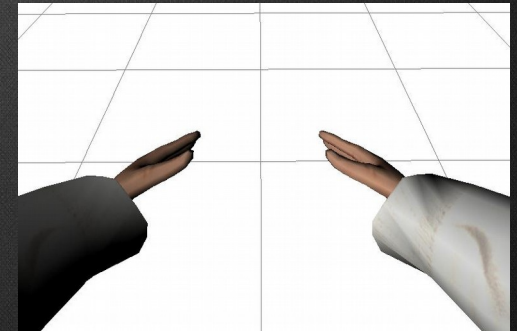
## Pasywne

Reakcja mózgu na  
prezentowane bodźce



## Aktywne

Reakcja mózgu na wykonywaną  
czynność umysłową





# EEG - BCI



Rodzaj analizowanego sygnału

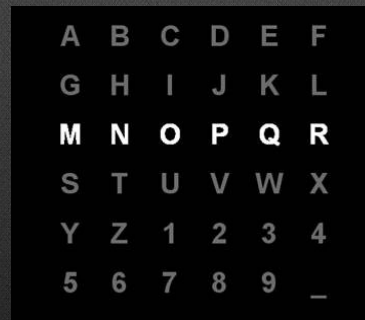
## Pasywne

Reakcja mózgu na  
prezentowane bodźce



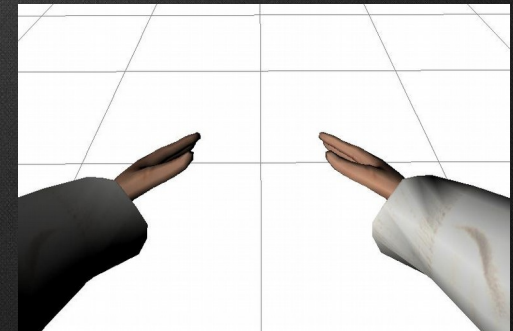
## Reaktywne

Świadomie  
ukierunkowana reakcja  
mózgu



## Aktywne

Reakcja mózgu na wykonywaną  
czynność umysłową





# EEG - BCI



Rodzaj analizowanego sygnału

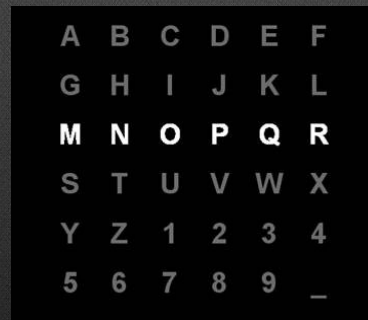
## Pasywne

Reakcja mózgu na cechy prezentowanego bodźca



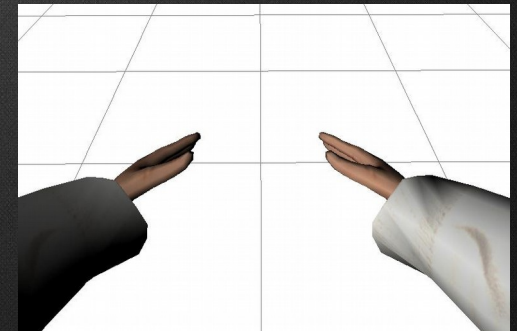
## Reaktywne

Ukierunkowana reakcja mózgu



## Aktywne

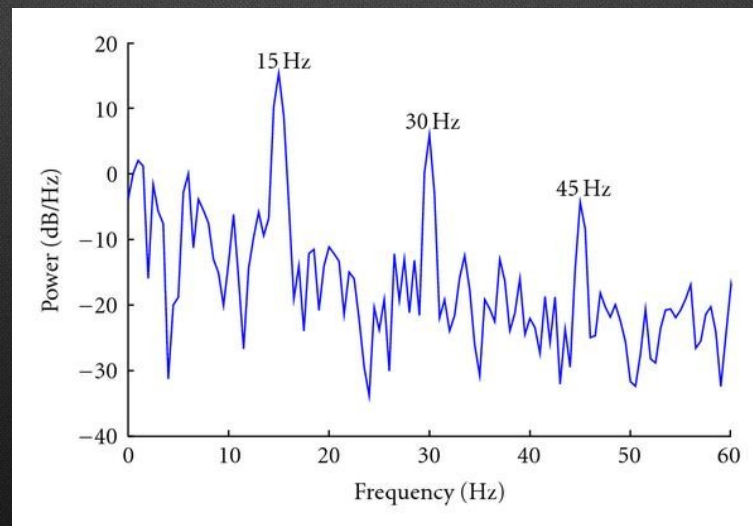
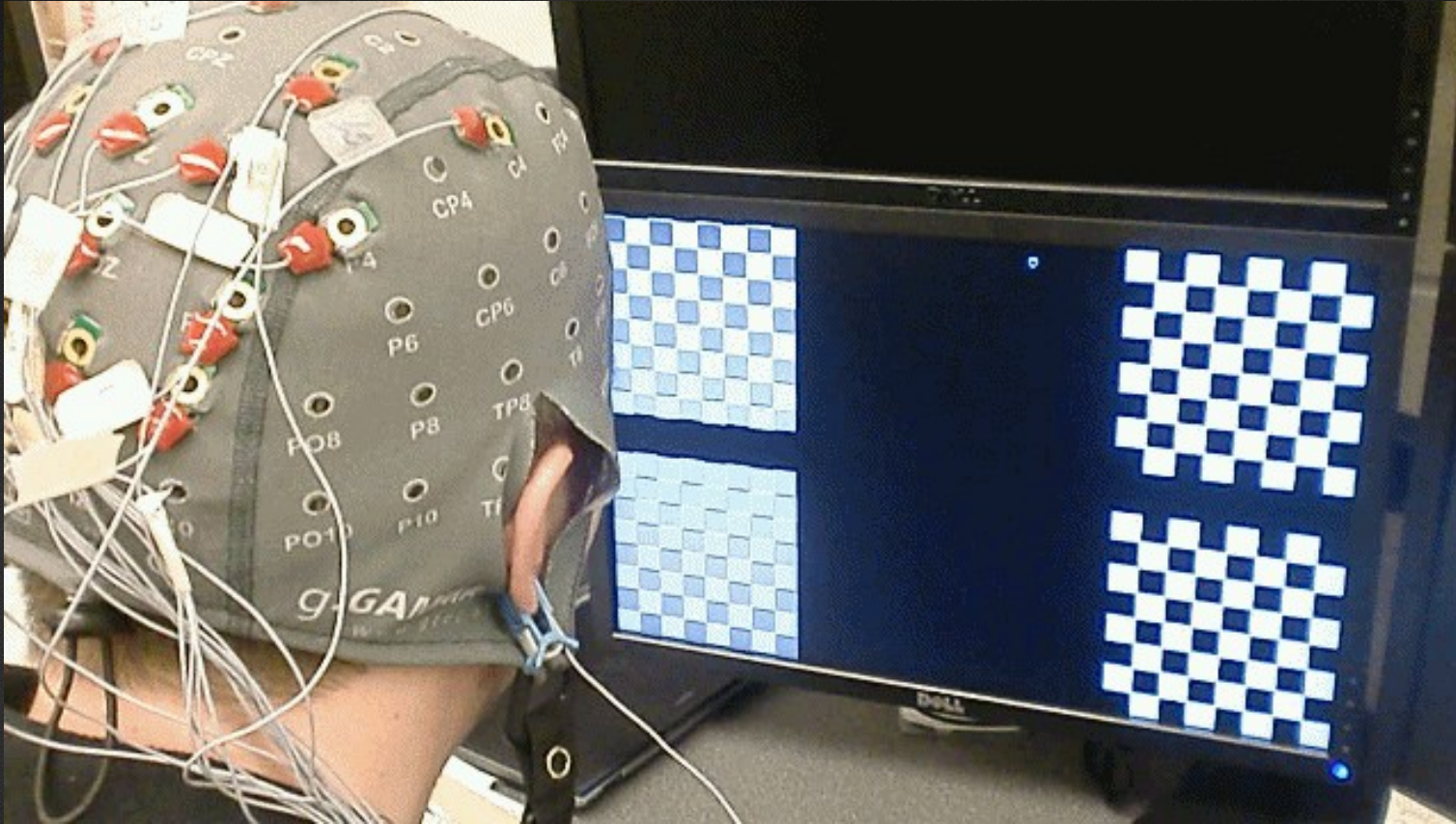
Reakcja mózgu na wykonywaną czynność umysłową



