

Mozek

Neurozobrazovací metody

EEG

Kamila Lepkova
FBMI, ČVUT

[kamila.lepkova\(at\)cvut.cz](mailto:kamila.lepkova(at)cvut.cz)



Centrální nervový systém (CNS)

CNS základní, řídicí systém

- Vnímání (smysly)
- Zpracování informací (myšlení, paměť)
- Reakce (motorika, řeč)

Mozek + páteřní mícha

Šedá hmota: těla neuronů a jejich výběžky (dendrity)

Bílá hmota: neurity, které se sdružují v nervové dráhy

Mozek

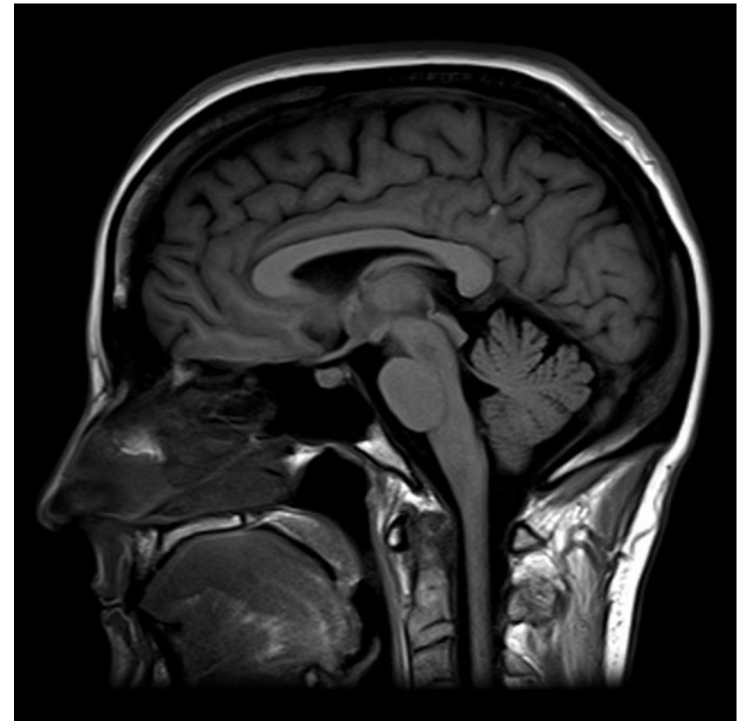
Řídící orgán nervové soustavy

- činnost srdce, řeč, pohyb, myšlení, paměť, emoce

Objem: 1450 cm³

Hmotnost: 1300 – 1400 g

Spotřeba: 20% energie

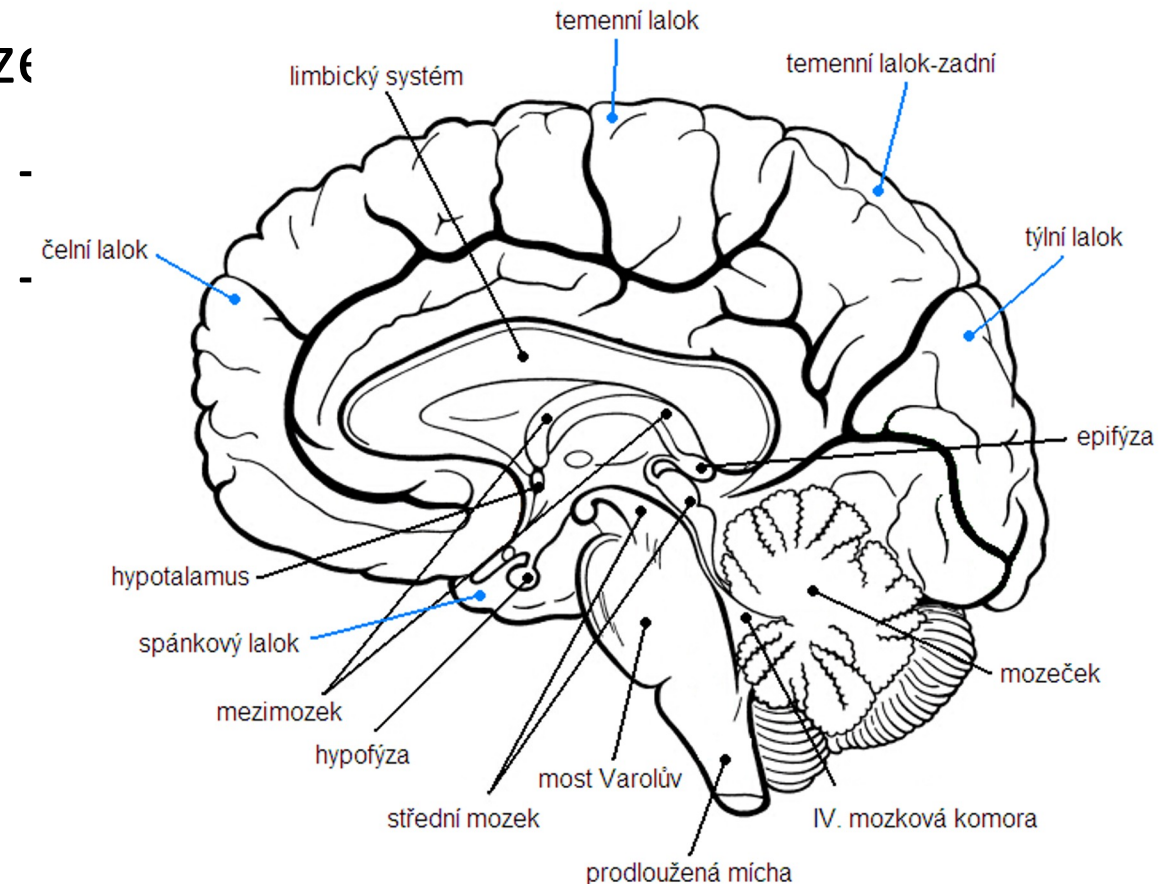


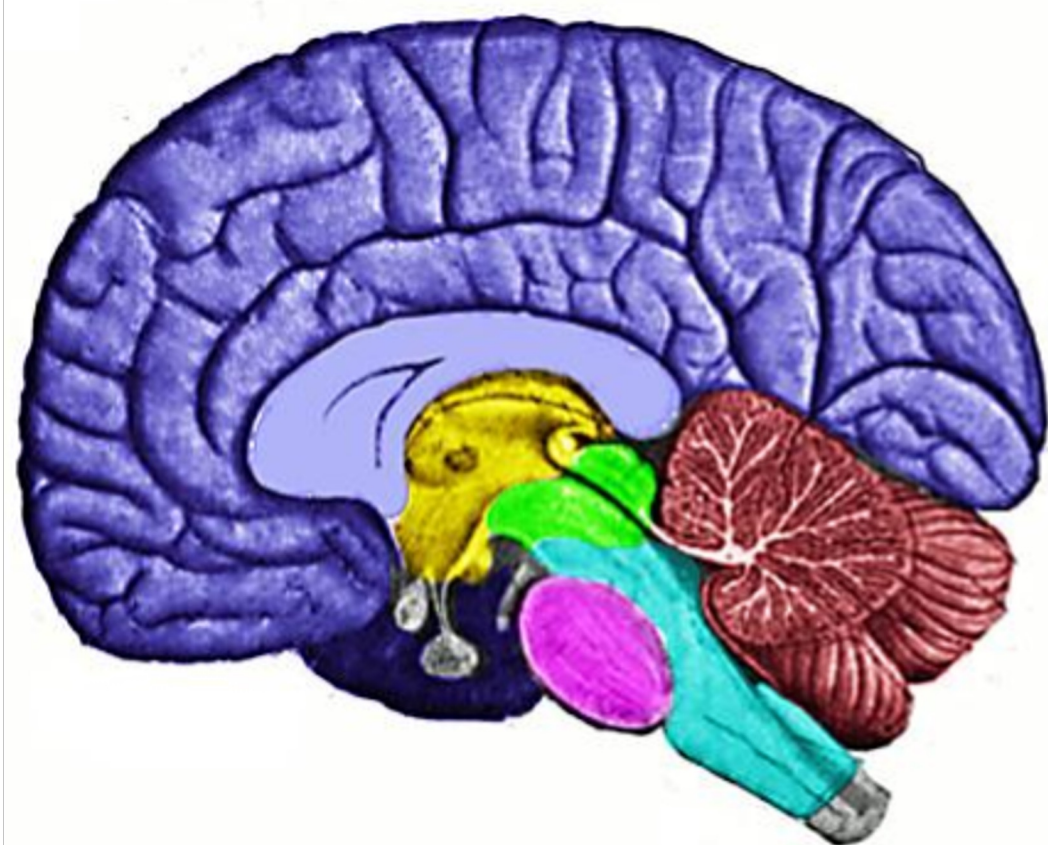
Mozek

Mozek je uložen v dutině lební a chráněn obaly.

Na povrchu se nachází šedá kůra mozková, uvnitř je hmota bílá.

Stavba mozku: - přední moze





■ koncový mozek

■ mezimozek

■ střední mozek

■ mozeček

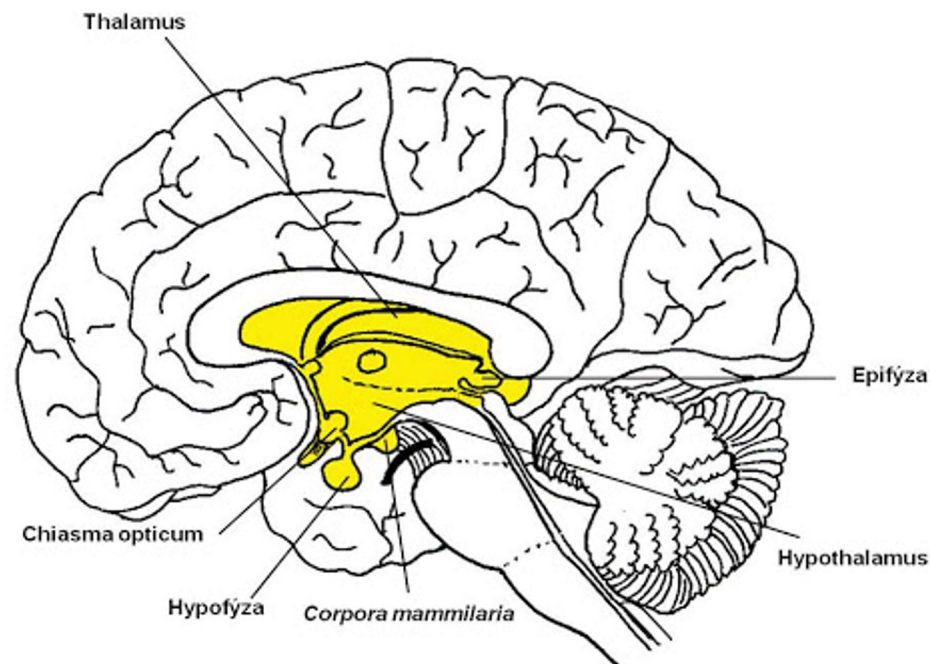
■ most

■ prodloužená mícha

Přední mozek (Prosencephalon)

