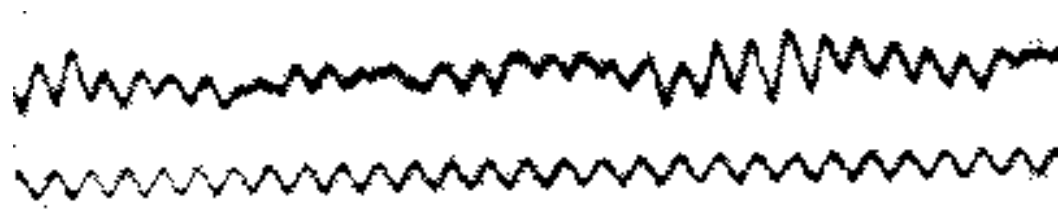


# Electroencefalografija - EEG

& električna aktivnost možganov

# Zgodovina EEG

- **Richard Caton** (1875) – lokalizacija senzoričnih funkcij pri opicah in zajcih.
- **Hans Berger** (1924) – prvo snemanje signalov EEG na ljudeh - opisal je alfa valovanje in njegovo supresijo v primerjavi z valovanjem beta.
- **William Grey Walter** – pod vplivom Ivana Pavlova in Hansa Bergerja, dodelal snemanje signalov EEG in odkril valovanje delta (1937) in theta (1953)



Prvi signal EEG, ki ga je leta 1924 posnel Hans Berger. Zgornji signal je EEG, spodnji pa referenčni signal s frekvenco 10 Hz (za merjenje časa).

Hans Berger (1924)

# EEG - seštevek el. potencialov

EEG je seštevek ekscitatornih in inhibicijskih postsinaptičnih potencialov (EPSP, IPSP)

EEG ne meri:

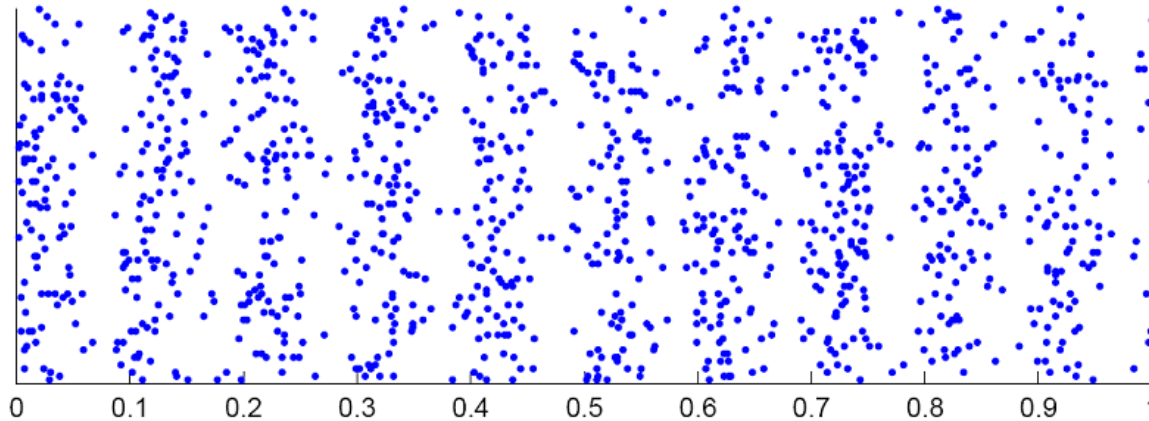
- **akcijskih potencialov**
- **vsote akcijskih potencialov**

EEG meri:

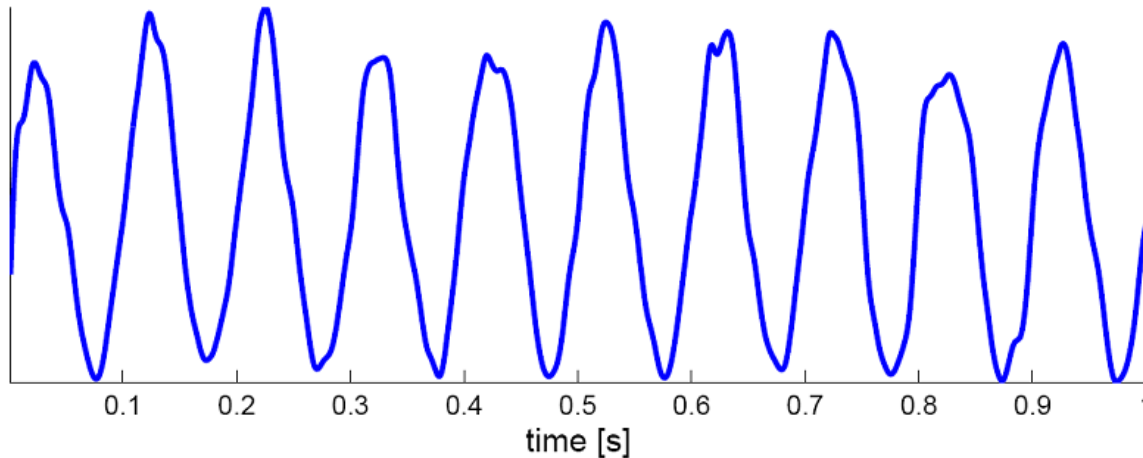
- **obteženo vsoto postsinaptičnih potencialov (PSPs) piramidalnih nevronov: ob PSP nastane med telesom piramidnega nevrona in sinapso apikalnega dendrita el. dipol**

# Oscilacije v aktivnosti nevronov

neuronal spiking



local field potential



Simulacija nevronske nihanj pri 10 Hz. Zgornji graf kaže potenciale posameznih nevronov (vsaka pika predstavlja individualni akcijski potencial znotraj populacije nevronov). Spodnji graf prikazuje lokalni el. potencial, ki odraža obtežen seštevek aktivnosti vseh nevronov.

Sinhronizirane aktivnosti velikega števila nevronov povzročijo makroskopske oscilacijske električna polja, ki jih je mogoče opaziti v EEG in MEG.

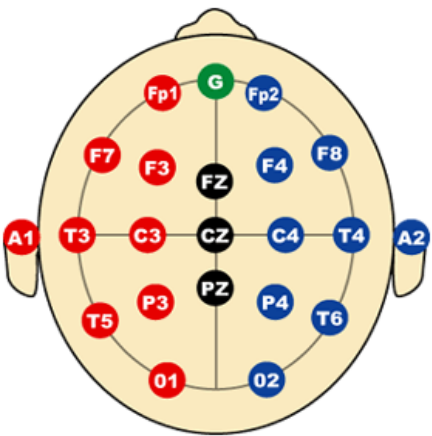
# Snemanje signalov EEG



- 8 – 64 kanalov posnetih sočasno iz elektrod, ki so po glavi razmeščene po mednarodnem standardu 10-20 (oz njegovih izpeljankah).