ŚWIADOMA KONTROLA

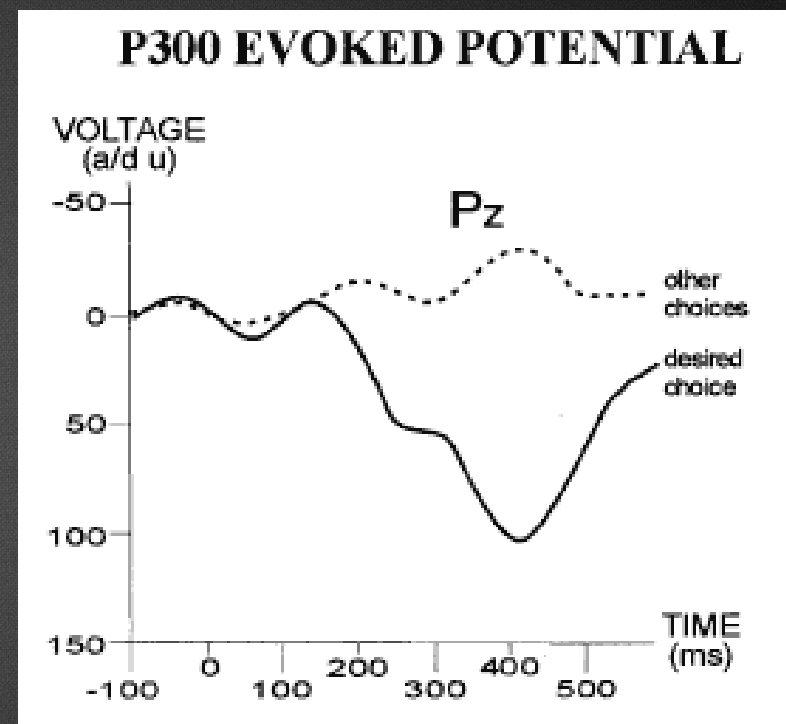
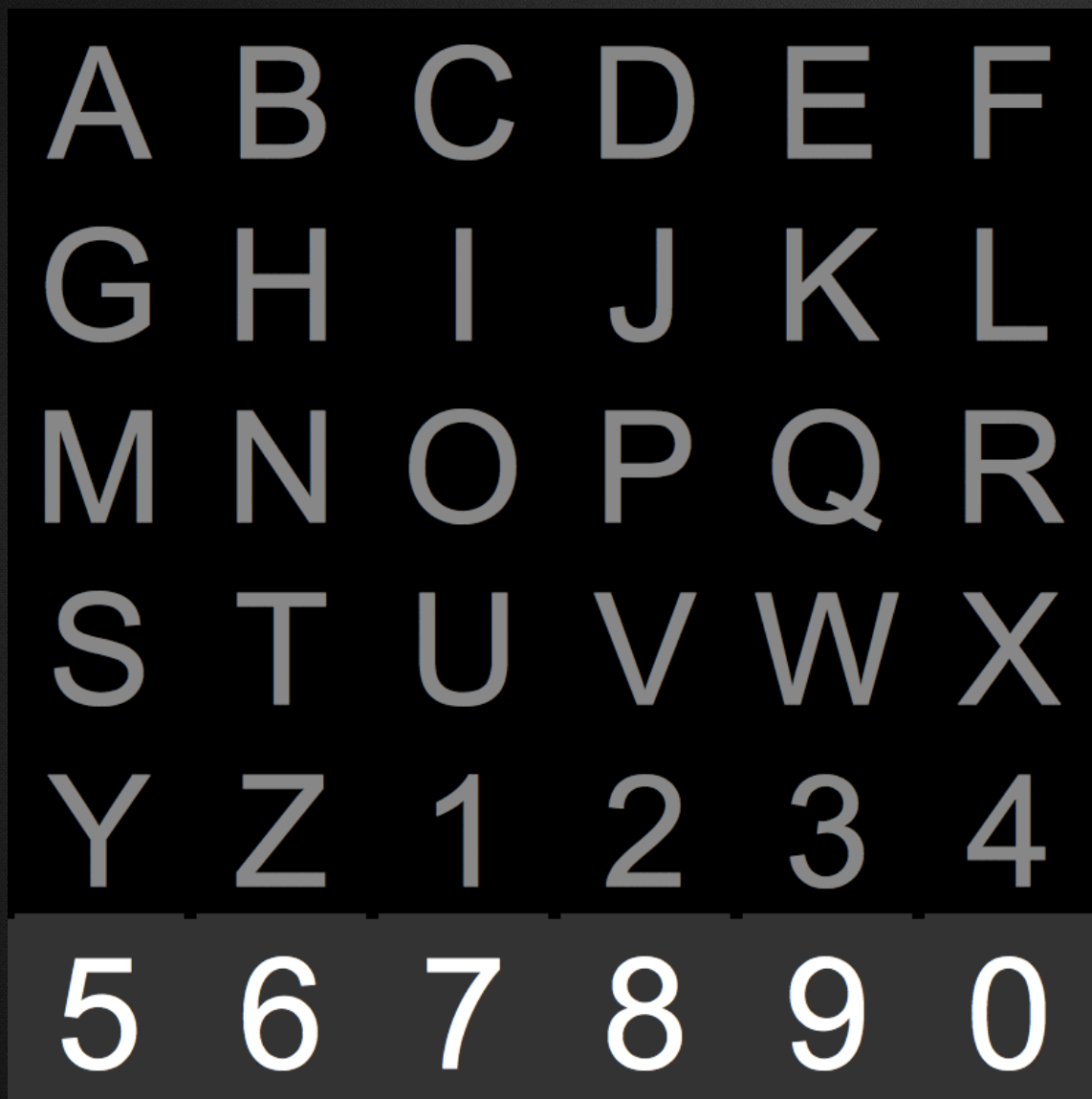


# Potencjały wywołane stanu ustalonego (SSEP)



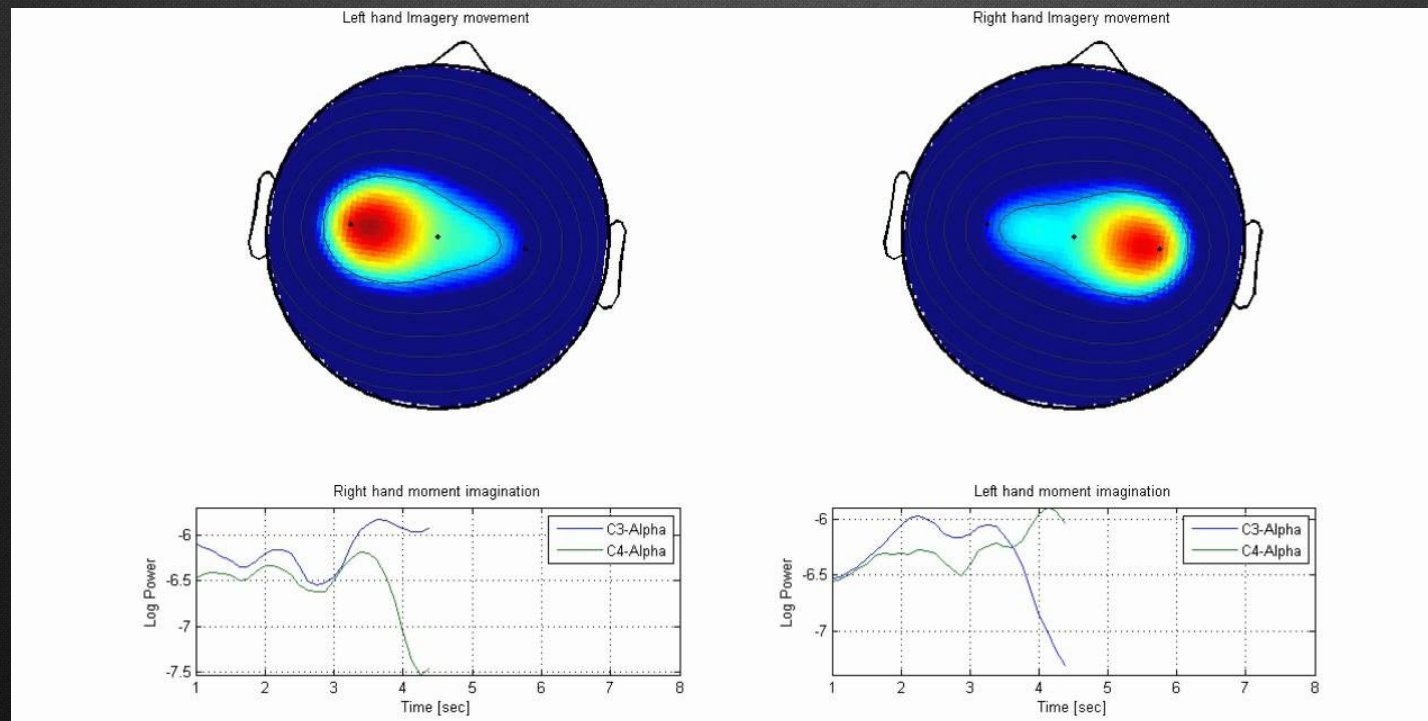
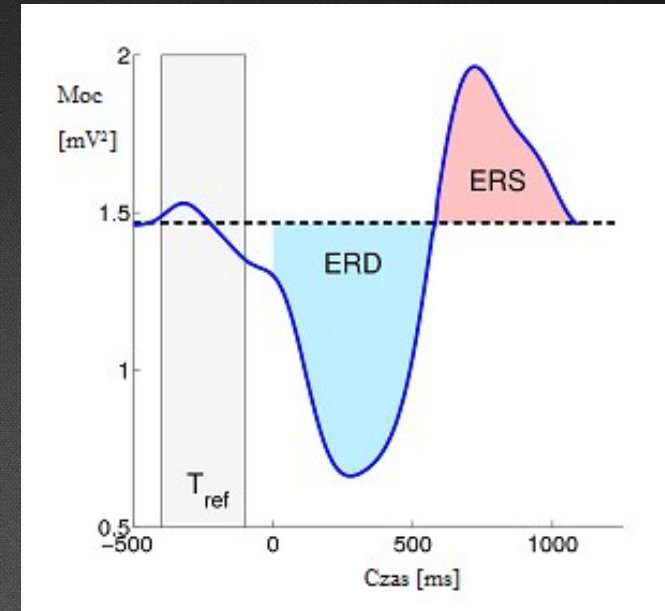
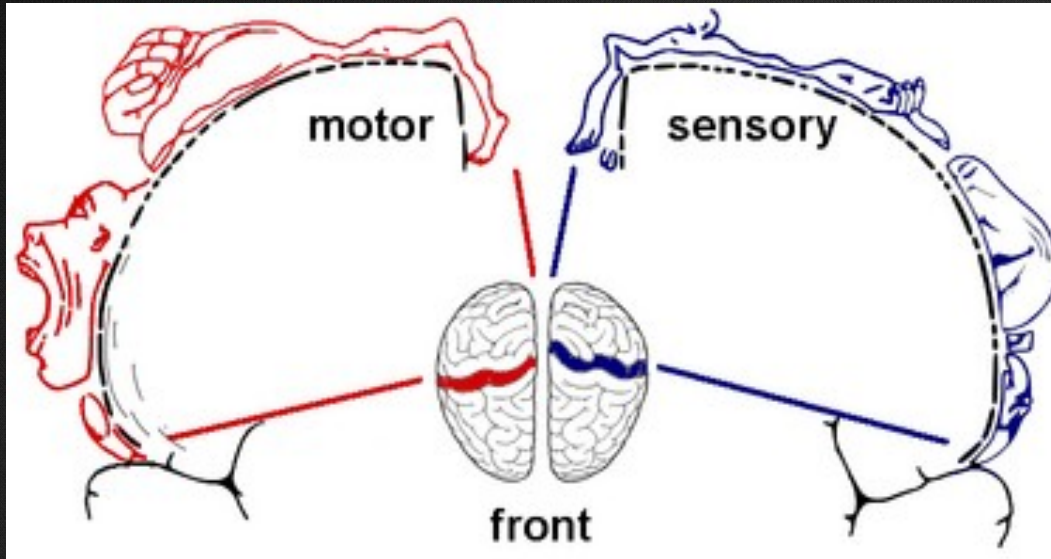