Mezimozek (epithalamus (epifýza), thalamus, metathalamus, subthalamus, hypothalamus (hypofýza))

Koncový mozek (dvě hemisféry spojené kalózním tělesem)



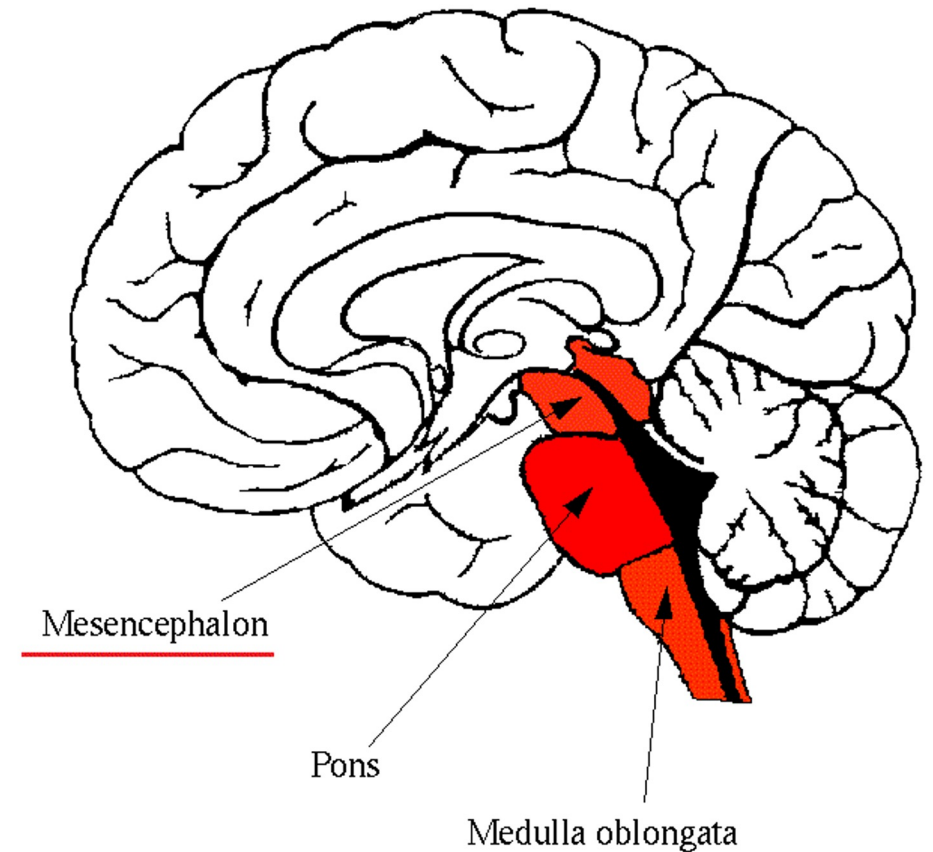
Střední mozek (Mesencephalon)

Nejmenší část mozku

Středem mozku prochází Sylviovův kanálek

Funkce:

- Nepodmíněný zrakový reflex
- Nepodmíněný sluchový reflex
- Pohotovostní reflex
- Zdroj nonadrenalinu
- Vznik dopaminu
- Centrum regulace bdění a spánku
- Vzpřimovací reflex

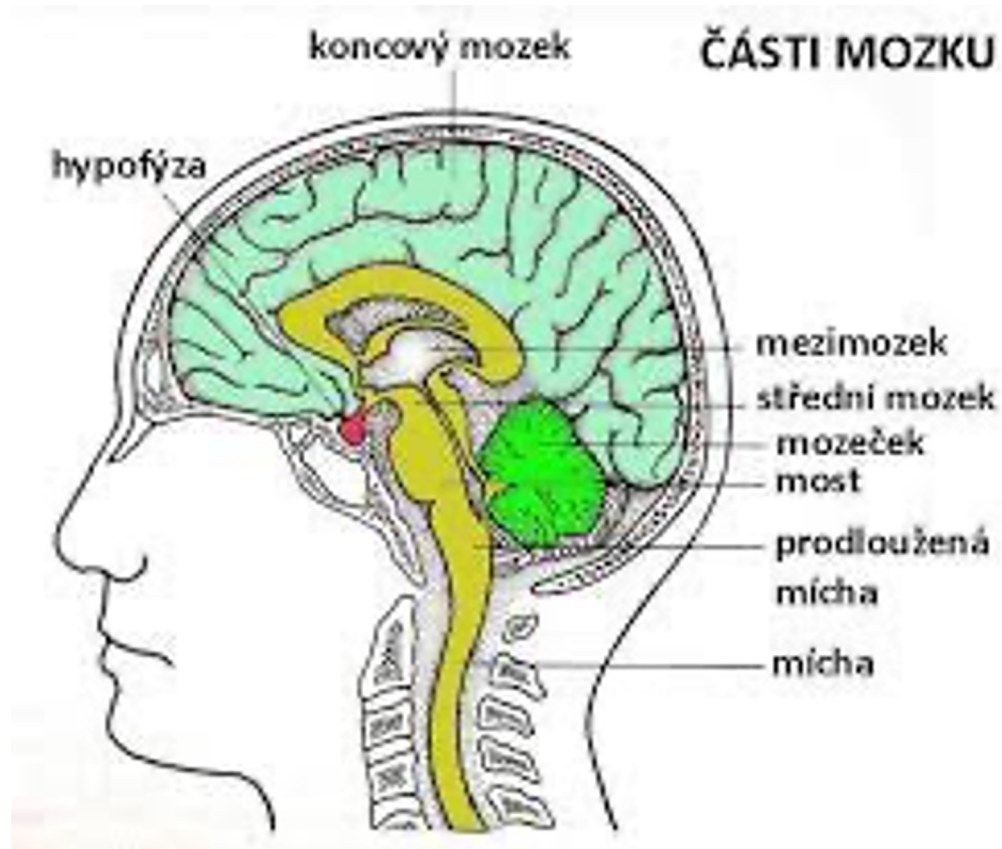


Zadní mozek (Rhombencephalon)

Prodloužená mícha: pokračování páteřní míchy

Varolův most

Mozeček

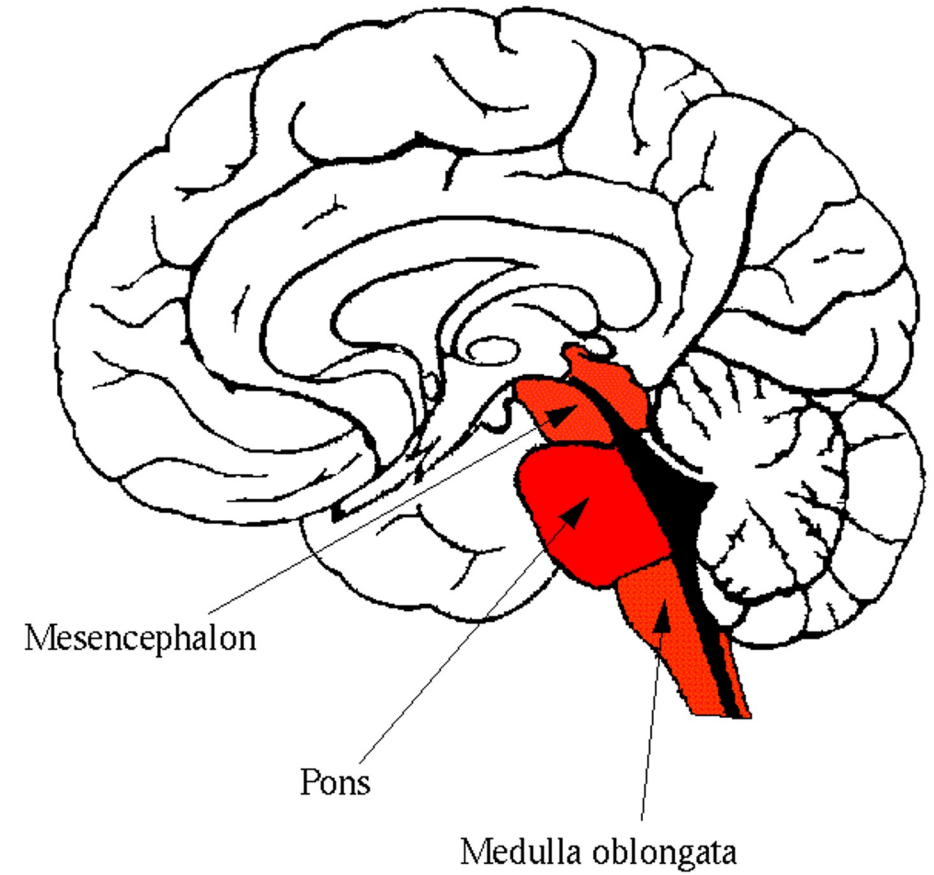


Prodloužená mícha (Medulla oblongata)

Pokračování páteřní míchy

Funkce:

- Řízení srdce a krevního oběhu
- Dýchání
- Žvýkání, polykání, sání
- Obranné reflexy (kašel, zvracení, apnoe)
- Řízení motorické funkce kosterních svalů