Potrebna oprema:

- Elektrode & kapa
- Ojačevalnik
- Filtri
- A/D pretvornik
- Računalnik



# Terminologija Sistema 10/20

**Koren nosu (Nasion):**  
točka na vrhu  
nosnega korena

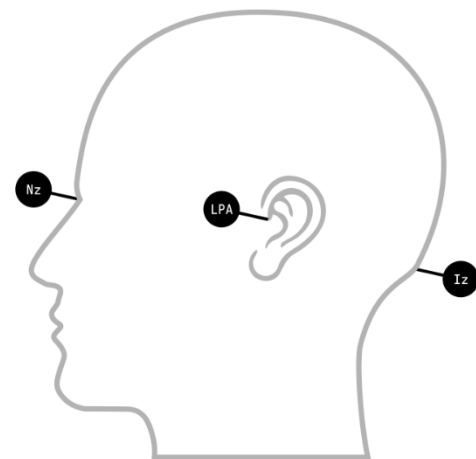
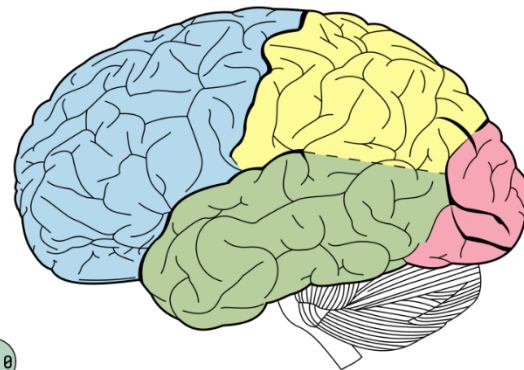
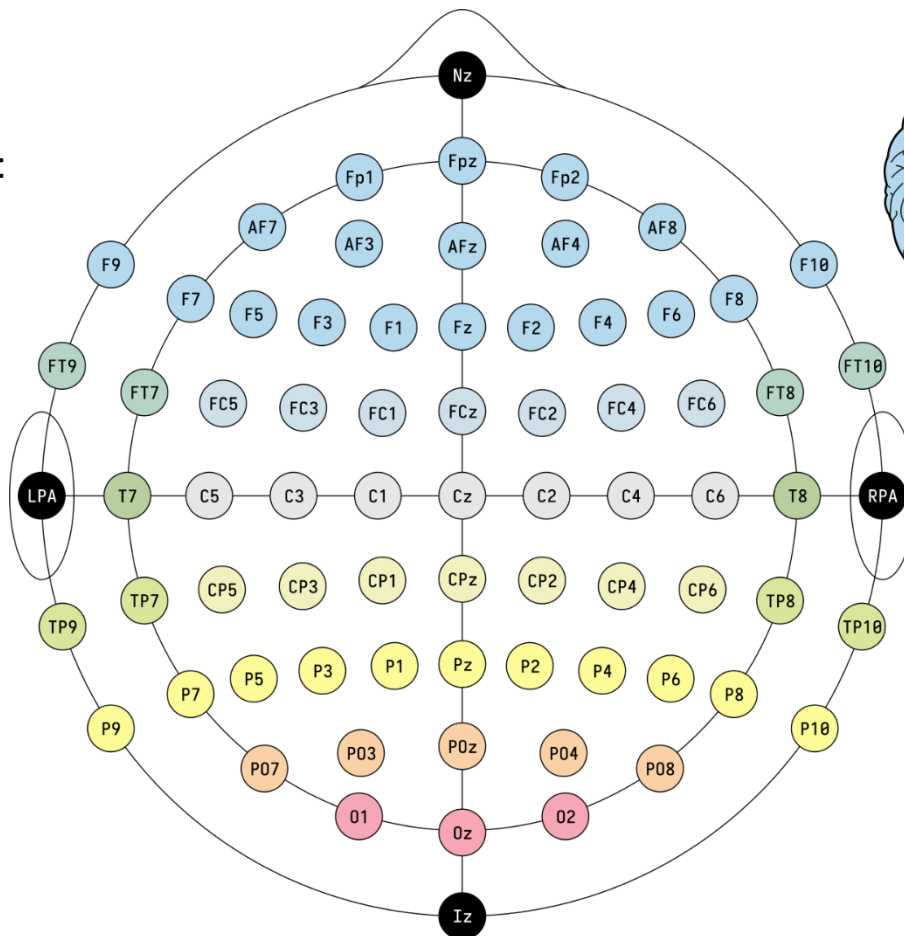
**Zatilni rob lobanje (Inion):**  
zadebelina na dnu  
hrbtne strani lobanje

**Lokacije:**

- Frontal (čelni reženj),
- Temporal (senčni reženj),
- Parietal (temenski reženj)
- Occipital (zatilni reženj)
- Central (centralni)

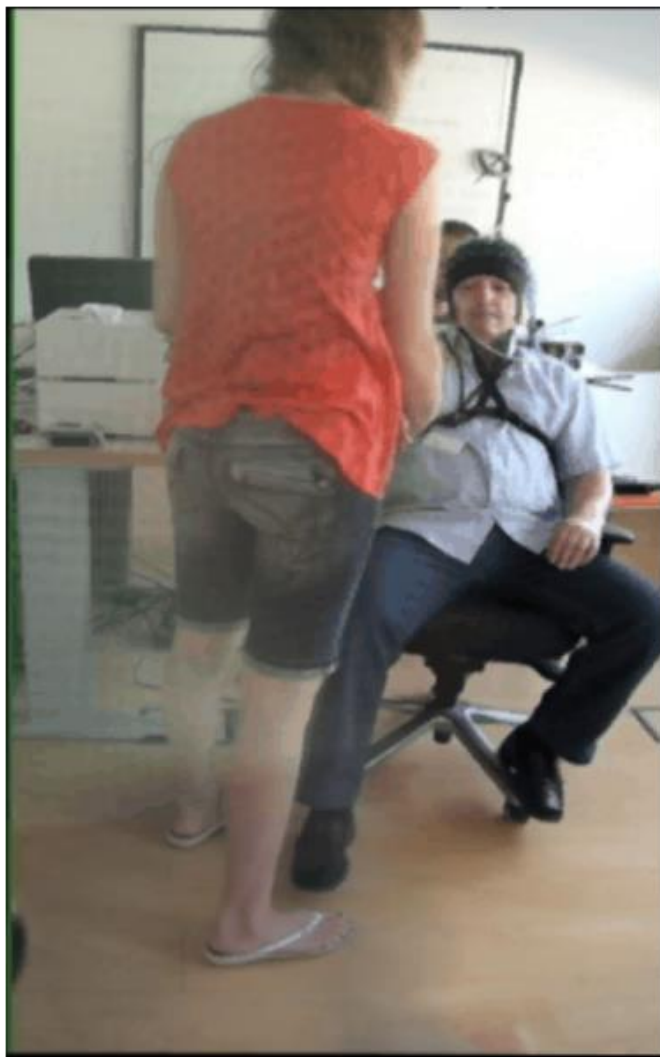
**Številke:**

- z za centralno linijo
- Soda števila (2,4,6)  
desna hemisfera,
- liha (1,3,5) leva  
hemisfera



Vir: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EEG\\_10-10\\_system\\_with\\_additional\\_information.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EEG_10-10_system_with_additional_information.svg)