# Potencjały wywołane P300





# Rytmy czuciowo-ruchowe (SMR)





# Motor Imagery (MI)



*imagined movements:*

feet



right hand



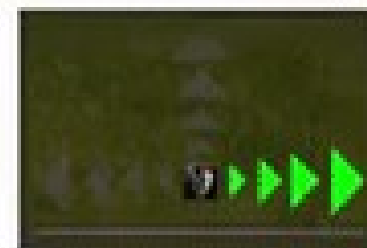
left hand



*character actions:*



run forward



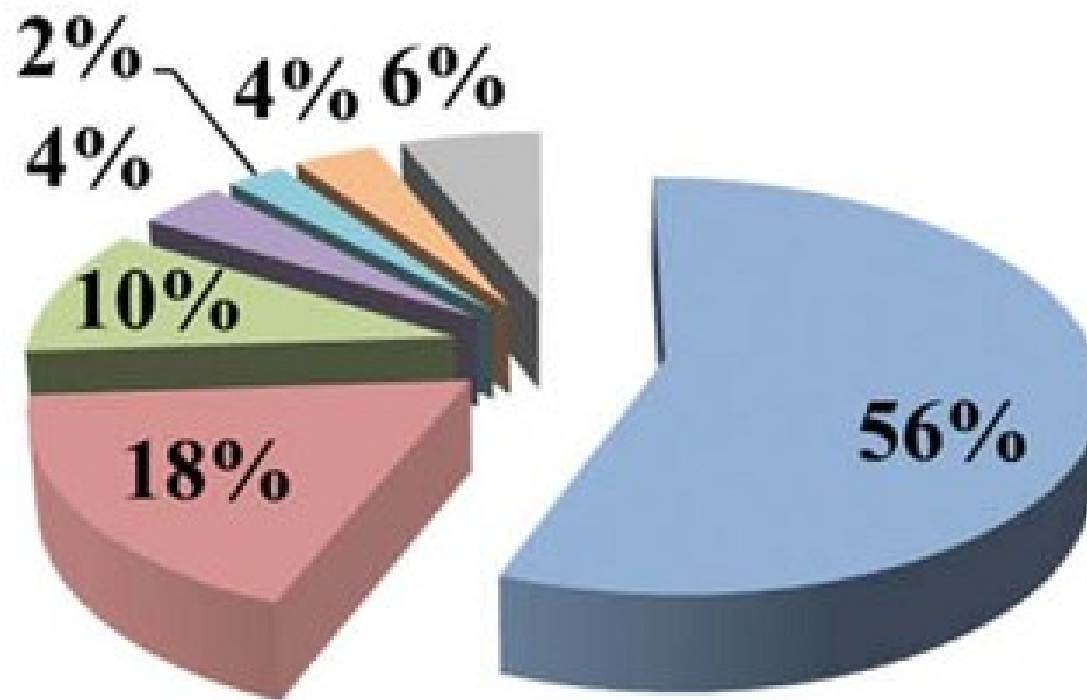
turn right



turn left



**2007 - 2011**

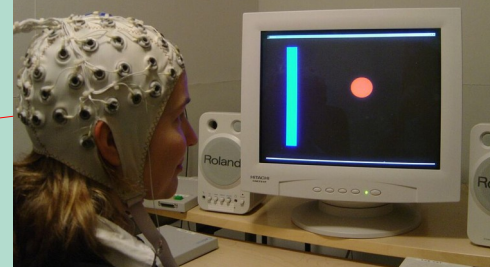
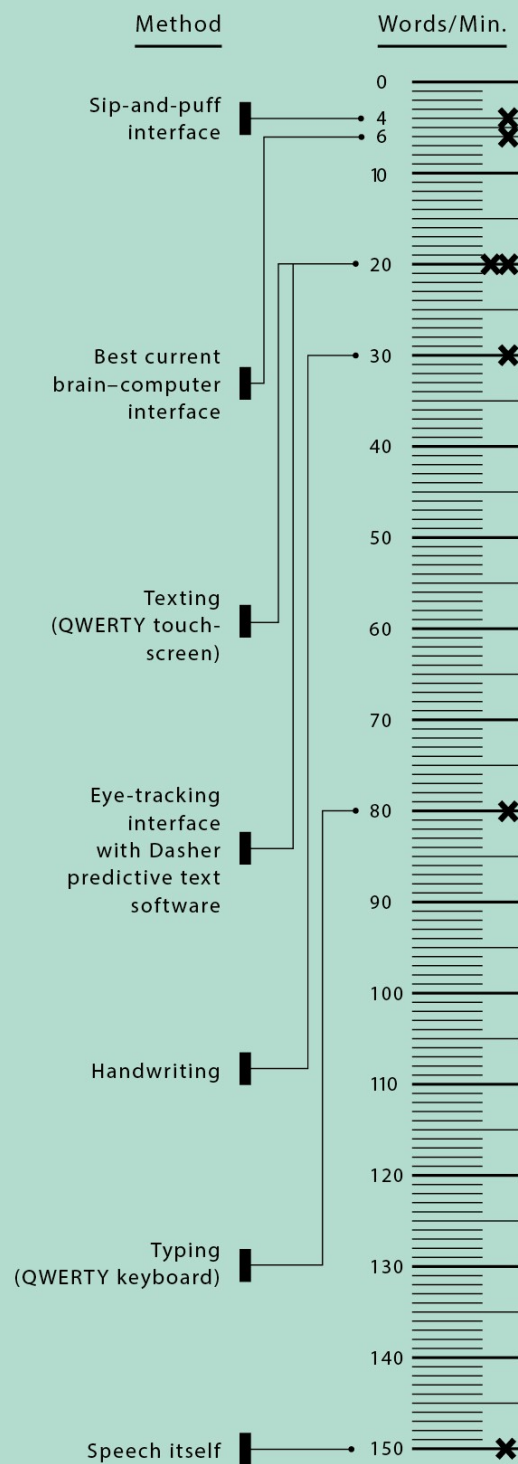