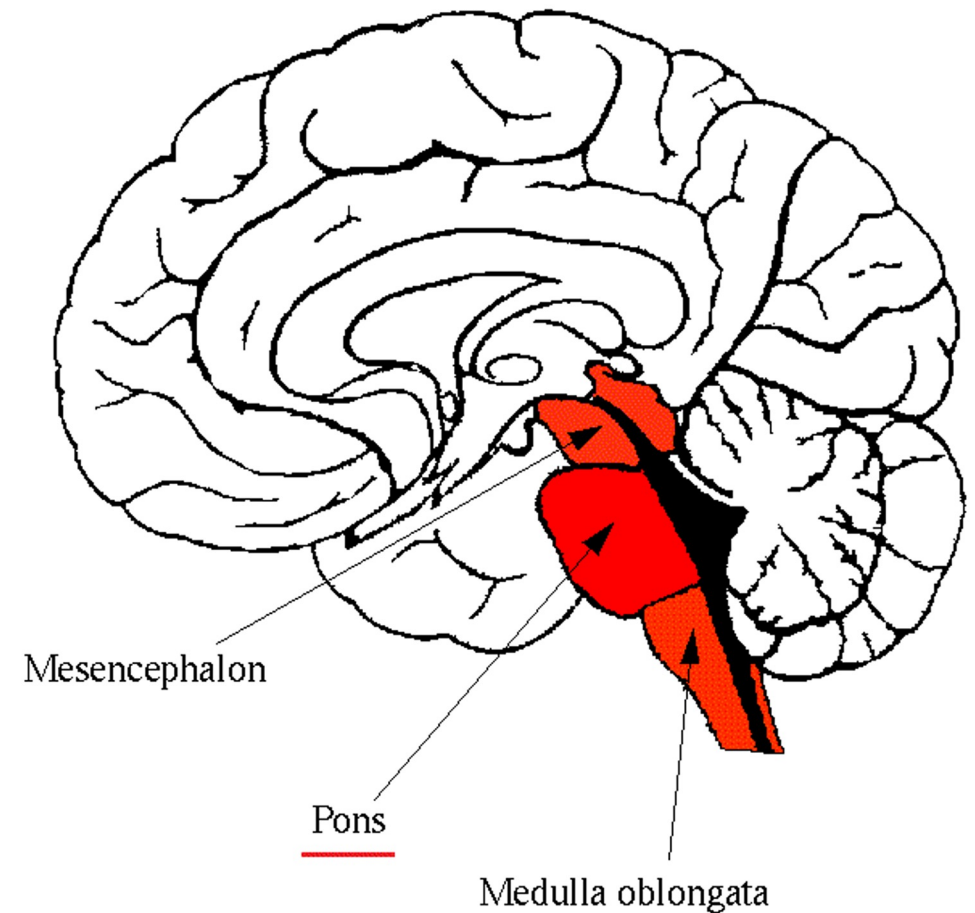


Varolův most (Varoli pons)

Spojuje koncový mozek s mozečkem

Funkce:

- Produkce serotoninu a endorfinů
- Reflexní ústředí (slzení, slinění, zornice)
- Navozuje REM fázi spánku

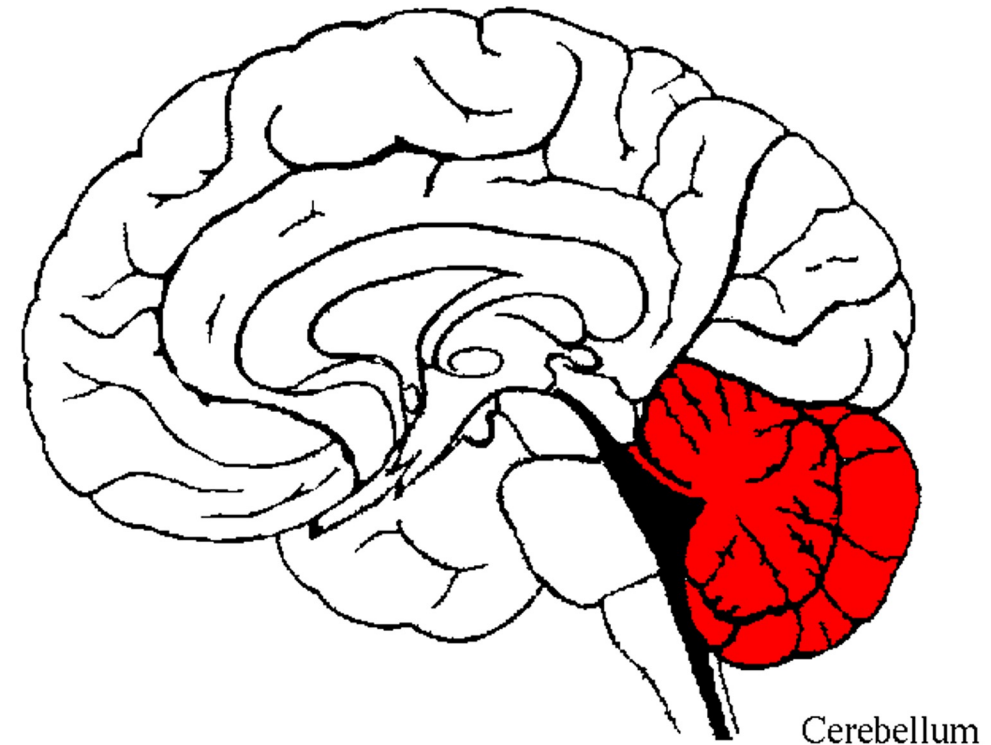


Mozeček (Cerebellum)

Skládá se z dvou hemisfér

Funkce:

- Reflexní ústředí pro rychlé a pomalé pohyby
- Orientace v prostoru
- Centrum podmíněného pohybového učení
- Regulace svalového napětí



Struktura nervové tkáně

Nervová tkáň se rozděluje na dva typy: neurony a glie

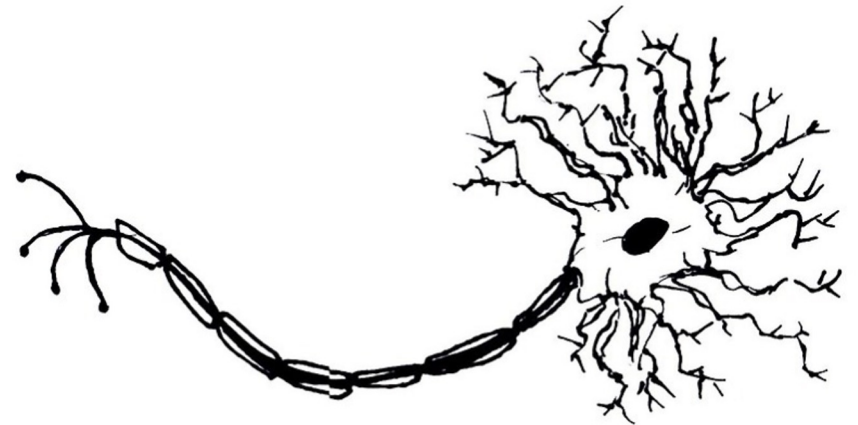
- **Neuron:** funkční a anatomická jednotka nervového systému
- **Glie:** podpůrná tkáň, představují zhruba 90% všech buněk v nervovém systému, zajišťují výživu neuronů



mikroglie



oligodendroglie



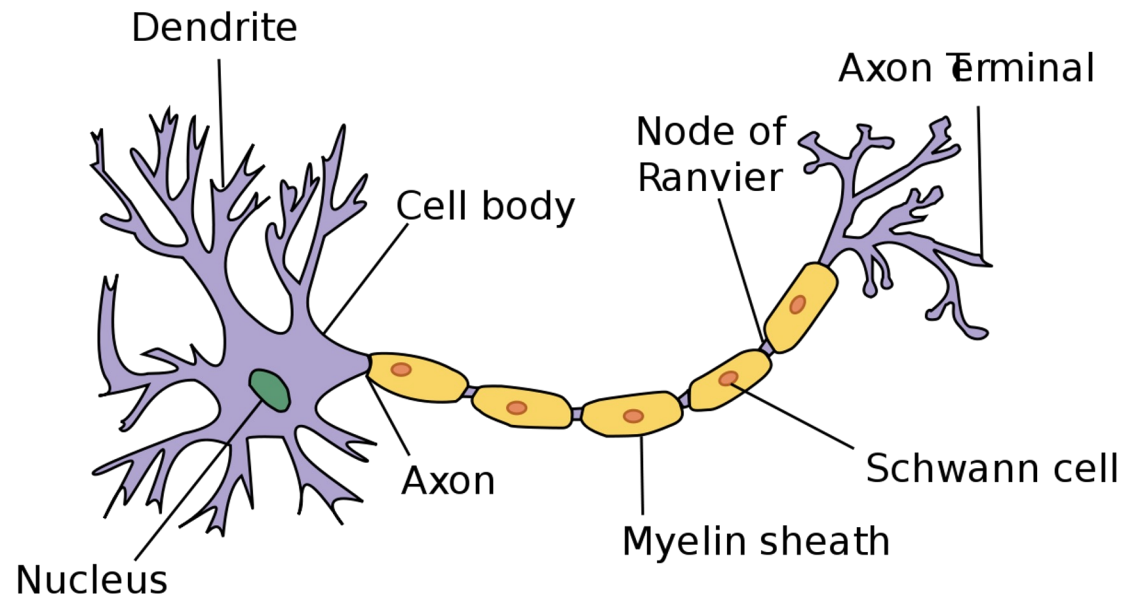
Neuron

Základní jednotka nervového systému

Funkce: příjem, zpracování signálů

50 – 100 miliard neuronů a 300 miliard synapsí

Neuron se skládá z těla (soma) a výběžků (dendrity a neurity)



Neuron

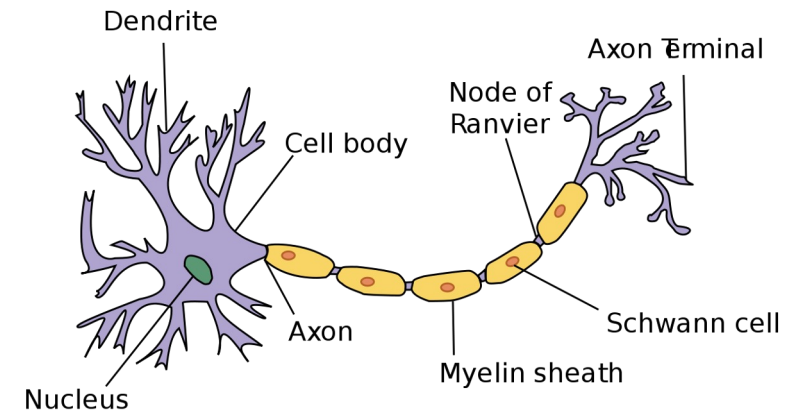
Šedá hmota = soma, bílá hmota = axon

Soma obsahuje jádro, granulární endoplazmatické retikulum a mitochondrie a je ohraničené plazmatickou membránou

Dendrit přijímá informace

Neurit odesílá informace

Myelinizovaný neurit (axon): význam pro přenos, myelinova pochva s Ranvierovými zářezy zrychluje přenos vzruchu.