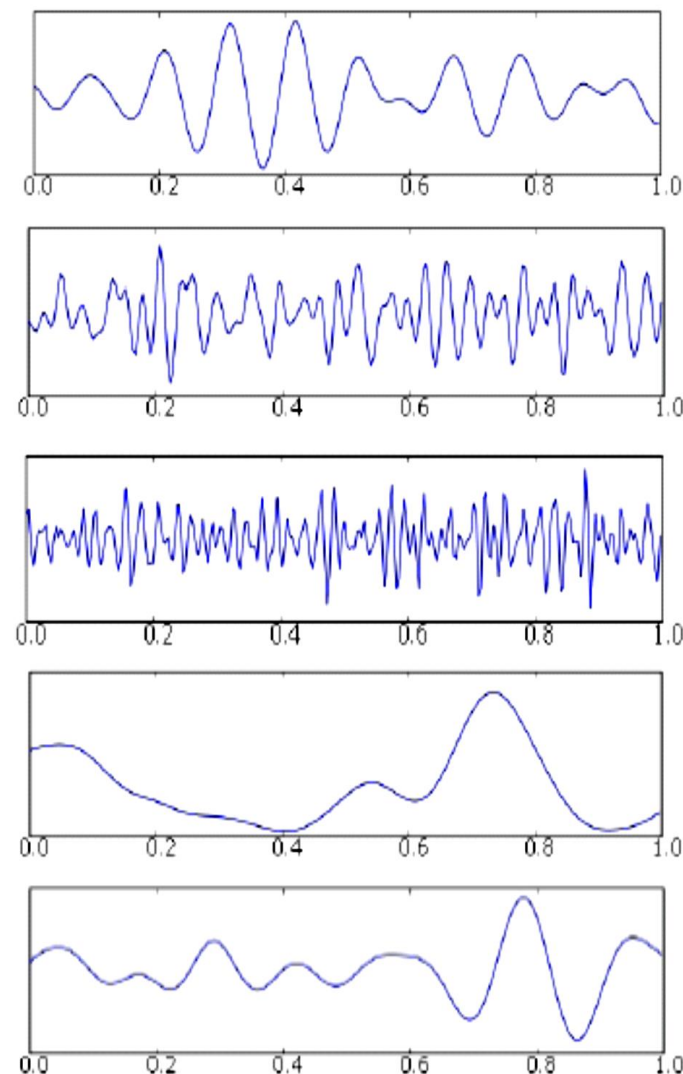
# Namestitev elektrod EEG & EMG





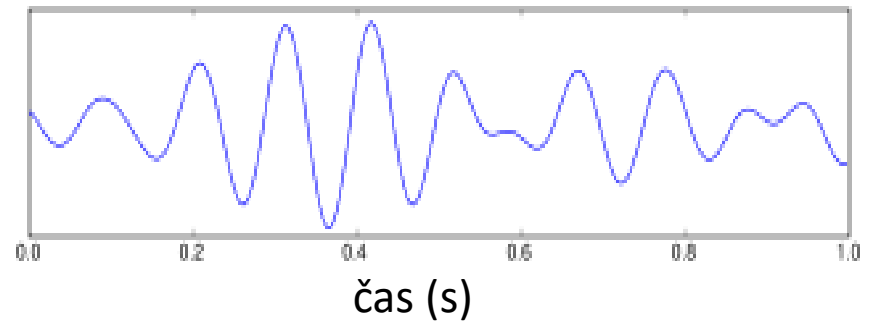
# Osnovna možganska valovanja

- **alfa** (8 – 13 Hz):  
budno stanje, stanje  
sproščenosti, zaprte oči, spanje  
REM
- **beta** (13 – 30 Hz):  
budno stanje, stanje  
pripravljenosti/pozornosti;  
spanje REM
- **gama** (> 30 Hz):  
spomin (?)
- **delta** (0.5 – 4 Hz):  
globok spanec
- **theta** (4 – 8 Hz):  
dojenčki, spanje pri odraslih



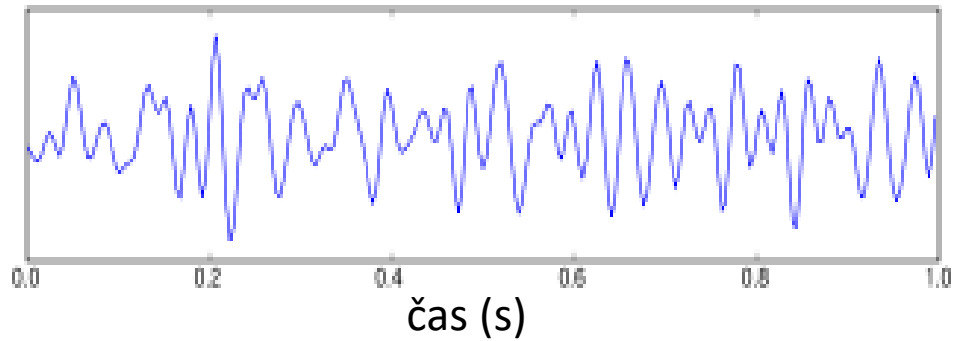


# Valovanje Alfa



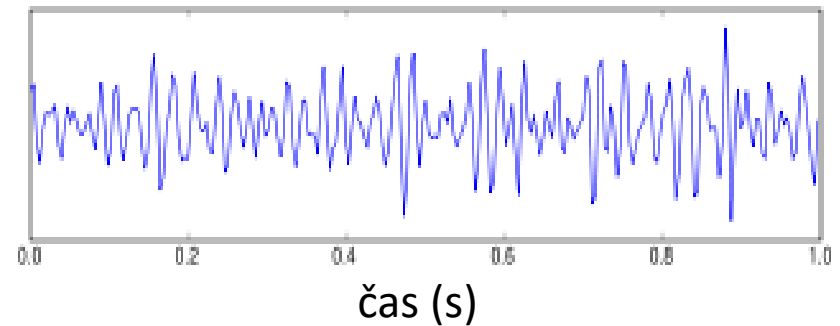
- Karakteristike:
  - frekvenca: 8 - 13 Hz
  - amplituda: 20 - 60  $\mu\text{V}$
  - lokacija: pretežno v zatilnem in temenjskem režnju (obe strani) med sproščenostjo v zbujenem stanju z zaprtimi očmi, možen izvor v talamusu
- Zelo lahko ga je vzbuditi: **sproščeno sedenje z zaprtimi očmi** (zelo malo ljudi ima težave z generiranjem ritma alfa).
- Valovi alfa se zmanjšajo/izginejo ko odpremo oči, smo zaspani, spimo (razen spanje REM).
- Verjetno **odražajo inhibicijo neaktivnih centrov korteksa**.
- Mentalna aktivnost blokira/prepreči valovanje alfa.

# Valovanje Beta



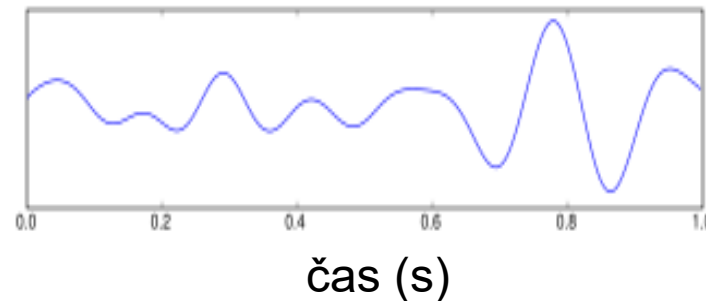
- Karakteristike:
  - **frekvenca : 14 - 30 Hz**
  - **amplituda: 2 - 20  $\mu\text{V}$**
  - lokacija : simetrična porazdelitev (obe hemisferi), najmočnejše v frontalnem režnju.
- Najpogostejše možgansko valovanje, prisotno med mentalnimi aktivnostmi.
- Tri podskupine:
  - Visoko valovanje Beta (19 Hz+)
  - Valovanje Beta (15–18 Hz)
  - Nizko valovanje Beta (12–15 Hz)
- nizkoamplitudni valovi beta z več in spreminjajočimi se frekvencami pogosto odražajo **aktivno/intenzivno razmišljanje, zaskrbljenost** in/ali **visoko stopnjo koncentracije**.
- Skupki (*bursts*) aktivnosti beta so povezani z ječanjem senzoričnih povratnih informacij v pripravah na gibanje in izginejo med samimi gibi. Po koncu giba se ponovno pojavijo (***beta rebound***).

# Valovanje Gama



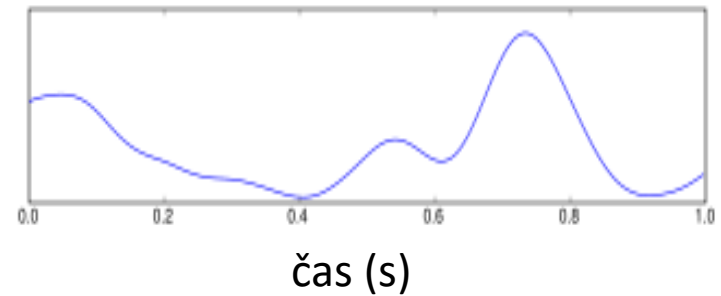
- Karakteristike:
  - frekvenca : 25 – 40 Hz
  - amplituda: 3 – 5  $\mu\text{V}$
  - lokacija : Somatosenzorični korteks
- Pojavi se:
  - ob nenadnem senzoričnem stimulansu
  - med procesiranjem večmodlanega čutenja (percepcija z dvema ali več različnimi čutili – npr. sluh in vid)
  - med kratkočasovnim ujemanjem spominskih vzorcev in prepoznanih objektov, zvokov ali taktilnih občutij (fokusiranje pozornosti).