■ Motor imagery	■ Visual P300	■ SSVEP	■ Non-motor mental imagery
■ Auditory	■ Hybrid	■ Etc	



*Kiedy interfejsy mózg-komputer  
staną się użyteczne?*

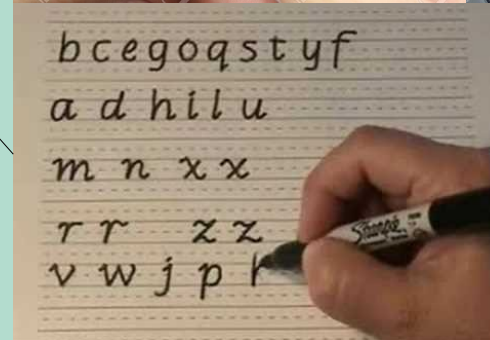




4-6 słów/min



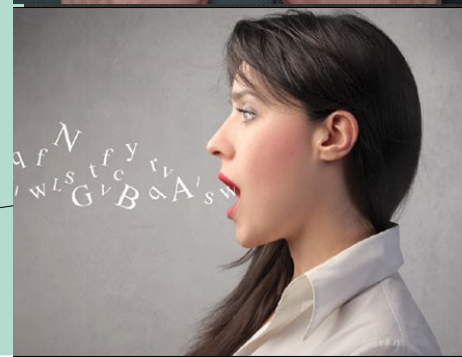
20  
słów/  
min



30 słów/min

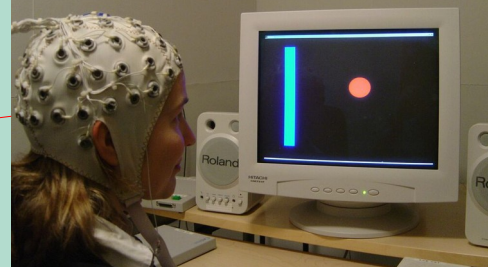
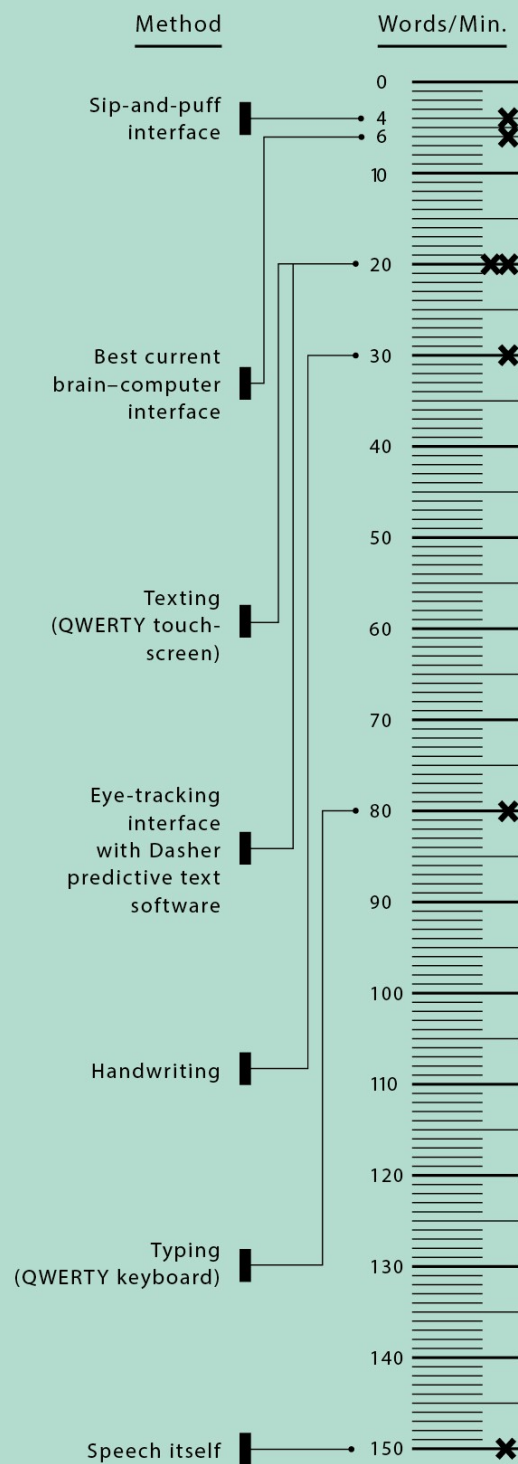