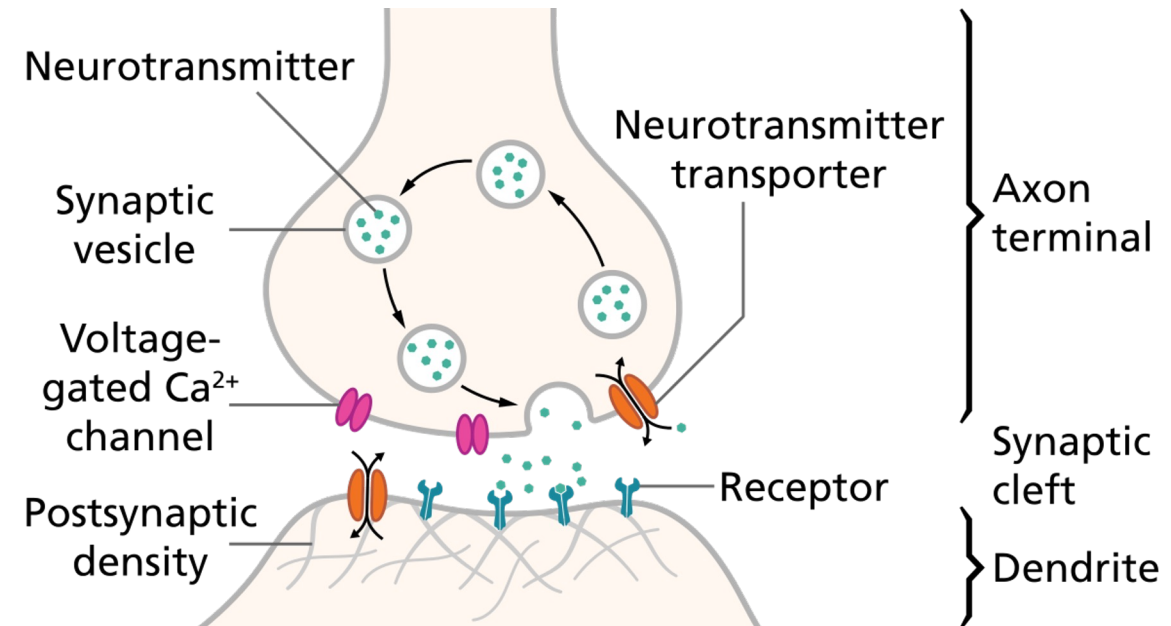


Přenos signálu

Důležitou schopností neuronu je schopnost komunikace – šíření signálu

Propojení pomocí synapsí

- excitační neuron: předává signál dál
- inhibiční neuron: tlumí signál



Klidový a akční potenciál

Různé rozložení iontů na membráně

- Sodný kationt Na^+ (hlavní rozložení v extracelulární tekutině (ECT))
- Draselný kationt K^+ (hlavní rozložení intracelulární tekutině (ICT))
- Chloridový aniont Cl^- (hlavní rozložení v extracelulární tekutině (ECT))

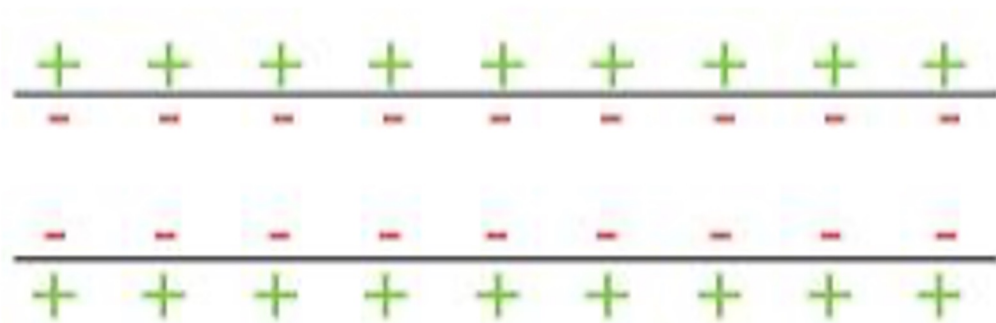
Na^+/K^+ ATPáza (sodíkovo-draselná pumpa / buněčná pumpa)

Klidový membránový potenciál

Normální hodnota klidového membránového potenciálu je -90 mV

Elektrický potenciál ovlivňuje:

- polarita náboje iontu
- permeabilita membrány (pro každý iont jiná)
- koncentrace iontů v ECT a ICT



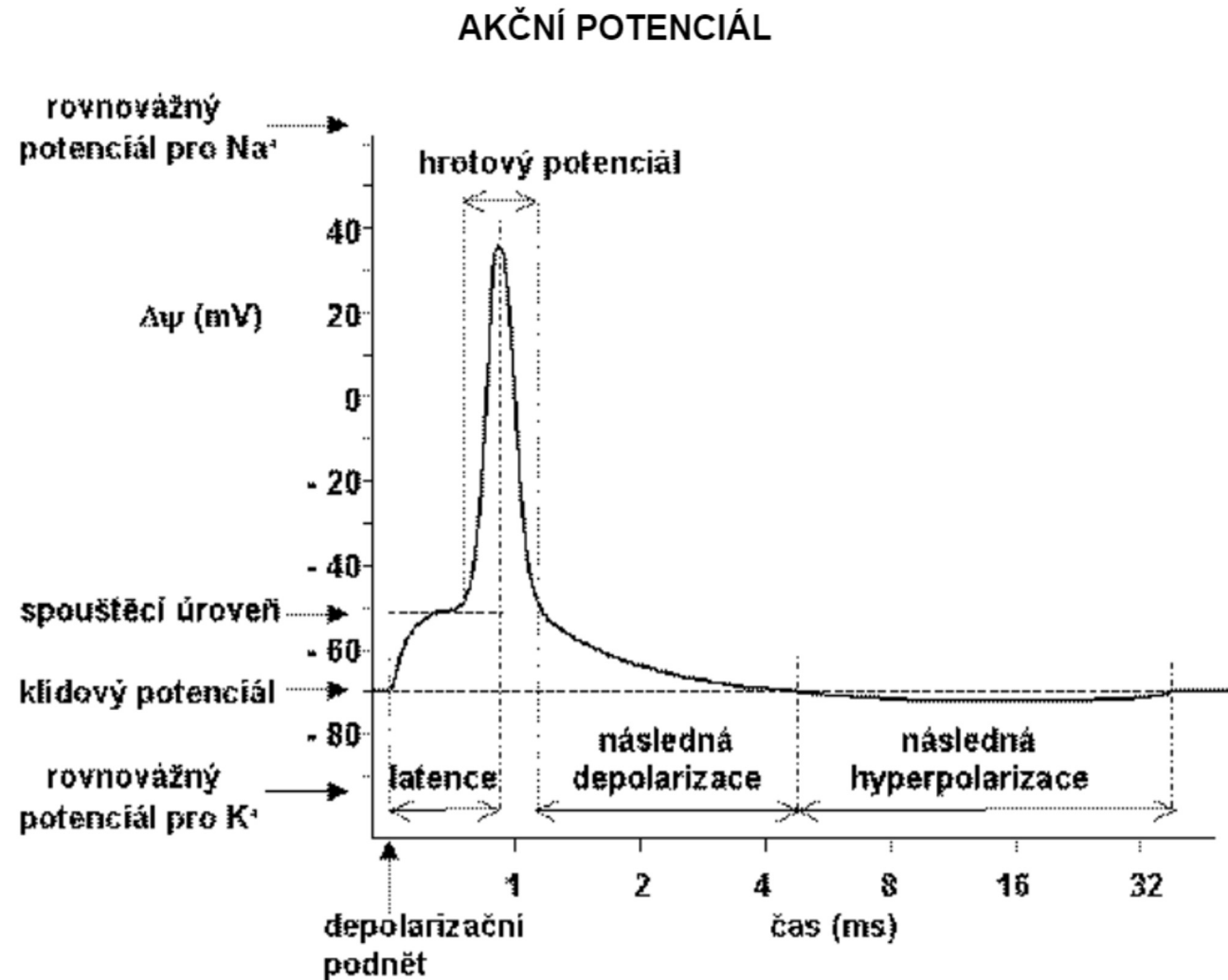
Klidový stav

Akční potenciál

Změna potenciálu

Fáze: - klidová fáze

- depolarizace
- přestřelení
- repolarizace
- hyperpolarizace



Patologie CNS

- Epilepsie
- Infekční onemocnění: zánět mozkových blan a mozku
- Degenerativní onemocnění mozku: Alzheimerova a Parkinsonova choroba
- Degenerativní onemocnění nervů: roztroušená skleróza
- Mozková mrtvice
- Deprese
- Rakovina

Mozek a spánek

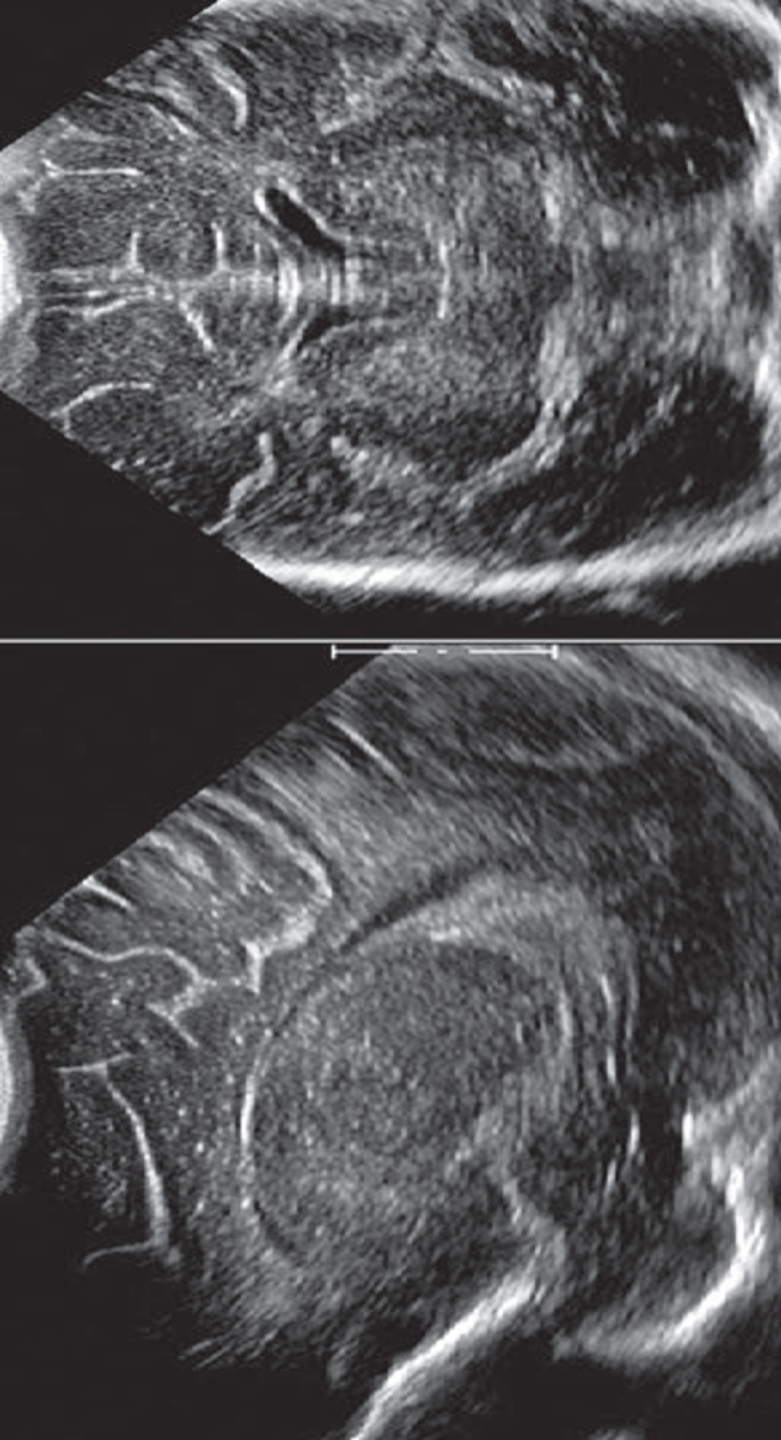
Nedostatek spánku:

- Horší následné učení se novým věcem a dovednostem
- Nižší koncentrace a pozornost
- Nepřiměřené rozhodování
- Horší paměť
- Větší riziko deprese



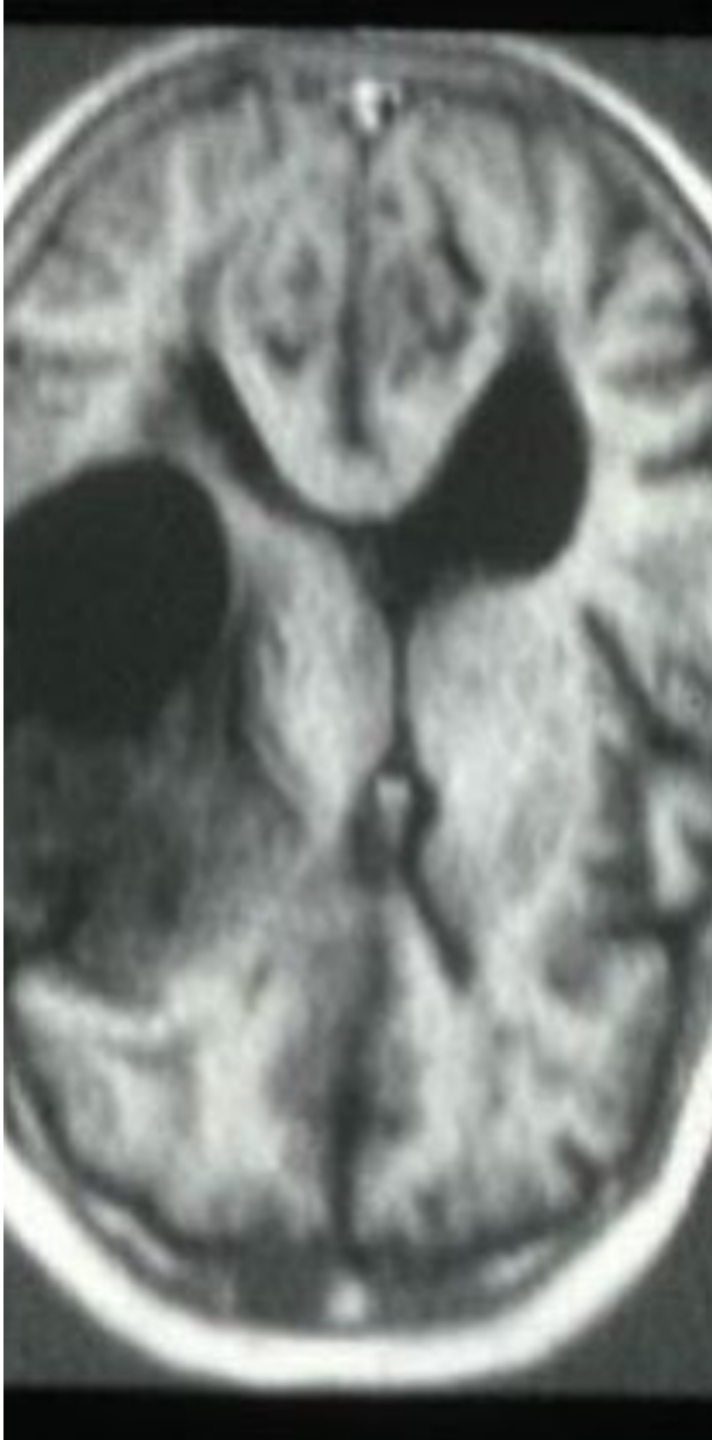
Neurozobrazovací metody

- Elektroencefalografie (EEG)
- Magnetoencefalografie (MEG)
- Ultrazvuk (UZ)
- Výpočetní tomografie (CT)
- Funkční / Magnetická rezonance (f/MRI)
- Pozitronová emisní tomografie (PET)
- Jednofotonová emisní výpočetní tomografie (SPECT)
- Difúzní optická tomografie (DOT)



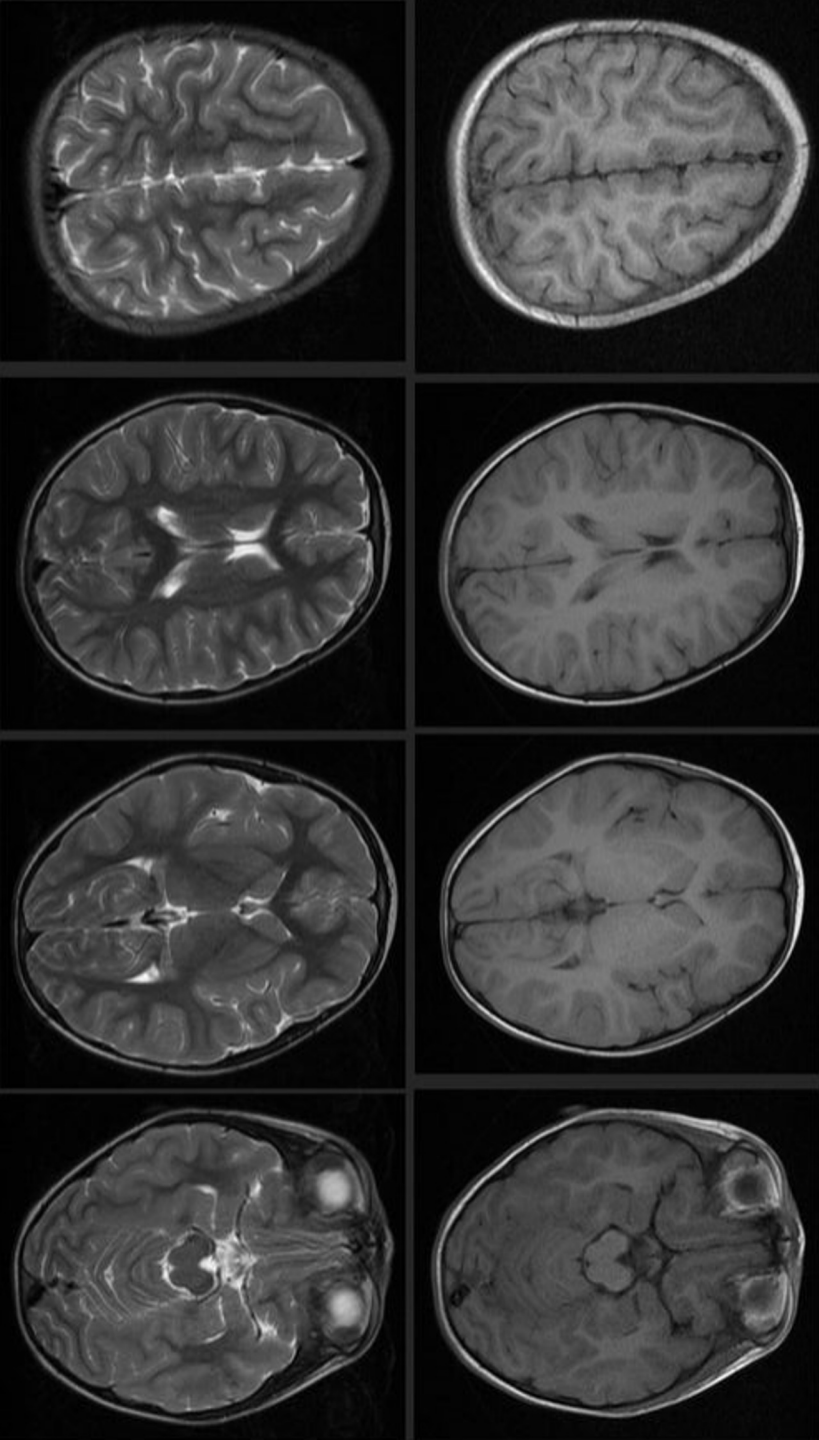
Ultrazvuk (UZ)

- Snadné, nenákladné, neinvazivní vyšetření měkkých tkání
- Princip: sonda funguje jako vysílač a přijímač ultrazvukových vln. Při šíření vln prostředím dochází k jejich odrazu. Odrazy jsou přijímány sondou a zrekonstruovány v obraz.
- + : neinvazivní, jednoduchý, levný
- - : vlny jsou odráženy plynným prostředím, obtížně pronikají kostmi, složité hodnocení u obézních lidí
- Využití: u mozku malých dětí: vývojové anomálie, krvácení po úrazu, nedokrevnost



Výpočetní tomografie (CT)