# Valovanje Theta



- Karakteristike:
  - frekvenca : 4 – 7 Hz
  - amplituda: 20 – 100  $\mu\text{V}$
  - lokacija : različne lokacije
- Naj bi bili **bolj pogosti pri otrocih kot pri odraslih.**
- Walter Study (1952) odkril da so ti valovi povezani z **nelagodjem in zadovoljstvom.**
- Pojavlja se **med zaspanostjo, meditacijo ali med spanjem**, vendar ne med globokim spanjem.
- Mehanizmi nastanka večinoma neznani.

# Valovanje Delta



- Karakteristike:
  - frekvenca : 0.5 - 3.5 Hz
  - amplituda: 20 - 200 $\mu$ V
  - lokacija : frontalno pri odraslih, zatilno in temensko pri otrocih
- Pojavi se med **globokim spanjem**.
- Valovi so tipično zelo različni in počasni
- Uporabno za detekcijo tumorjev in abnormalnega delovanja možganov
- Pojavljajo se pri vseh sesalcih.
- Raznolikost spolov: ženske imajo bolj izraženo valovanje delta.

# Ostala možganska valovanja

- **Valovanje Mu:**
  - **frekvenca : 8 - 13Hz (alfa)**
  - značilni ostri pozitivni vrhovi in zaobljeni negativni vrhovi
  - povezano s **senzomotoričnim korteksom** v nedejavnem stanju in izgine med gibom ali med razmišljanjem o gibu (tudi med opazovanjem gibov drugih ljudi – zrcalni nevroni)
  - nekateri ljudje nimajo izrazitega ritma Mu.
- **Valovanje Kappa:**
  - **frekvenca : 10 Hz**
  - pojavlja se v 30% ljudi med razmišljanjem [Kennedy et al. 1948]
- **Valovanje Lambda:**
  - **amplituda: 20-50μV**
  - valovi trikotne oblike,
  - traja 250 ms, povezano z odzivom na premikajočo se sliko

# Topografske mape signalov EEG

Topografske mape ponazarjajo porazdelitev amplitude signalov EEG po korteksu.

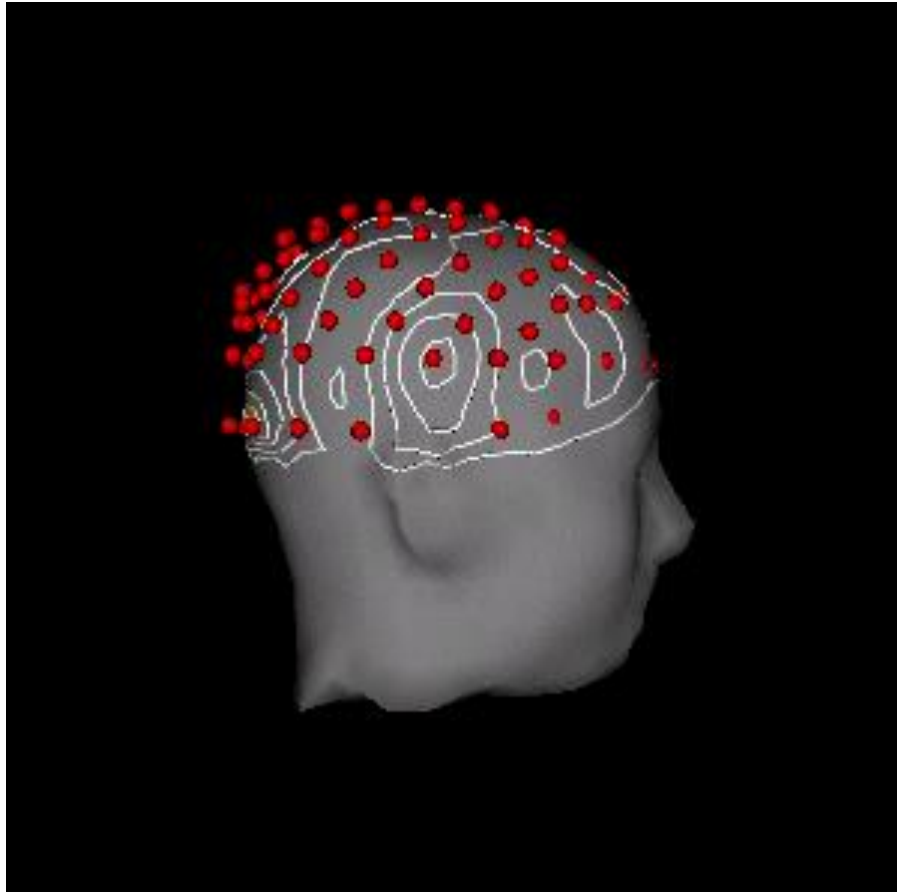
Vrednosti med posameznimi elektrodami se interpolirajo.

Navadno uporabljamo:

- mape ERP
  - spremembe izzvanega potenciala
- Spektralne mape
  - spremembe frekvence
- Statistične mape
  - primerjava različnih merjenj/subjektov



# Primer topografske mape EEG



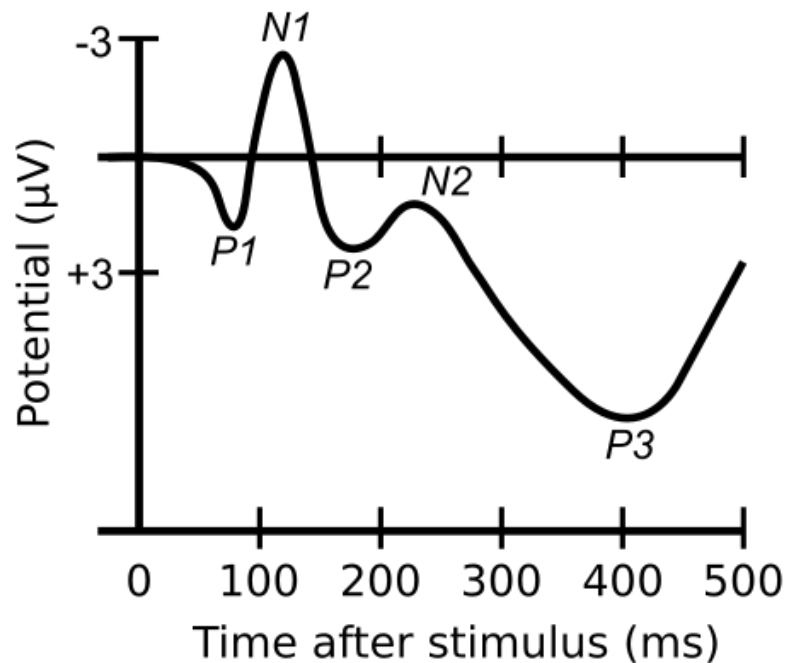
Animacija visoko-frekvenčne električne aktivnosti korteksa, izmerjene na lasišču od 0,5 do 0,2 s pred pritiskom na gumb. Topografska mapa kaže, da je oseba zastavljeni problem rešila s pomočjo vizualnih informacij.

vir: [http://www.psych.nwu.edu/~mjungbee/PLoS\\_Supp.htm](http://www.psych.nwu.edu/~mjungbee/PLoS_Supp.htm)