80 słów/min



150 słów/min

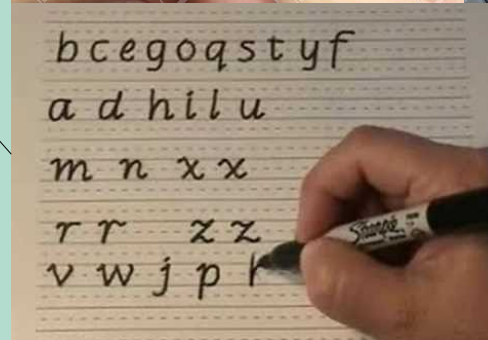




4-6 słów/min



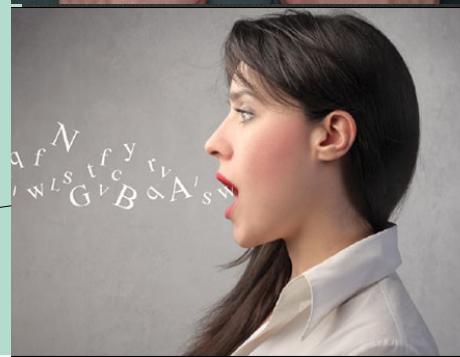
20  
słów/  
min



30 słów/min



80 słów/min



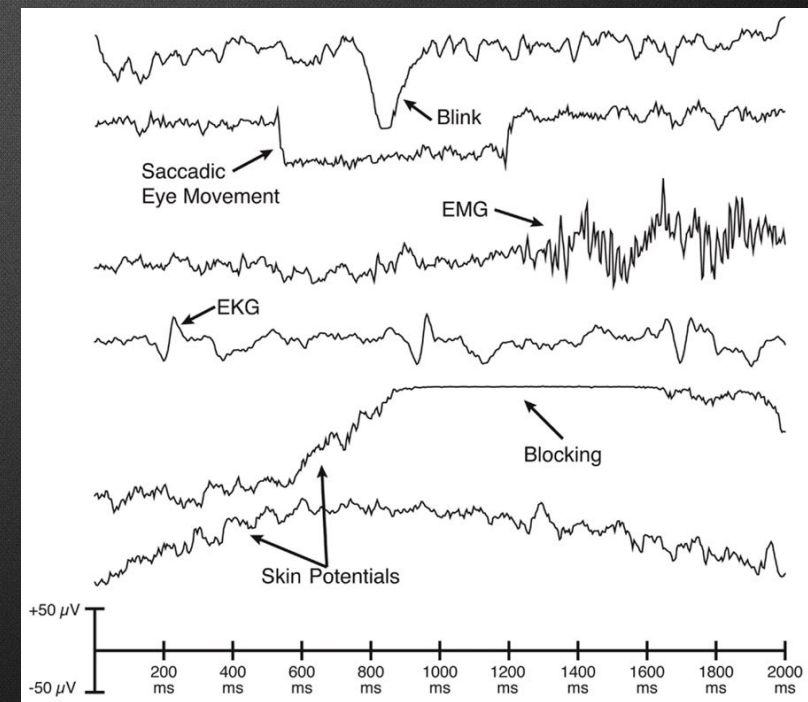
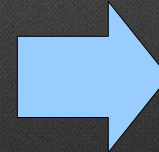
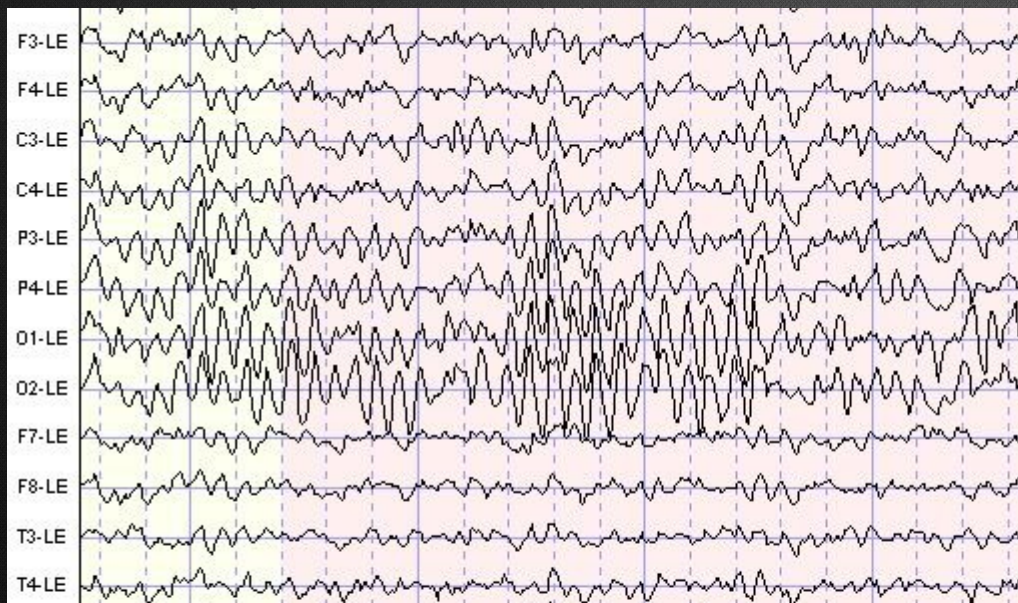
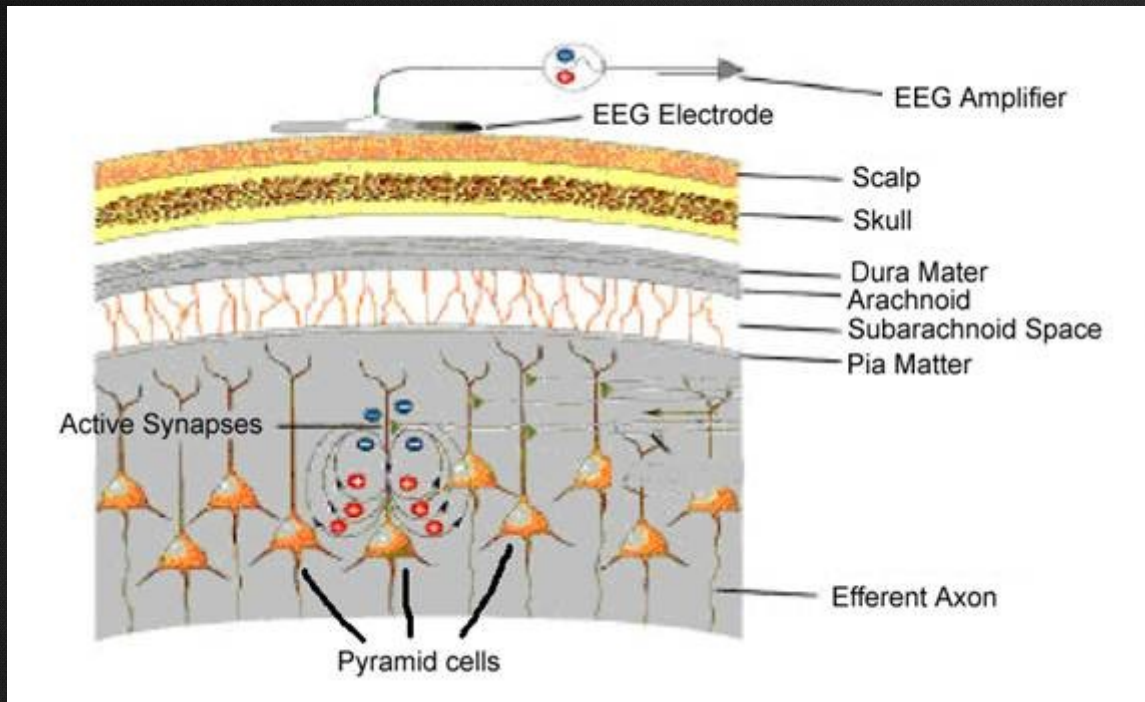
150 słów/min



*Dlaczego BCI są tak mało wydajne?*



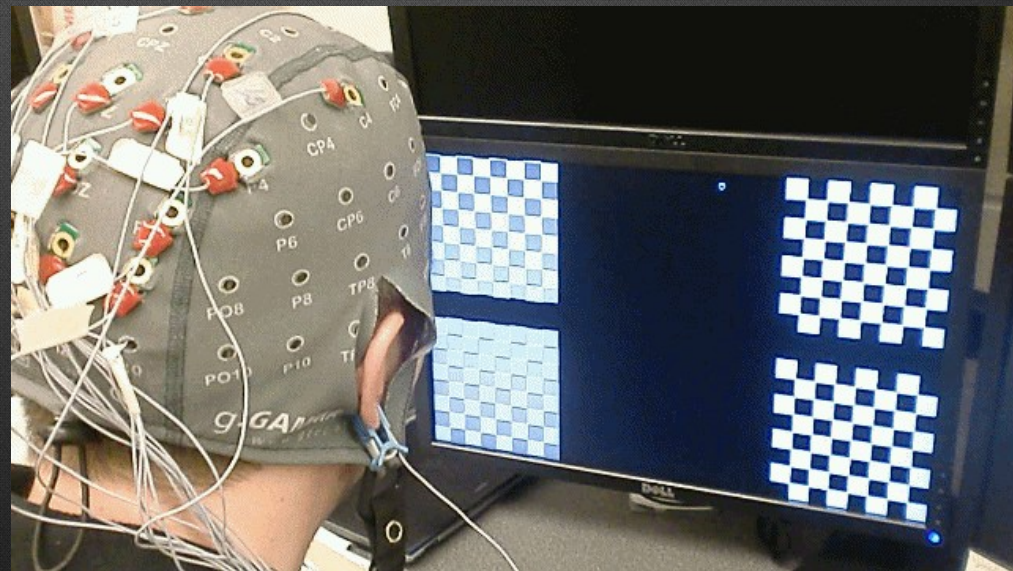
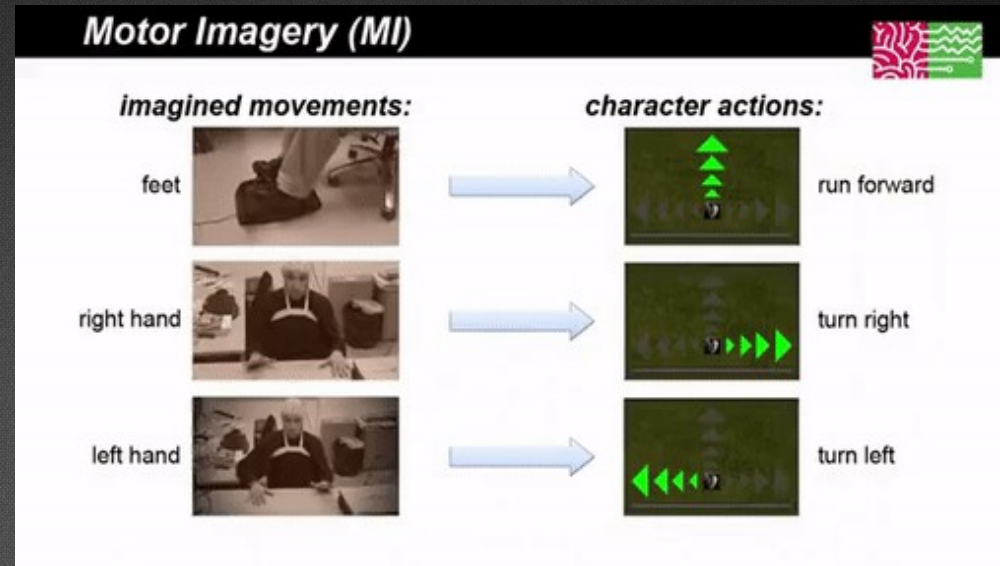
# Ograniczenia techniczne (stosunek szumu do sygnału)