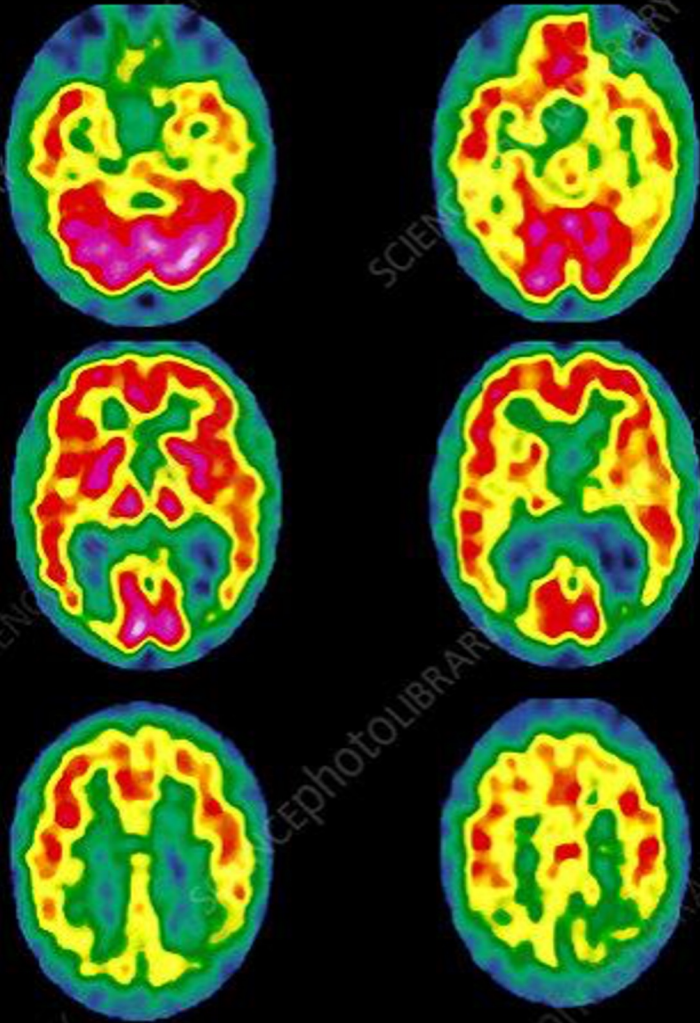
- Neinvazivní vyšetření pomocí RTG záření.
- Princip: Rekonstrukce obrazu se získá z mnoho rentgenových projekcí z různých úhlů.
- Mozek, svaly, ledviny, slezina
- Pomocí CT můžeme diagnostikovat jen procesy, které se liší svou denzitou (kontrastní látky).
- + : dokáže rozlišit a zobrazit málo kontrastní měkké tkáně
- - : ionizující záření



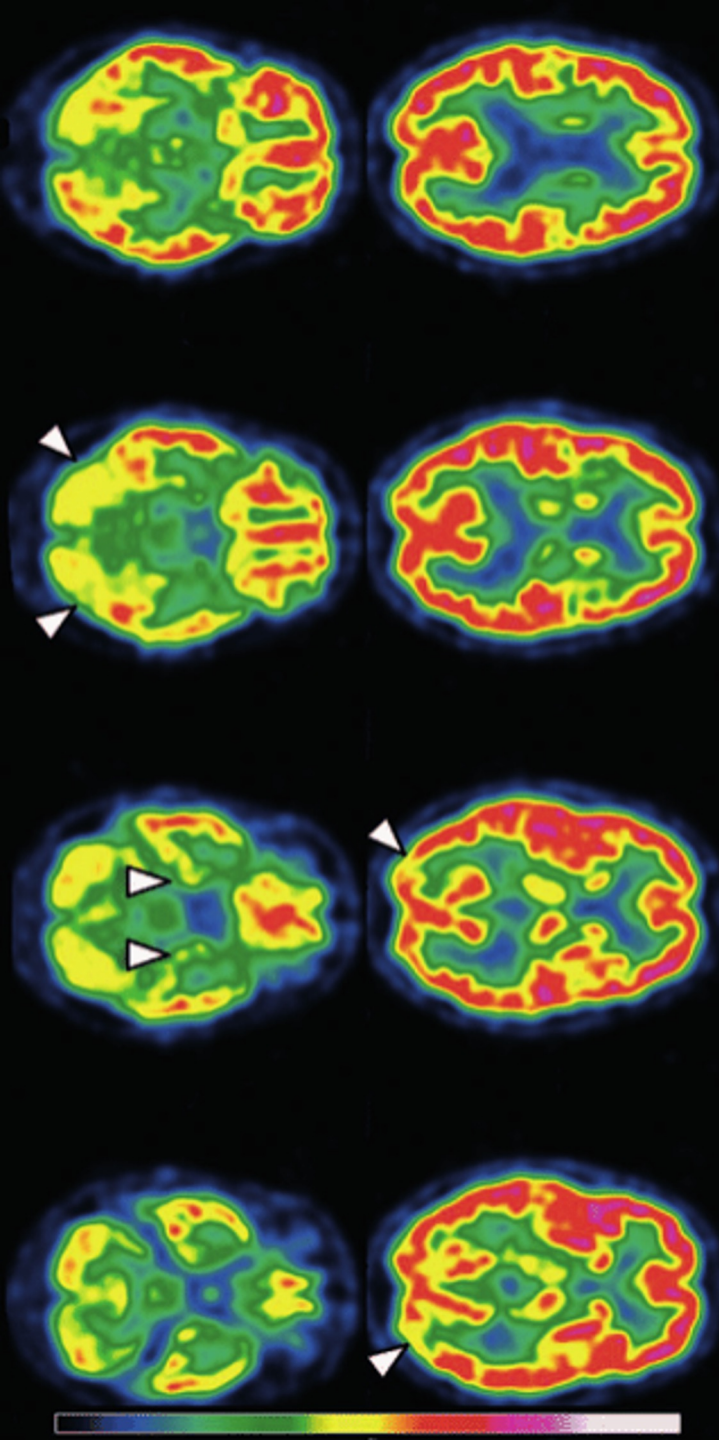
Magnetická rezonance (MRI)

- Neinvazivní vyšetřovací technika pomocí magnetického pole.
- Princip: Použitím gradientních magnetických polí se změní velikost magnetického pole a tím i rezonanční frekvence jader. Měřené frekvence indukovaného napětí se výpočtem převedou na polohu v obraze a amplituda napětí se zobrazí na škále šedé.
- + : přesnost zobrazení (lepší jak CT)
- - : vysoké náklady, vysoká časová náročnost, artefakty
- Využití: mozkové nádory, poúrazová krvácení, cévní změny, které se mohou projevovat poruchami paměti.

Jednofotonová emisní výpočetní tomografie (SPECT)



- Metoda používaná v nukleární medicíně
- Princip: obraz vzniká zrekonstruováním jednotlivých snímků (iterativní, zpětná filtrované projekce) při pořízení scintigrafických snímků pacienta z více úhlů po podání radiofarmaka s gama zářením.
- +/-: vyšší kontrast snímků, kvantifikace radiofarmaka, menší zátěž než CT, nepřesné výsledky vlivem atenuovaného záření (fotoelektrický nebo Comptonový jev).
- Využití: prokrvení – funkčnost mozku a jeho metabolická aktivita (Alzheimer, demence,...), lokalizace místa (epilepsie).

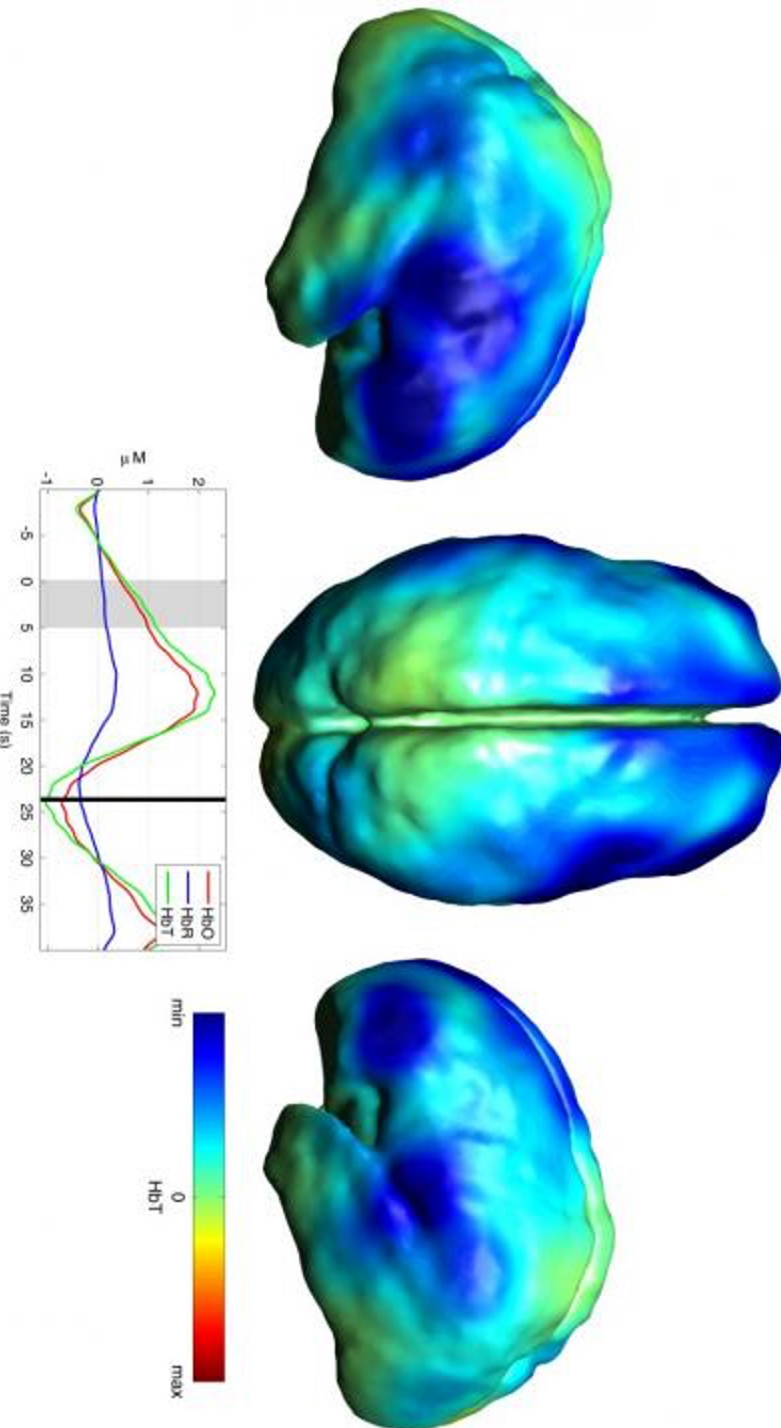


Pozitronová emisní tomografie (PET)

- Metoda používaná v nukleární medicíně zobrazující informace o funkci tkání a orgánů.
- Princip: Podané radiofarmakum produkuje pozitrony, které anihilují s elektrony, a tím vzniknou dva fotony záření gama v jedné přímce. Tomografický obraz = trojrozměrná rekonstrukce zachycených párů.
- + : přesnost a prostorová rozlišovací schopnost (větší detekční účinnost než SPECT)
- - : technická náročnost a cena
- Využití: diagnostika Alzheimerovy choroby, lokalizace epilepsie, sledování krevního průtoku v mozku (cévní mozkové příhody)