Poučen video: <https://www.youtube.com/watch?v=2edwDBSPLFs>

# Vzbujeni (evoked potentials - EP) in dogodkovni potenciali (Event Related Potentials - ERP)

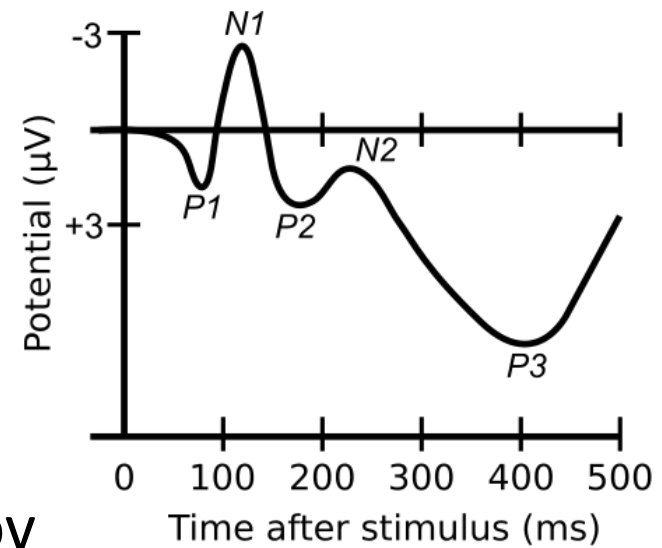
ERP (event related potentials – pri EEG) in ERF (event related fields – pri MEG) so pogosto sestavljeni el. potenciali in se interpretirajo s pomočjo njihovih komponent.



vir: [http://en.wikipedia.org/wiki/Evoked\\_potential](http://en.wikipedia.org/wiki/Evoked_potential),  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Event-related\\_potentials](http://en.wikipedia.org/wiki/Event-related_potentials)

# EP vs. ERP/ERF

- izzvan (vzbujen) potencial (EP)
  - kratke zakasnitve ( $< 100$  ms)
  - majhne amplitude ( $< 1\mu\text{V}$ )
  - odraža obdelavo senzoričnih signalov
- dogodkovni potencial (ERP / ERF)
  - daljše zakasnitve (100 – 600 ms),
  - višje amplitude (10 – 100 $\mu\text{V}$ )
  - višji kognitivni procesi (spomin , pričakovanje, pozornost)
- EEG ima ERP-je, magnetoencefalografija (MEG) ima ERF-je (event-related field). Oboji opisujejo iste možganske aktivnosti.



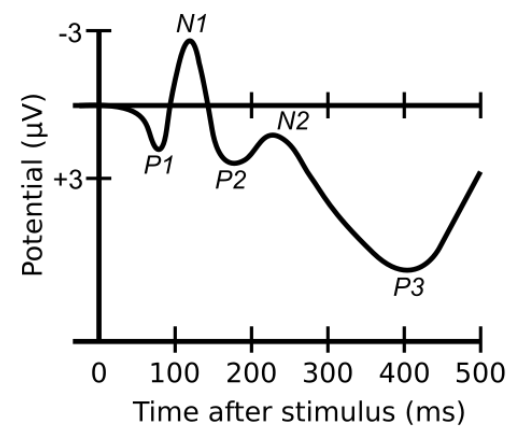
vir: [http://en.wikipedia.org/wiki/Evoked\\_potential](http://en.wikipedia.org/wiki/Evoked_potential),  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Event-related\\_potentials](http://en.wikipedia.org/wiki/Event-related_potentials)

# Komponente EP/ERP: nomenklatura

- Imena večine komponent se pričnejo s črko, ki označuje **polarnost** (predznak napetosti) **komponente** (**p**ozitivna, **n**egativna), sledi pa ji okvirna zakasnitev komponente (v milisekundah) glede na zunanji dražljaj.
  - N400: ta komponenta ima negativno polarnost, pojavi pa se približno 400 ms za dražljajem.
  - P600: komponenta s pozitivno polarnostjo, ki se pojavi 600 ms za dražljajem.
- Navedene zakasnitve so običajno precej variabilne; na primer, komponenta N400 se lahko pojavi kjerkoli med 300 ms in 500 ms po dražljaju.

# Poglavitne znane komponente EP/ERP:

- **C1**: vizualno izzvan potencial (visually evoked potential – VEP), v primarnem vizualnem korteksu, 65-90 ms za dražljajem, pozitivna ali negativna polarnost.
- **P100** ali **P1**: VEP, moduliran s pozornostjo na viden objekt, lateralna zatilna regija, 80-130 ms za dražljajem.
- **N100** ali **N1**: reakcija na vizualni, zvočni, vohalni in bolečinski dražljaj, frontalno-centralna regija, 80-200 ms za dražljajem.
- **N200** ali **N2**: frontalna regija, 200-350 ms za zvočnim ali vidnim dražljajem, odraža kognitivne procese.
- **N170**: VEP v zatilno-senčni regiji, izzvan s slikami obrazov, 130-200 ms za dražljajem
- **P200** ali **P2**: VEP v centralno-frontalni temensko-zatilni regiji, 150-275 ms za dražljajem, **odraža vizualno iskanje in pozornost**.
- **P300** ali **P3** (**P3a**, **P3b**): temenska regija, 300-600 ms za dražljajem, odraža evalvacijo stimulansa oz. njegovo kategorizacijo, ima zelo dobro ponovljivost in veliko amplitudo (v primerjavi z ostlimi komponentami).
- **N400** ali **N4**: VEP v centralno-temenski regiji, 250-500 ms za dražljajem, odraža kognitivni odziv na vizualno predstavitev besed in ostalih dražljajev s pomenom.
- **P600**: vizualni ali zvočni ERP v centralno-temenski regiji, 500-700 ms za dražljajem, povezan z razpoznavanjem jezika/besed.



# Jezikovno specifične komponente ERP

- **N400**: označevalec semantičnega neujemanja (Semantic mismatch marker)
- **P600**: označevalec sintaktičnega neujemanja (Syntactic mismatch marker)

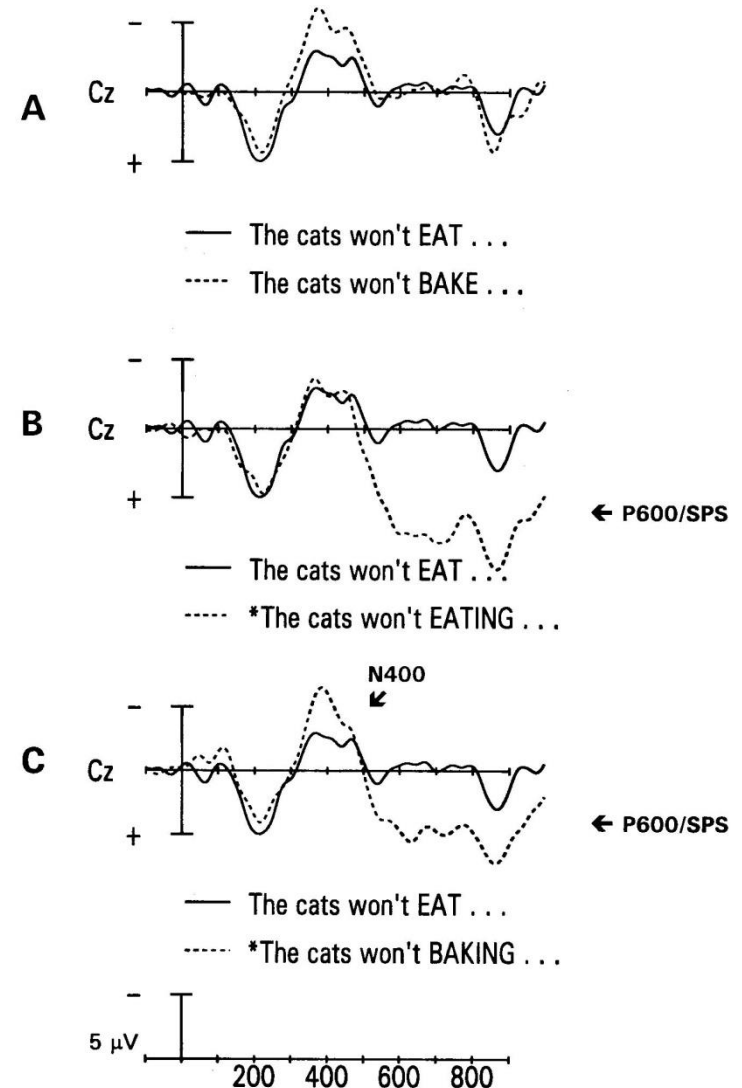
Primeri stavkov:

**Pravilno (osnova)**: The cats won't eat the food Mary gives them.

**Semantično neujemanje**: The cats won't bake the food Mary gives them.

**Sintaktično neujemanje**: The cats won't eating the food Mary gives them.

**Semantično in sintaktično neujemanje**: The cats won't baking the food Mary gives them.



# Vmesniki možgani-stroj

## Brain-Computer Interface (BCI)

“A BCI is a device that does not use the normal neuromuscular output pathways of the brain, but accepts commands encoded in neurophysiological signals.”