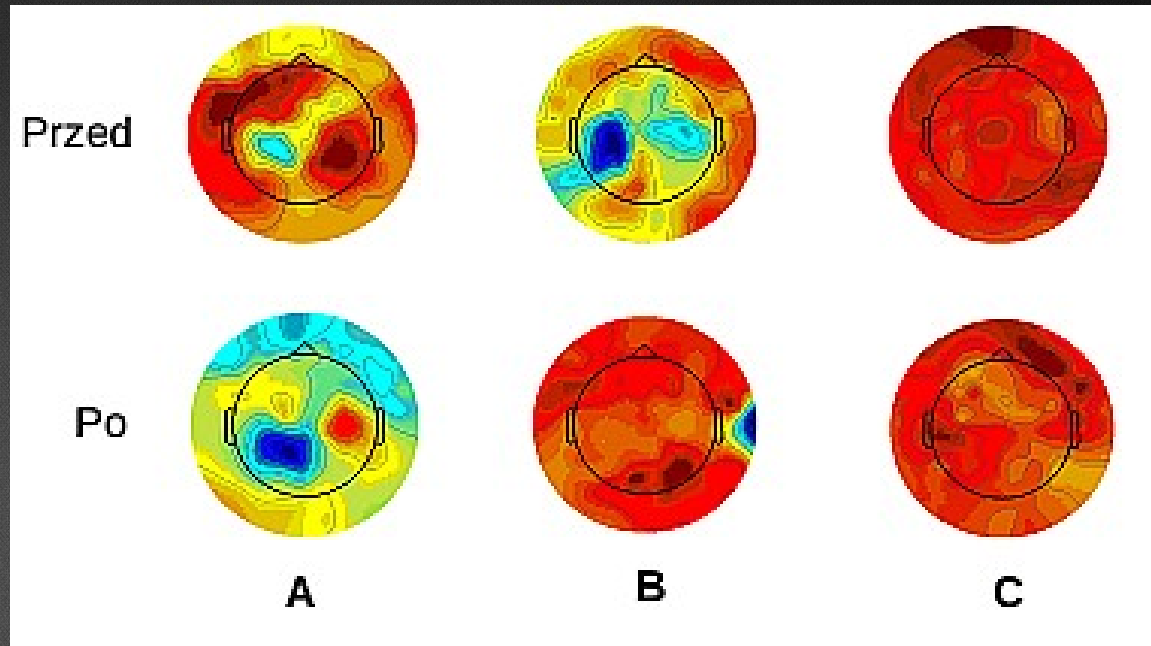
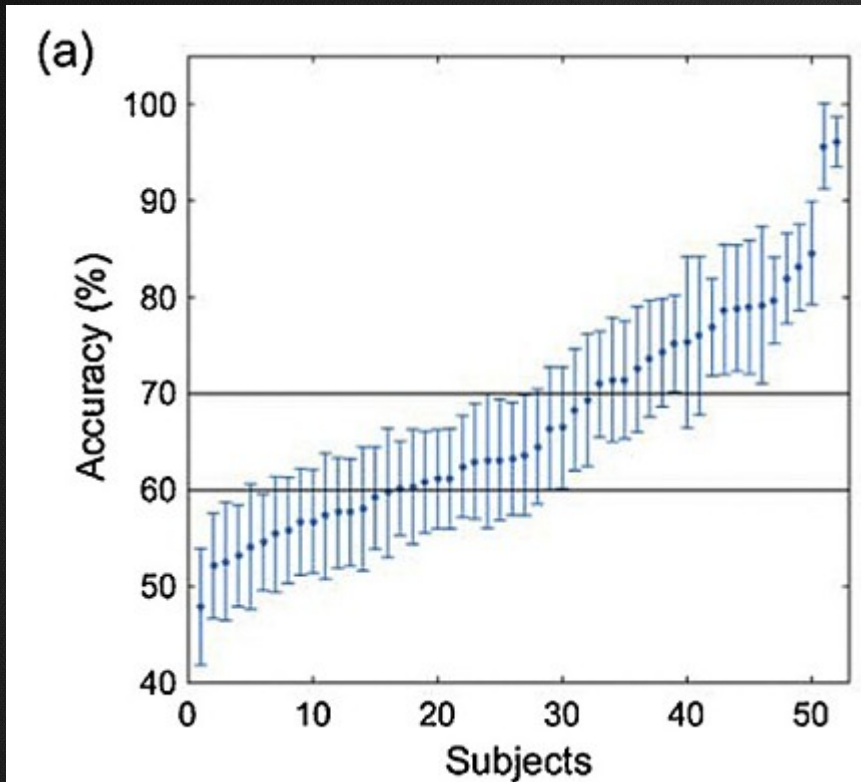
# Zmęczenie i przeciążenie poznawcze

A B C D E F  
G H I J K L  
M N O P Q R  
S T U V W X  
Y Z 1 2 3 4  
5 6 7 8 9 0





# Różnice indywidualne - „analfabetyzm BCI”



Zapała, D., Francuz, P., Zapała, E., Kopiś, N., Wierzgała, P., Augustynowicz, P., ... & Kołodziej, M. (2018). The impact of different visual feedbacks in user training on motor imagery control in BCI. *Applied psychophysiology and biofeedback*, 43(1), 23-35.

Zapała, D., Małkiewicz, M., Francuz, P., Kołodziej, M., & Majkowski, A. (2019). Temperament Predictors of Motor Imagery Control in BCI. *Journal of Psychophysiology*.



# Niewielki postęp w zakresie rozwoju algorytmów przetwarzania sygnału

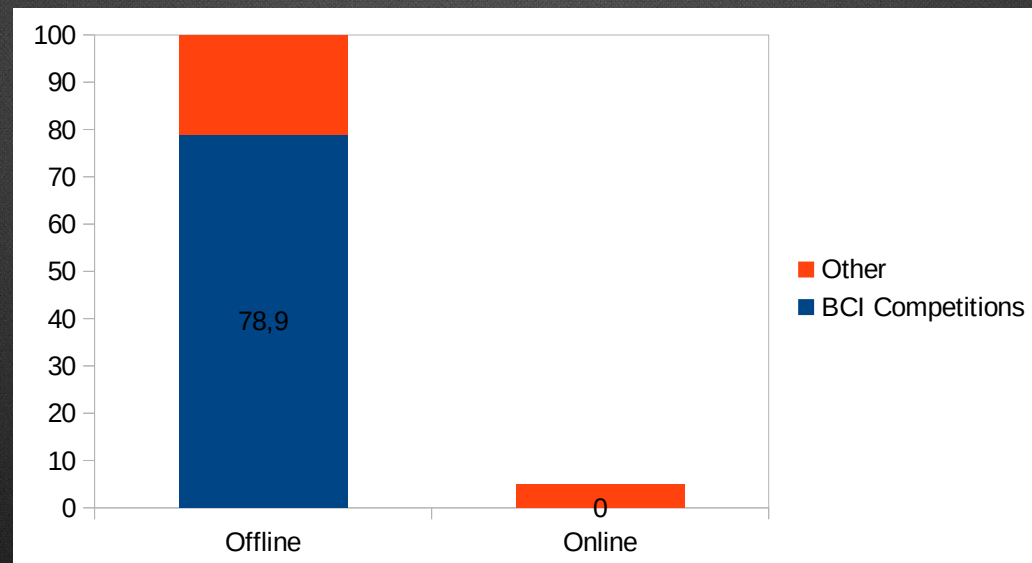
*No correspondence was observed between the reported CCA and the year in which the results were published. During the period in question the accuracy of the solutions examined decreased significantly!*

year;  $B = -0.97$ , CI 95%:  $-1.26$  to  $-0.68$ ;  $p = 0.005$

*BCI Meeting*

*1999 NY – 22 research groups from 6 countries*

*2013 Albany – 165 research groups from 29 countries*



Wierzgała, P., Zapala, D., Wójcik, G. M., & Masiak, J. (2018). Most popular signal processing methods in motor-imagery BCI: a review and meta-analysis. *Frontiers in neuroinformatics*, 12, 78.



# *Kiedy BCI staną się użyteczne?*

- Wtedy, gdy opracujemy techniki rejestracji pracy mózgu bardziej odporne na wpływ zewnętrznych i wewnętrznych artefaktów w zapisie
- Wraz z opracowaniem metody analizy sygnału potrafiących lepiej odnajdywać wzorce odpowiadające określonym procesom umysłowym
- Gdy możliwe będzie dostosowanie pracy interfejsów do różnic między użytkownikami oraz zmian warunków w trakcie korzystania z urządzenia
- Gdy lepiej zrozumiemy różnice w funkcjonowaniu poznawczym ludzi oraz ich indywidualne wzorce aktywności neuronalnej
- Kiedy nauczymy się tworzyć interfejsy proste w obsłudze, ergonomiczne i w pełni autonomiczne
- Gdy nauczymy użytkowników komunikować się ze światem w ten nietypowy sposób