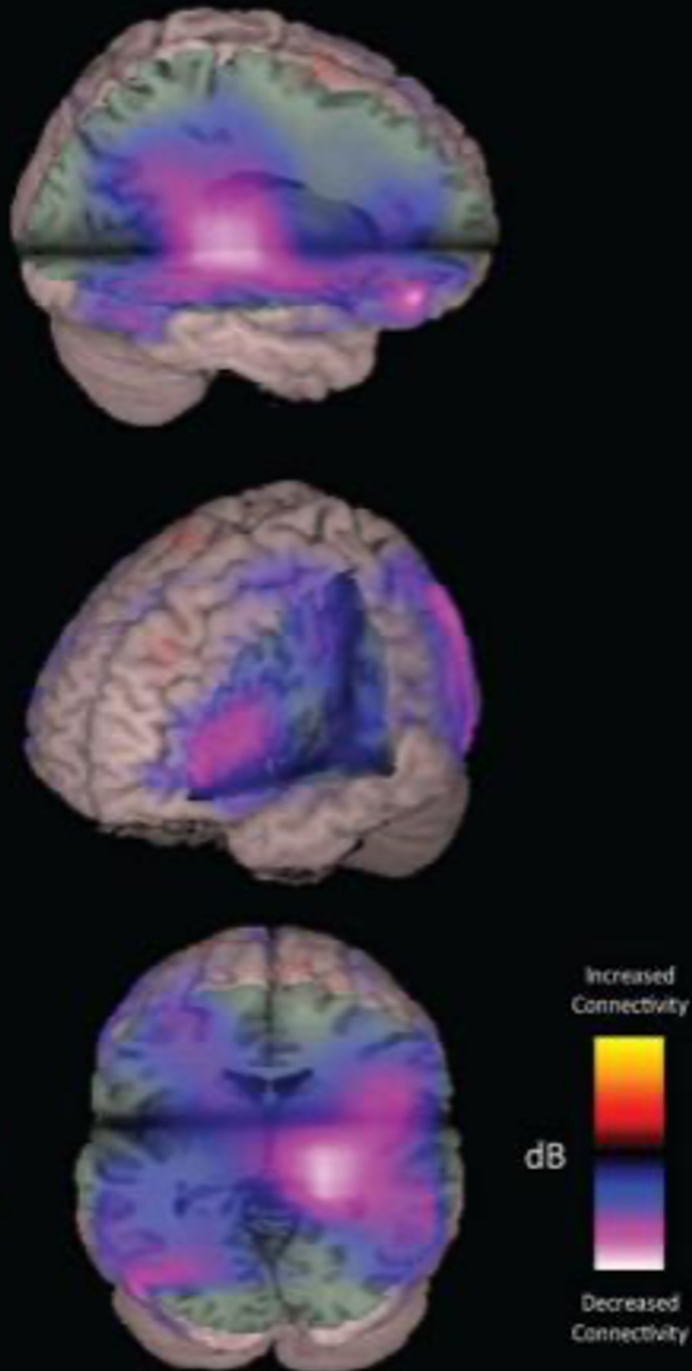
Difúzní optická tomografie (DOT)

- Zobrazovací technika pro monitorování aktivity používající světlo
- Princip: zobrazování je založeno na metodě blízké infračervené spektroskopie nebo na fluorescenci.
- + : vysoké časové rozlišení
- - : nízké prostorové rozlišení
- Využití: informace o saturaci hemoglobinu kyslíkem , screeningový nástroj pro intrakraniální krvácení, mapování funkční konektivity

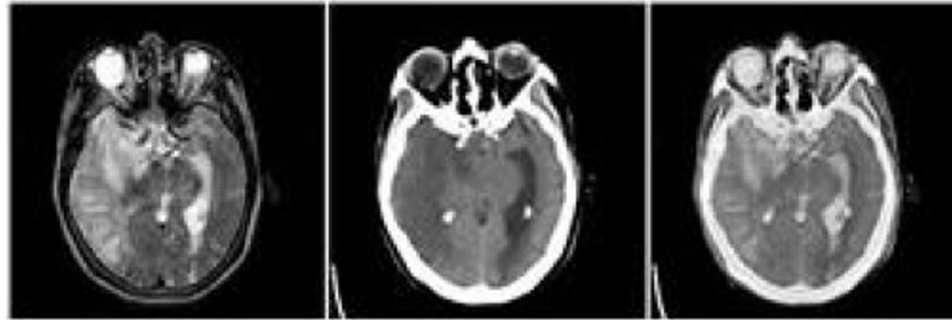


Magnetoencefalografie (MEG)

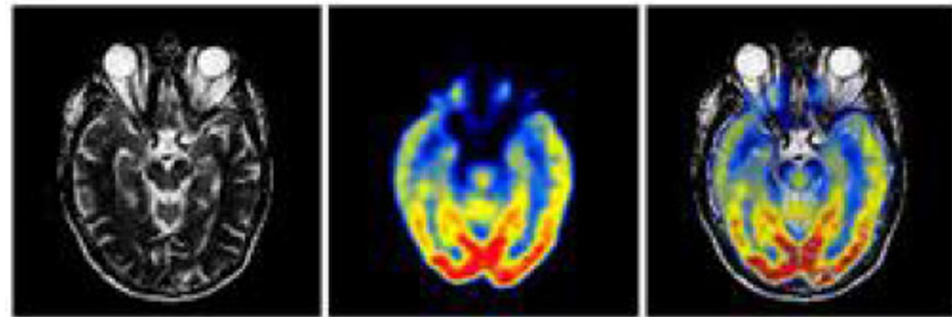
- Metoda mapující mozkovou aktivitu pomocí citlivých magnetometrů.
- Princip: v mozku dochází k šíření elektrického signálu, který indukuje magnetické pole.
- + : lepší prostorové rozlišení než EEG (signál je méně zkreslen lebkou)
- Využití: časový průběh činnosti mozku, diagnostika roztroušené sklerózy, schizofrenie, studium epilepsie