*Jacques Vidal, 1973*

**VIDEO-predavanje:** Machine Learning and Signal Processing Tools for BCI

[Klaus-Robert Müller](#), Fraunhofer Institute Computer Architecture and Software Technology

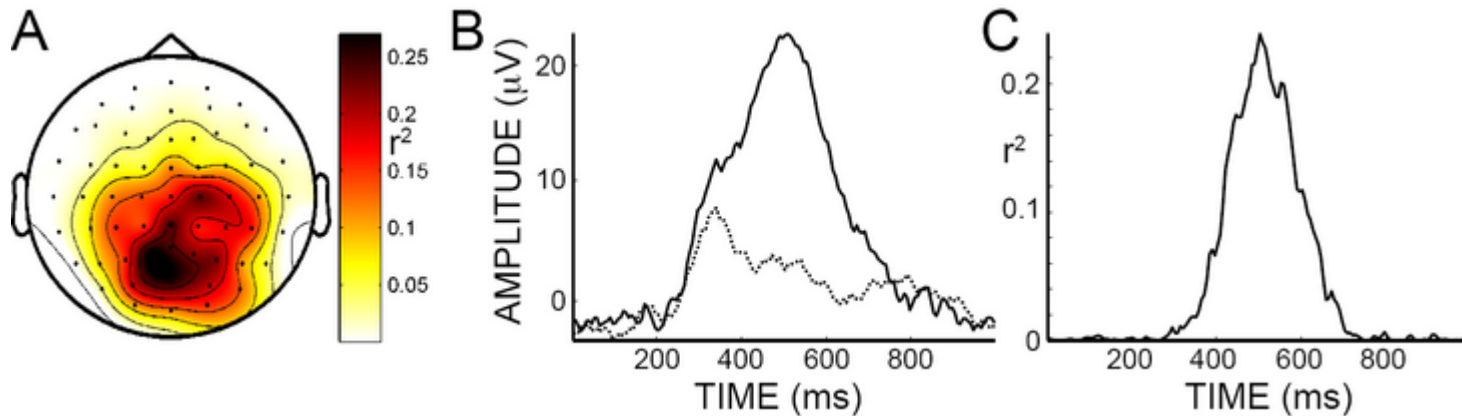
[Benjamin Blankertz](#), Machine Learning and Intelligent Data Analysis Group, TU Berlin

[http://videlectures.net/bbci09\\_blankertz\\_muller\\_mlaspl/](http://videlectures.net/bbci09_blankertz_muller_mlaspl/)



# P300

- Pogoji za uspešno izzvan potencial :
  - je prisotno naključno zaporedje različnih dražljajev.
  - obstaja klasifikacijsko pravilo, ki razdeli zaporedje dražljajev v dve kategoriji.
  - Uporabnikovo opravilo mora temeljiti na uporabi zgoraj omenjenega klasifikacijskega pravila.
  - Ena izmed obeh kategorij dražljajev se mora pojavljati manj frekventno (v primerjavi z drugo).



# P300 Speller

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	_

**Hitrost komunikacije:**

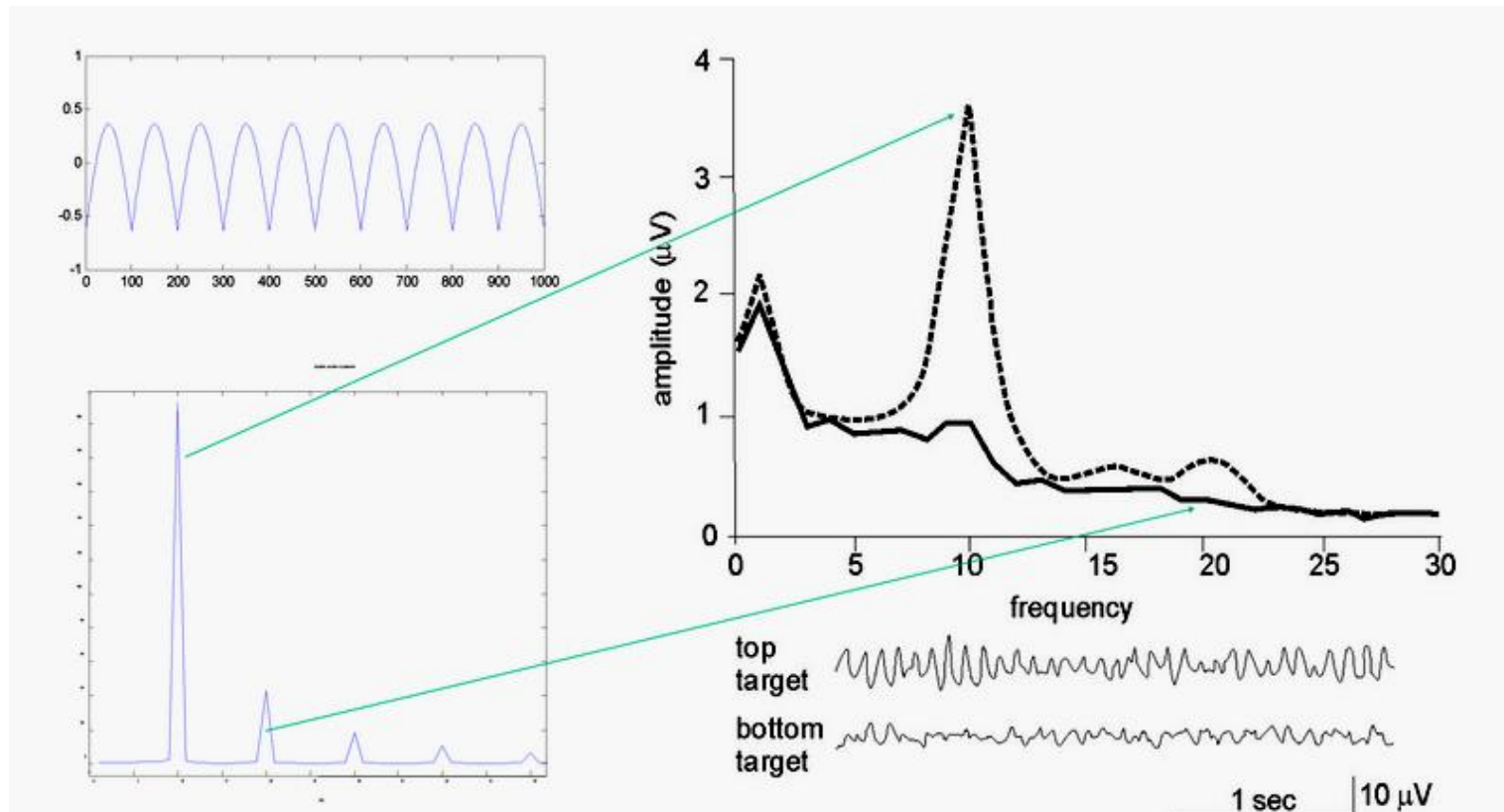
4 znakov/min,  
do 40 znakov/min

Primer uporabe: <https://www.youtube.com/watch?v=y3lGJVnSSsg>

# ERS & ERD

- **riteu mu:** primarna senzorična in motorična področja korteksa kažejo ritmične aktivnosti na frekvencah 8 - 12 Hz, ko ne obdelujejo senzoričnih informacij ali ko ne izvajajo gibov.
- **dogodkovna desinhronizacija (event-related desynchronization - ERD):** gibanje ali pripravo na gibanje ponavadi spremlja znižanje ritma mu, predvsem v kontralateralni hemisferi korteksa (na nasprotni strani gibanja: leva roka – desna hemisfera, itd.).
- **dogodkovna resinhronizacija (event-related synchronization - ERS):** nasprotje ERD, pojavi se po zaključku gibanja, ob prehodu v sproščeno stanje.
- Vir: [http://www.bci2000.org/wiki/index.php/User\\_Tutorial:\\_Introduction\\_to\\_the\\_Mu\\_Rhythm](http://www.bci2000.org/wiki/index.php/User_Tutorial:_Introduction_to_the_Mu_Rhythm)