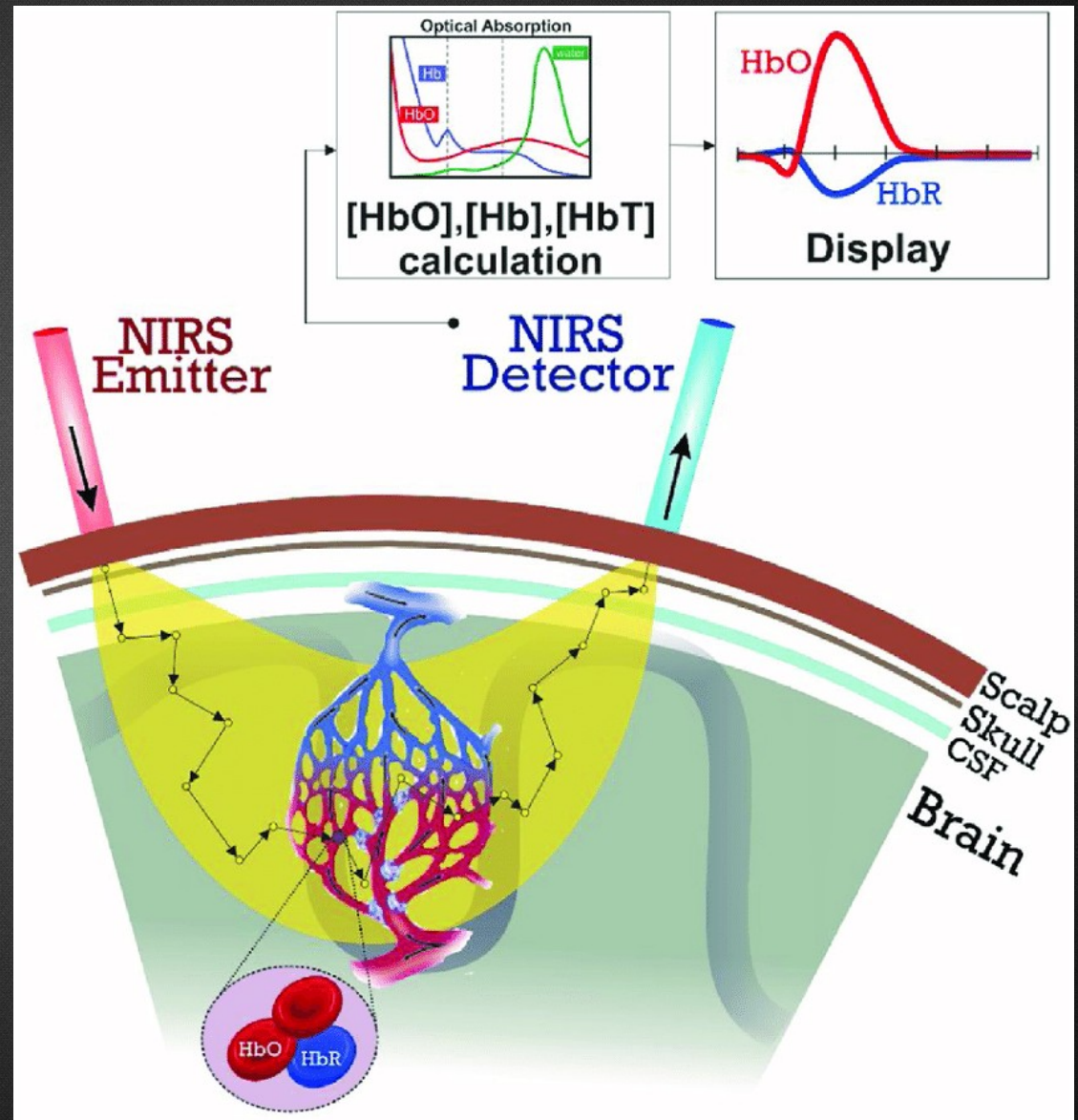


# *Kiedy BCI staną się użyteczne?*

- Wtedy, gdy opracujemy techniki rejestracji pracy mózgu bardziej odporne na wpływ zewnętrznych i wewnętrznych artefaktów w zapisie
- Wraz z opracowaniem metody analizy sygnału potrafiących lepiej odnajdywać wzorce odpowiadające określonym procesom umysłowym
- Gdy możliwe będzie dostosowanie pracy interfejsów do różnic między użytkownikami oraz zmian warunków w trakcie korzystania z urządzenia
- Gdy lepiej zrozumiemy różnice w funkcjonowaniu poznawczym ludzi oraz ich indywidualne wzorce aktywności neuronalnej
- Kiedy nauczymy się tworzyć interfejsy proste w obsłudze, ergonomiczne i w pełni autonomiczne
- Gdy nauczymy użytkowników komunikować się ze światem w ten nietypowy sposób

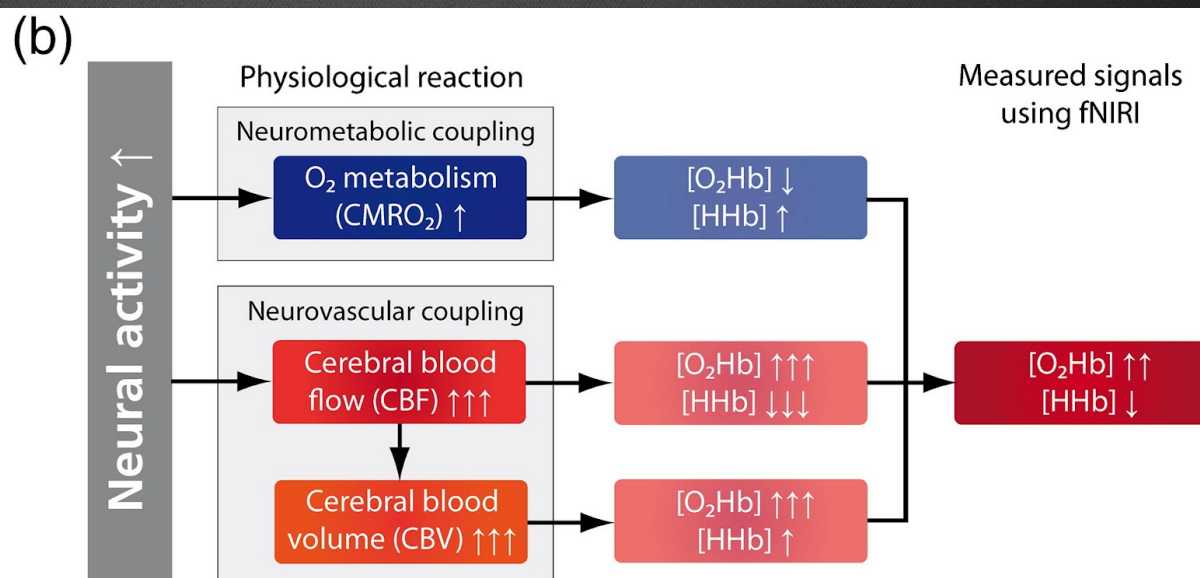
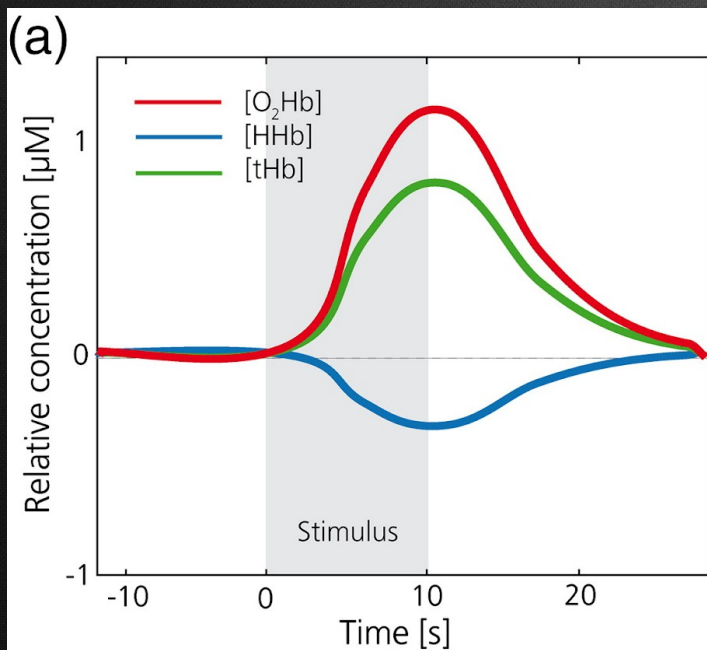
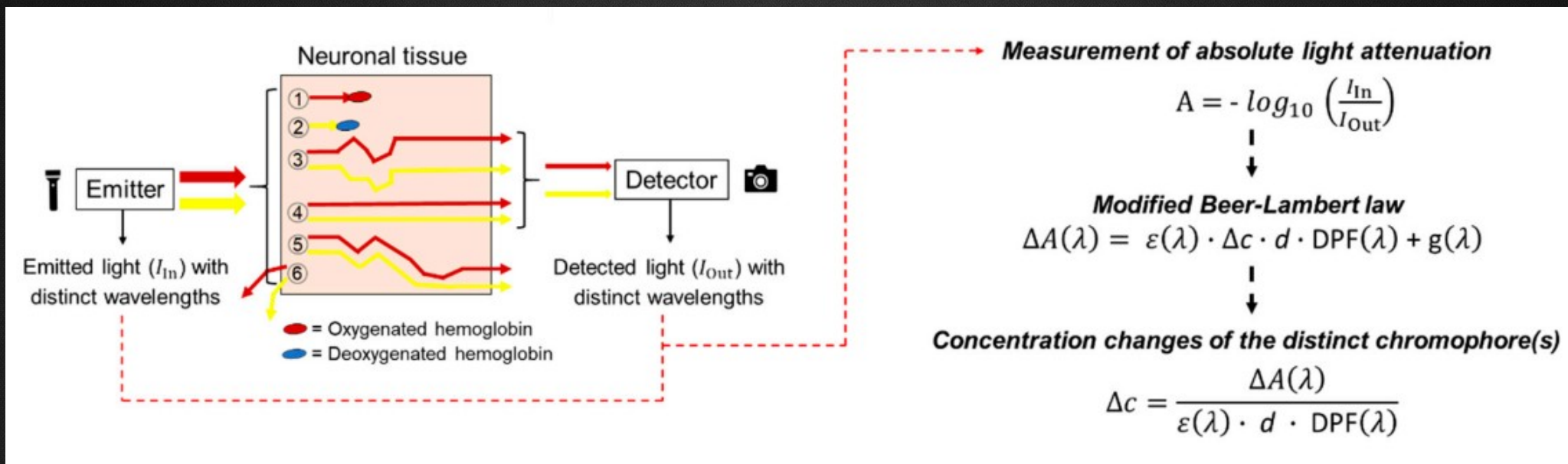