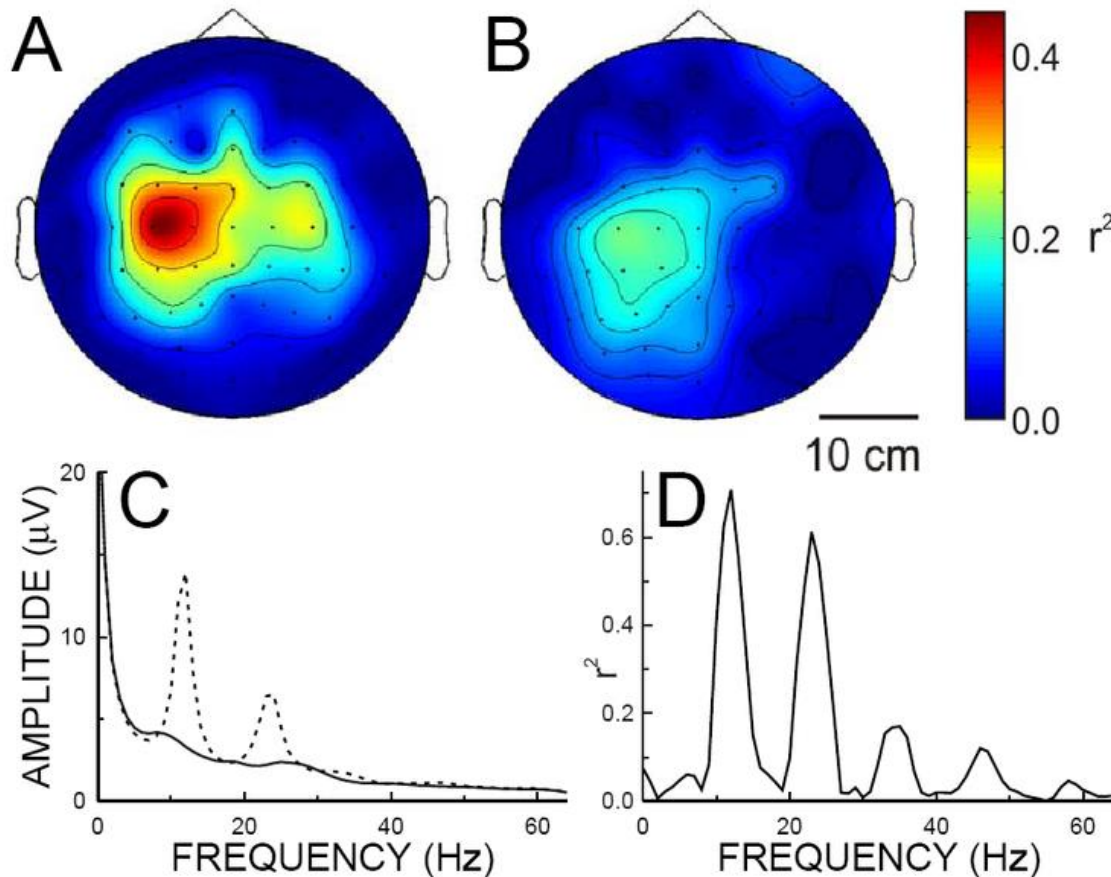
# Ritem mu



Mu ritem ima ponavljajoče valove z asimetričnimi vrhovi (maksimumi vs. minimumi), kot prikazuje slika levo zgoraj. V frekvenčnem prostoru ima takšno valovanje spekter z močno osnovno frekvenco in manj izrazitimi višjimi harmoniki (slika spodaj levo). To pomeni, da je drugi vrh (drugi harmonik) v frekvenčnem pasu valovanja beta. Relativna sprememba amplitude je pri obeh vrhovih najpogosteje enaka (primerljiva). Višji harmoniki torej ne nosijo dodatne informacije. Desna slika prikazuje spekter ritma mu, ocenjen iz izmerjenih (eksperimentalnih) signalov EEG med mirovanjem (črčkana črta) in gibom (polna črta).

# ERS & ERD

**A,B:** Topografska mapa razlik (merjenih s cenilko  $r^2$ , ki meri delež variance EEG, ki jo povzroči dražljaj/opravilo) med dejanskim (A) in zamišljenim (B) premikom desne roke in mirovanjem. EEG signali so bili filtrirani s pasovno-prepustnim filtrom (9 – 12 Hz ).



- C:** Primer spektra signala EEG, posnetega na lokaciji C3 (senzomotoričen korteks) med mirovanjem (črčkasta črta) in zamišljenim gibom (polna črta).
- D:** Metrika  $r^2$  razlik med mirovanjem in zamišljenim gibom (pozicija C3 – senzomotoričen korteks). Opazna sta vrhova v frekvenčnem območju valovanj alfa in beta, ki odražata osnovno frekvenco in prvi višji harmonik ritma mu.

# Primeri vmesnikov BCI

<http://www.bci2000.org/BCI2000/Videos/Videos.html>



"In this movie, a subject uses scalp-recorded sensorimotor rhythms to control a computer cursor in one dimension (up/down). The subject's task is to select characters using the word processing software "Dasher." The subject spells the word "hello" in 30 seconds."

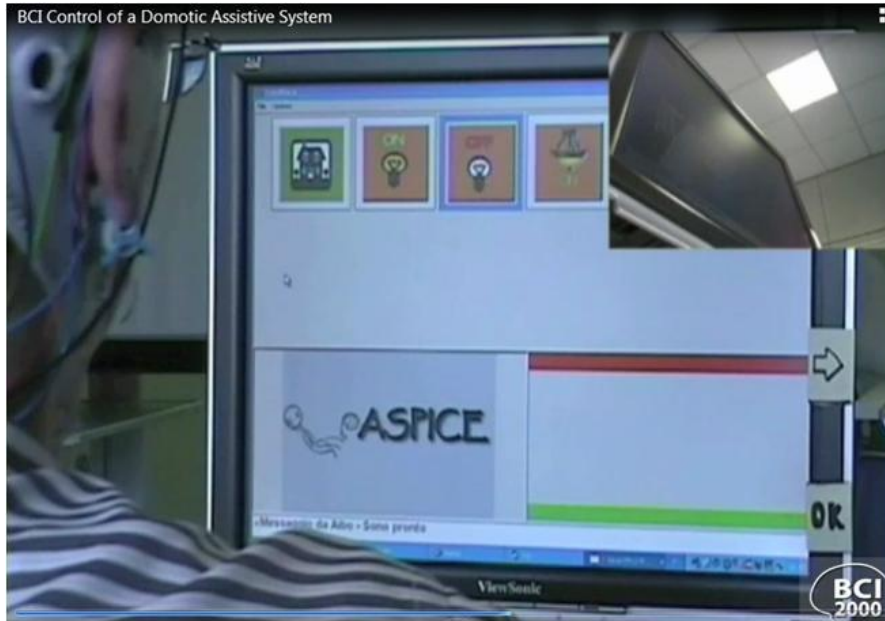


"In this movie, a subject uses scalp-recorded sensorimotor rhythms to control a robotic arm in two dimensions (one dimension controls the thumb; the other dimension controls the other fingers)."



# Primeri vmesnikov BCI

<http://www.bci2000.org/BCI2000/Videos/Videos.html>



“A subject demonstrates selection of an item from an icon-based menu using a 2-state BCI that is controlled by scalp-recorded mu-rhythm modulation. In a first scene, the subject turns off the light...”



“BCI in playing games (youtube: Berlin Brain Computer Interface ).”



# Komercialni vmesniki BCI



g.tec



Berlin BCI



Emotiv



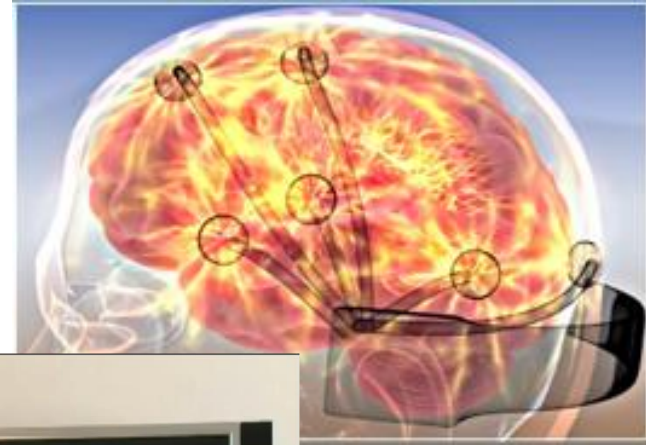
Emotiv Systems



Media Lab Europe

# Vmesniki možgani-stroj

- realnočasovno zaznavanje uporabnikovih odzivov na dražljaje in razpoloženja
- zaznavanje miselnega sodelovanja
- prilagajanje virtualnega okolja in bivalnih prostorov razpoloženju uporabnika
- prilagajanje in personalizacija grafičnih vmesnikov
- igranje računalniških iger (igra, ki se odziva na uporabnikova čustva)
- neverbalna komunikacija na daljavo

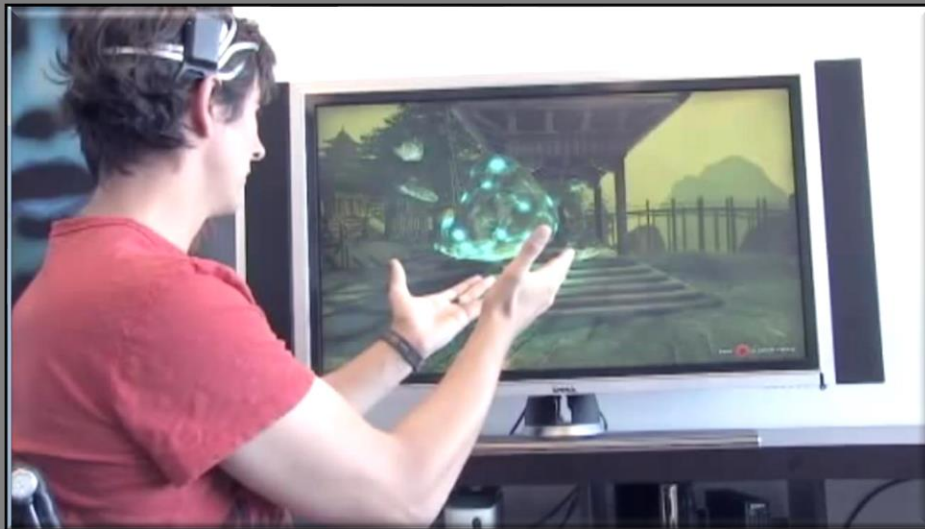


© <http://www.emotiv.com/>



© <http://milab.imm.dtu.dk/eeg>

# Vmesniki BCI: aplikacije





# Branje kodov vizalnega korteksa

*Reconstructing Visual Experiences from Brain Activity Evoked by Natural Movies* <https://www.youtube.com/watch?v=nsjDnYxJ0bo>



# Izvori motenj in šuma v EEG

## Fiziološki izvori

- premiki oči
- aktivnosti mišic
- EKG
- aktivnost nevronov, ki niso predmet preučevanja (*background EEG*)

## Zunanji izvori

- Elektrode
- omrežna napetost (50 Hz)
- stik koža-elektroda in gibanje (*movement artefacts*)

# Izboljšanje razmerja signal-šum

## (signal-to-noise ratio)

- EEG ima ničelno povprečje: ionski tokovi so ujeti v človeško telo (tok v elektrodah prenašajo elektroni).
- Zgornja lastnost omogoča izboljšanje razmerja signal-šum s pomočjo povprečenja EP/ERP-jev.
- Potrebno število EP/ERP-jev pri povprečenju :
  - velike komponente (npr. P300): 30 – 60 EP/ERP-jev
  - srednje komponente: 150 – 200 EP/ERP-jev
  - majhne komponente: 400 – 800 EP/ERP-jev
  - dvojno število pri otrocih in psihiatričnih bolnikih

# WORKSHOP BCN24

## “A journey into brain activity”

*From EEG and related potentials to connectivity and source modeling*

Day 1: EEG signal acquisition and preprocessing.

Day 2: ERP and MRCP studies and movement intention for device control.

Day 3: Source localization and brain connectivity.

Day 4: Networking with hospitals, companies, and research centers.

Hybrid Workshop  
(online and in-person event).  
Contact: Bioart\_group@upc.edu



REGISTER NOW

Video vsebine na

<https://www.youtube.com/@hybridneuro>



Funded by  
the European Union



UK Research  
and Innovation



University of Maribor



UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA  
BARCELONATECH



CHALMERS  
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Imperial College  
London

February 6<sup>th</sup> –9<sup>th</sup> 2024

Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, Spain



	DAY	Tuesday 6th	Wednesday 7th	Thursday 8th	Friday 9th
		EEG signal acquisition and preprocessing	ERP and MRCP studies and movement intention for device control	Source localization and brain connectivity	Networking with hospitals, companies, and research centers
Presentations	09:30-10:00		Related cortical potentials measured by EEG: ERPs and MCRPs	EEG source imaging: a practical review	What HybridNeuro Hub can do for you and you for it
	10:00-10:30	Presentation of HybridNeuro Action and UPC	Computerized computing tasks: cognitive and motor exercises		Hospitals and companies presentations (I part)
	10:30-11:00				
	11:00-11:30	COFFEE BREAK	COFFEE BREAK	COFFEE BREAK	COFFEE BREAK
	11:30-12:30	Types of EEG artifacts and how to handle with them	ML and DL methods for movement imaginary BCI: Challenges and future directions	Introduction to functional Brain connectivity	Hospitals and companies presentations (II part)
	12:30-13:30	Artifact rejection and reduction by signal processing	Neuro-interfaces for interacting with robotics exoskeletons	Brain networks analysis using graph theory parameters	Round Table: How to look for synergies between scientists, companies, and hospitals
HoT	13:30-15:00	LUNCH	LUNCH	LUNCH	LUNCH
	15:00-17:00	Artifact reduction using software packages	A MRCP study: experiment preparation, recording and analysis	Practicing brain source localization and functional connectivity	



Funded by  
the European Union



UK Research  
and Innovation



University of Maribor



UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA  
BARCELONATECH



CHALMERS  
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Imperial College  
London



# Poletna šola o vmesnikih možgani-stroj in mišice-stroj v Mariboru

Video vsebine na <https://www.youtube.com/@hybridneuro>



Imperial College  
London



REGISTER NOW!



GA No. 10052152



GA No. 101079392



FREE REGISTRATION

## Summer school on Hybrid Neural Interfaces

July 8th-12th 2024, Maribor, Slovenia

- Surface & intramuscular HDEMG
- Identification of neural codes
- EEG & functional brain connectivity
- Corticomuscular coupling
- Movement augmentation
- Hybrid Neural Interfaces in practice
- Keynote lectures
- Practical examples
- Students 2 students explanations
- Present your project
- Ask top experts
- Active consultations