# Funkcjonalna spektroskopia bliskiej podczerwieni



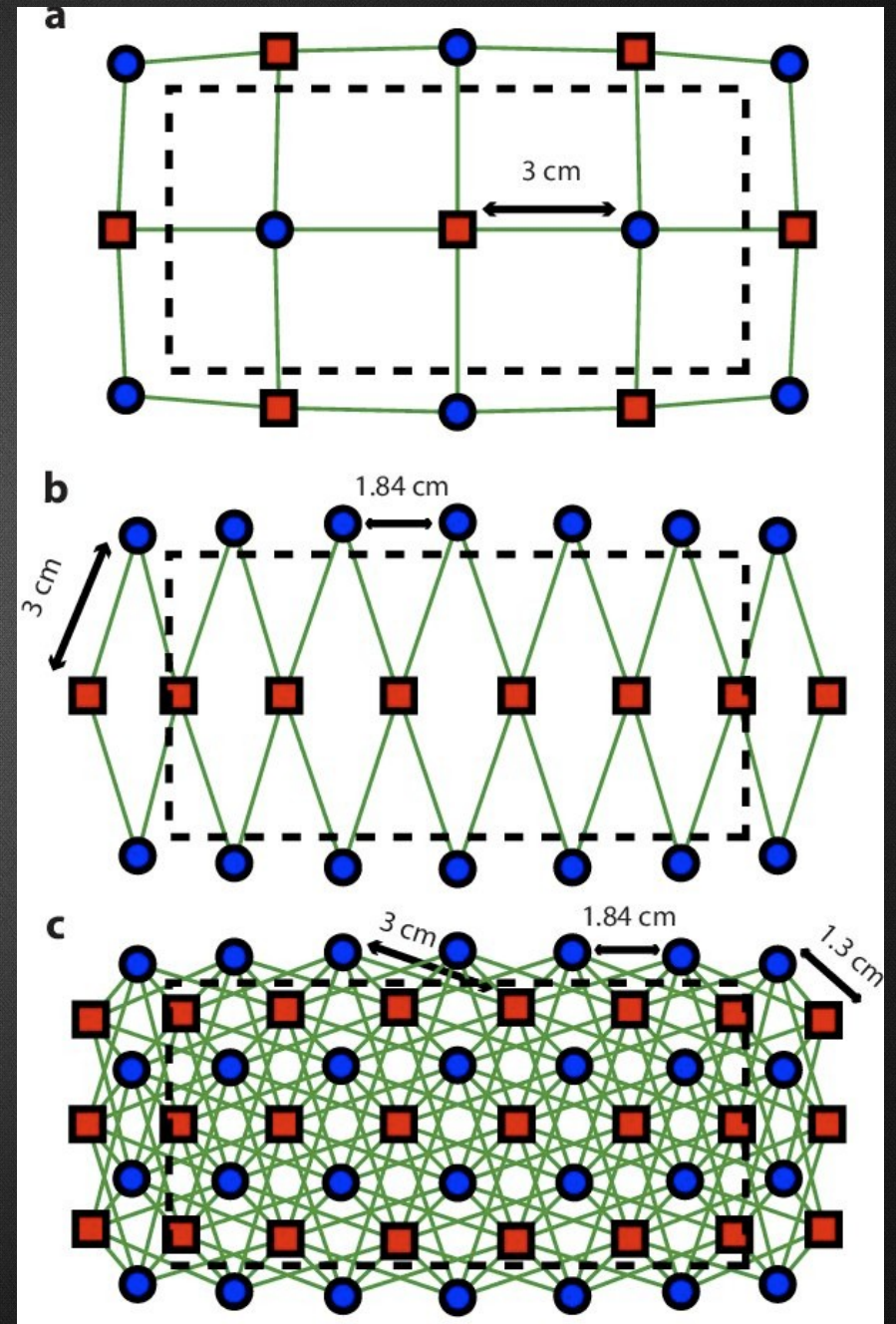
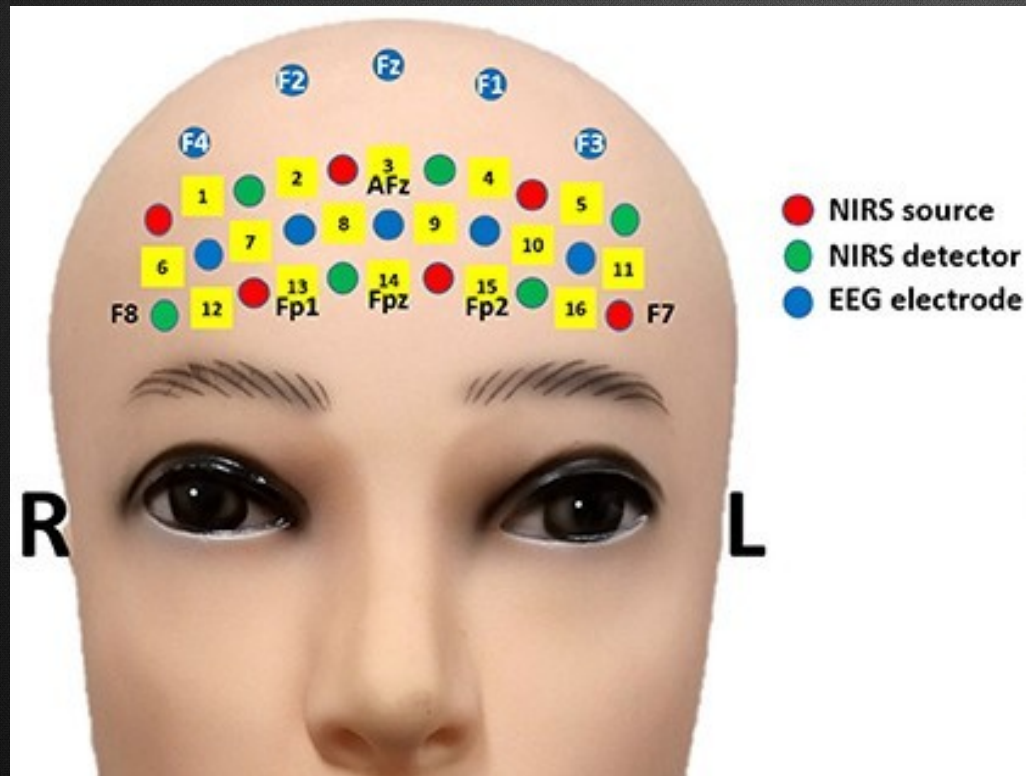
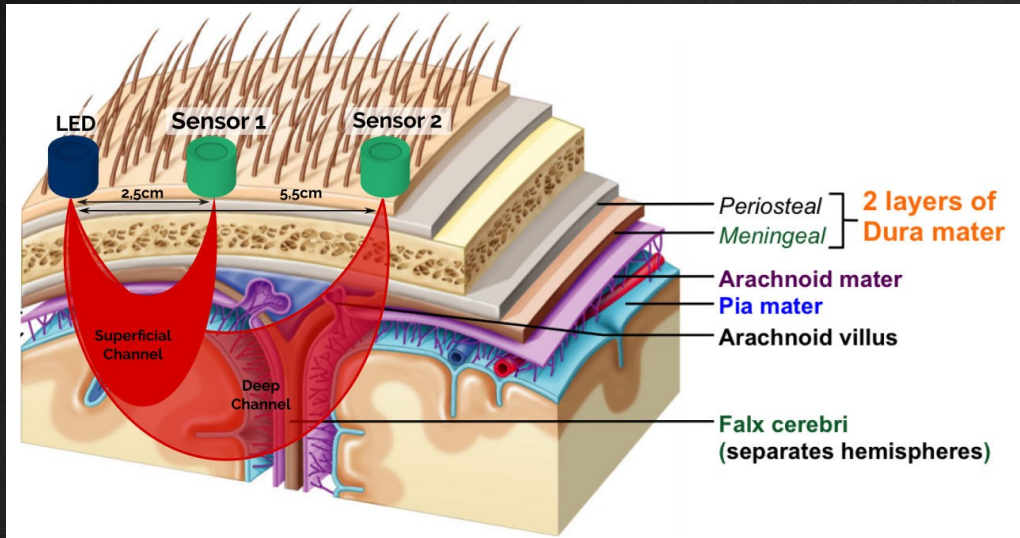


# Zasada działania





# Zasada działania





# Największa zaleta (mobilność)





# Dzięki za uwagę!

[dzapala@kul.pl](mailto:dzapala@kul.pl)