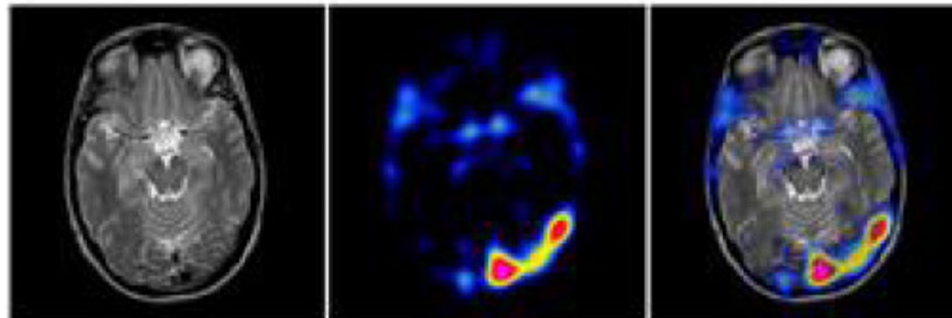
Zobrazovací metody – Fusion Imaging



MRI - CT

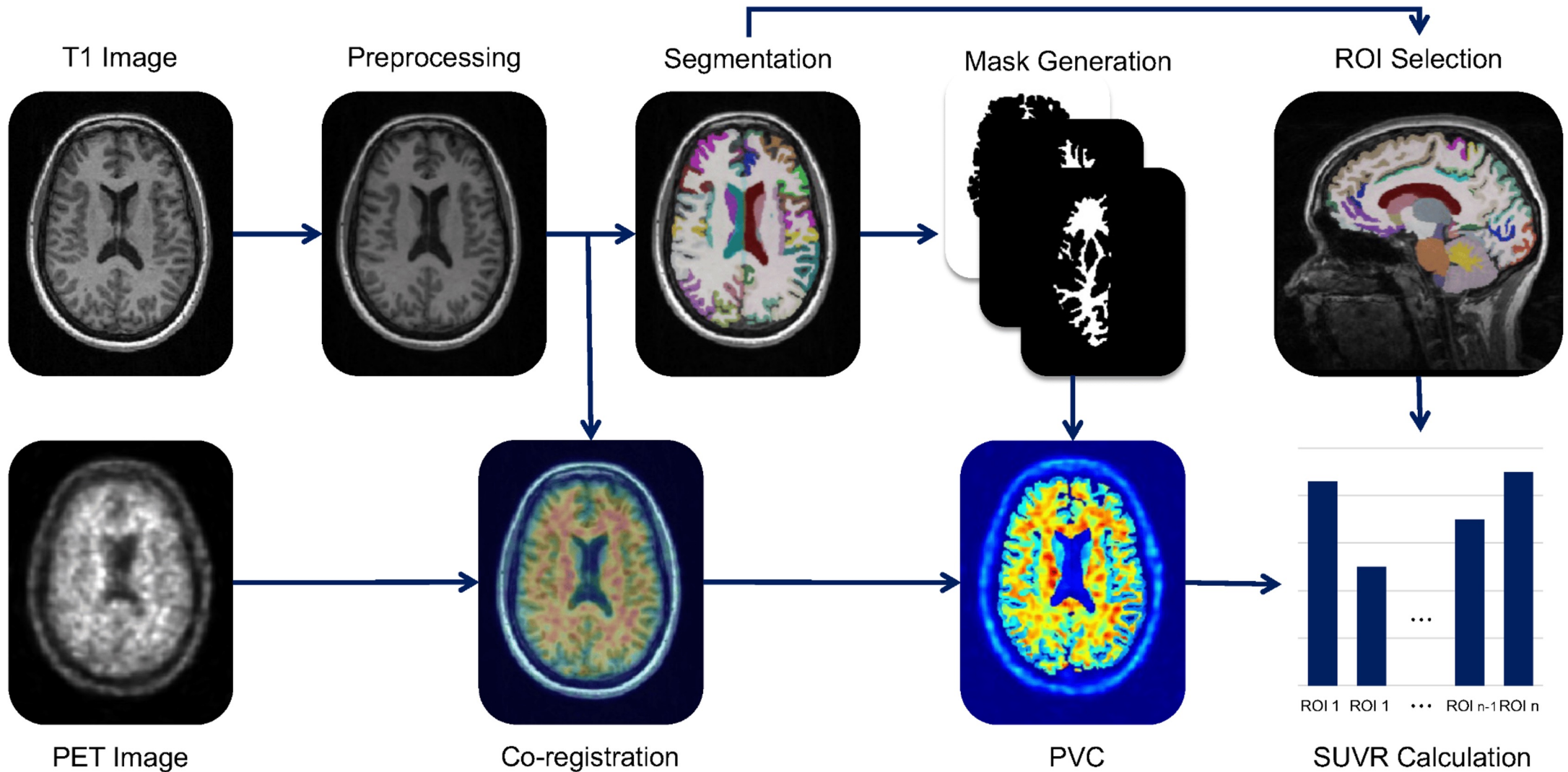


MRI - PET



MRI - SPECT

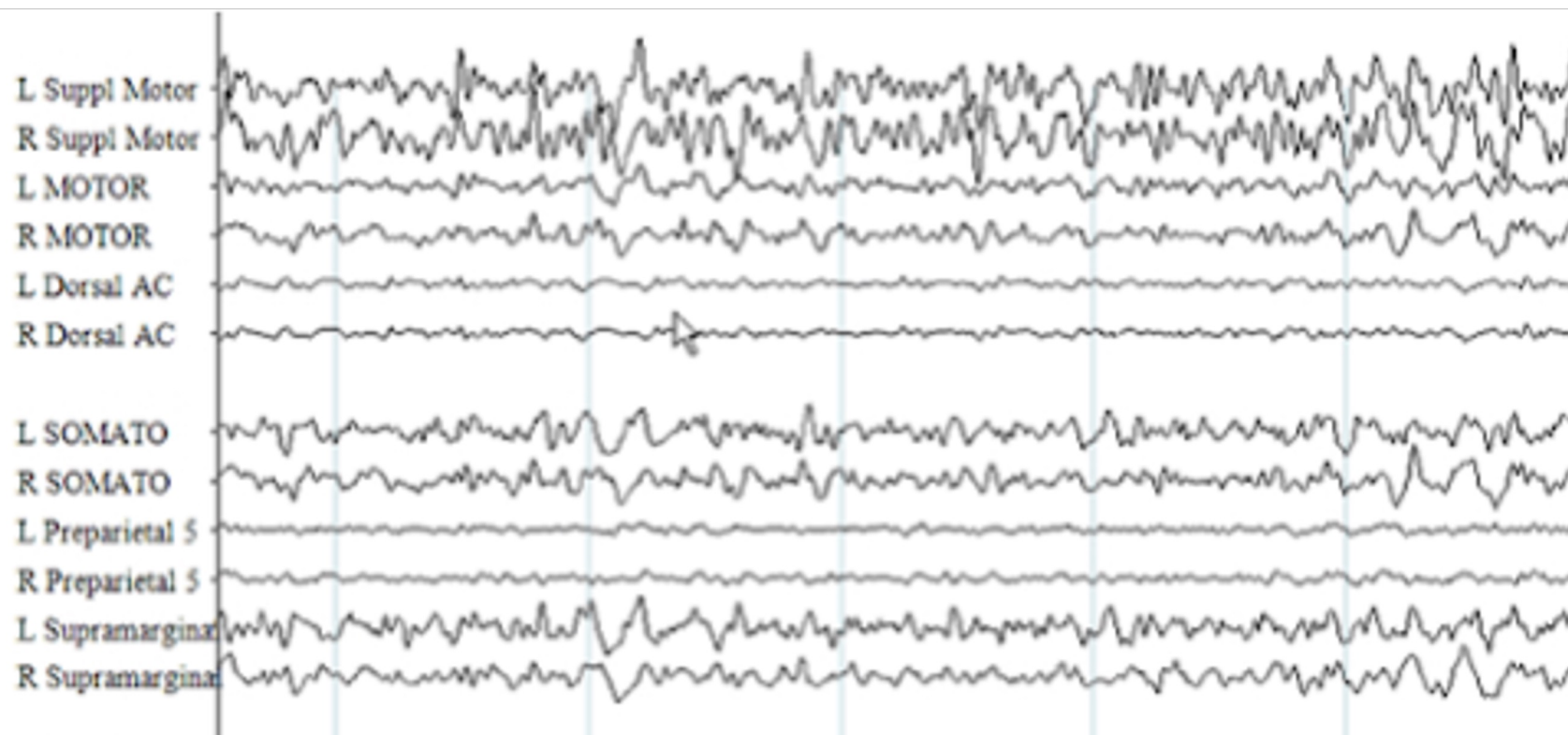
MRI / PET fúze



Elektroencefalografie (EEG)

Funkční zobrazovací metoda

Registrace elektrické aktivity mozku pomocí elektrod



Snímání EEG

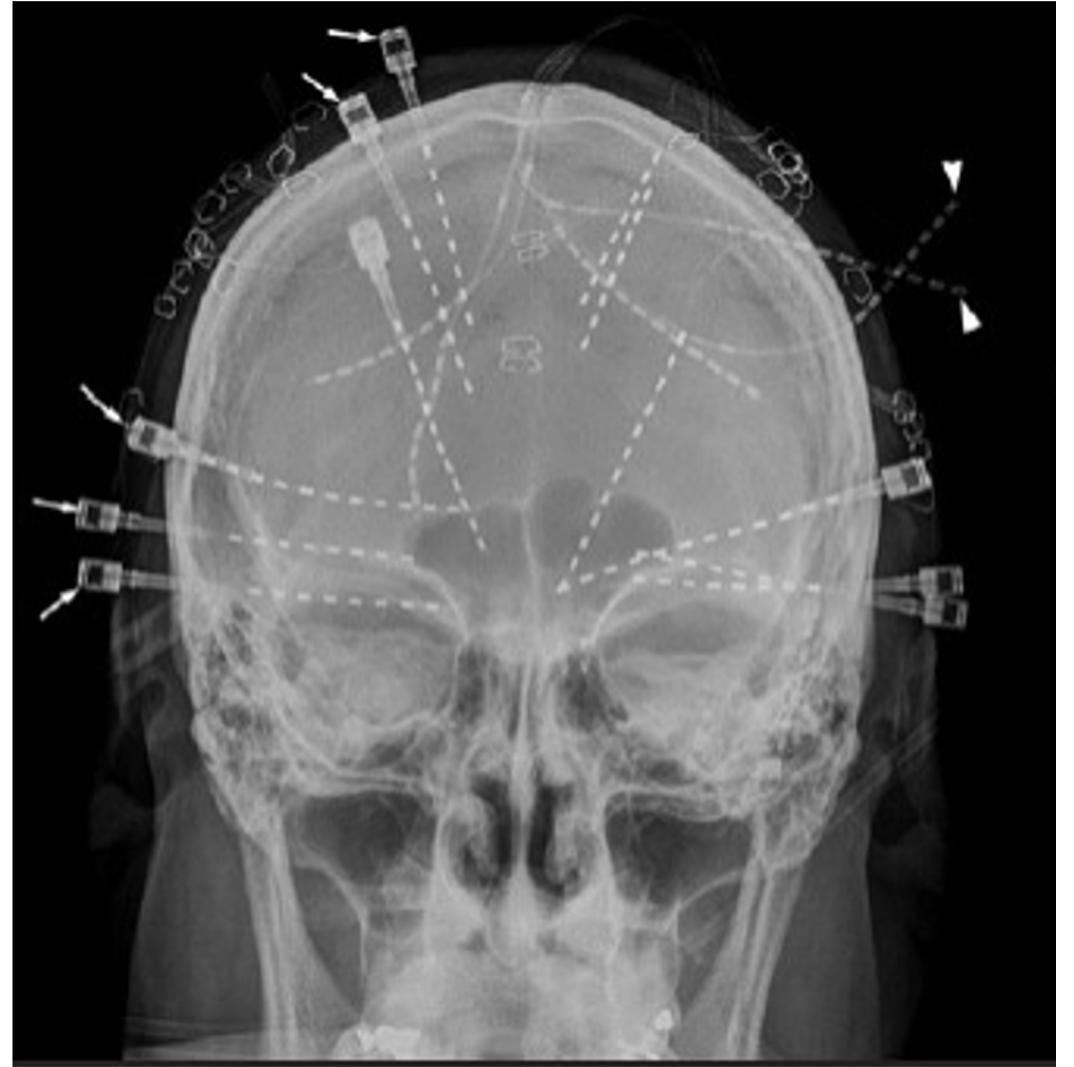
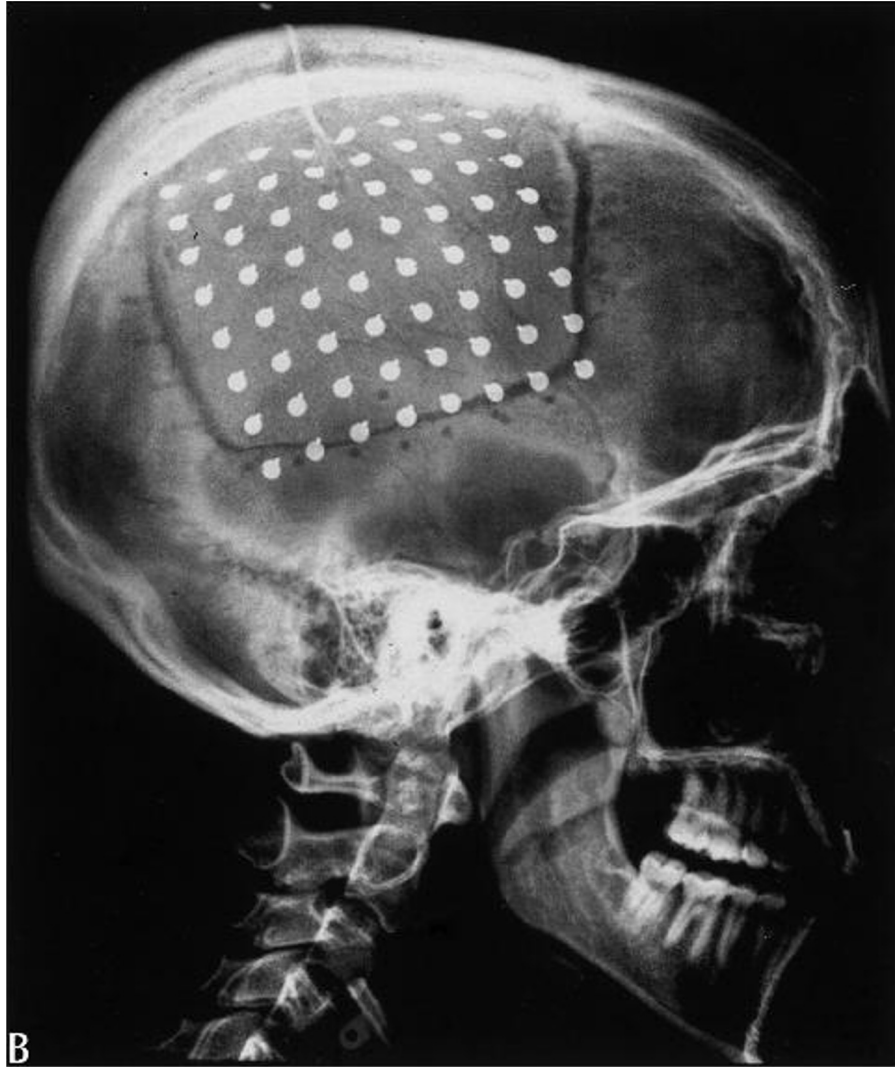
Neinvazivní EEG

Invazivní EEG (SEEG)

Elektrokortikografie (ECoG)



Invasive EEG (grid/strips, depth)



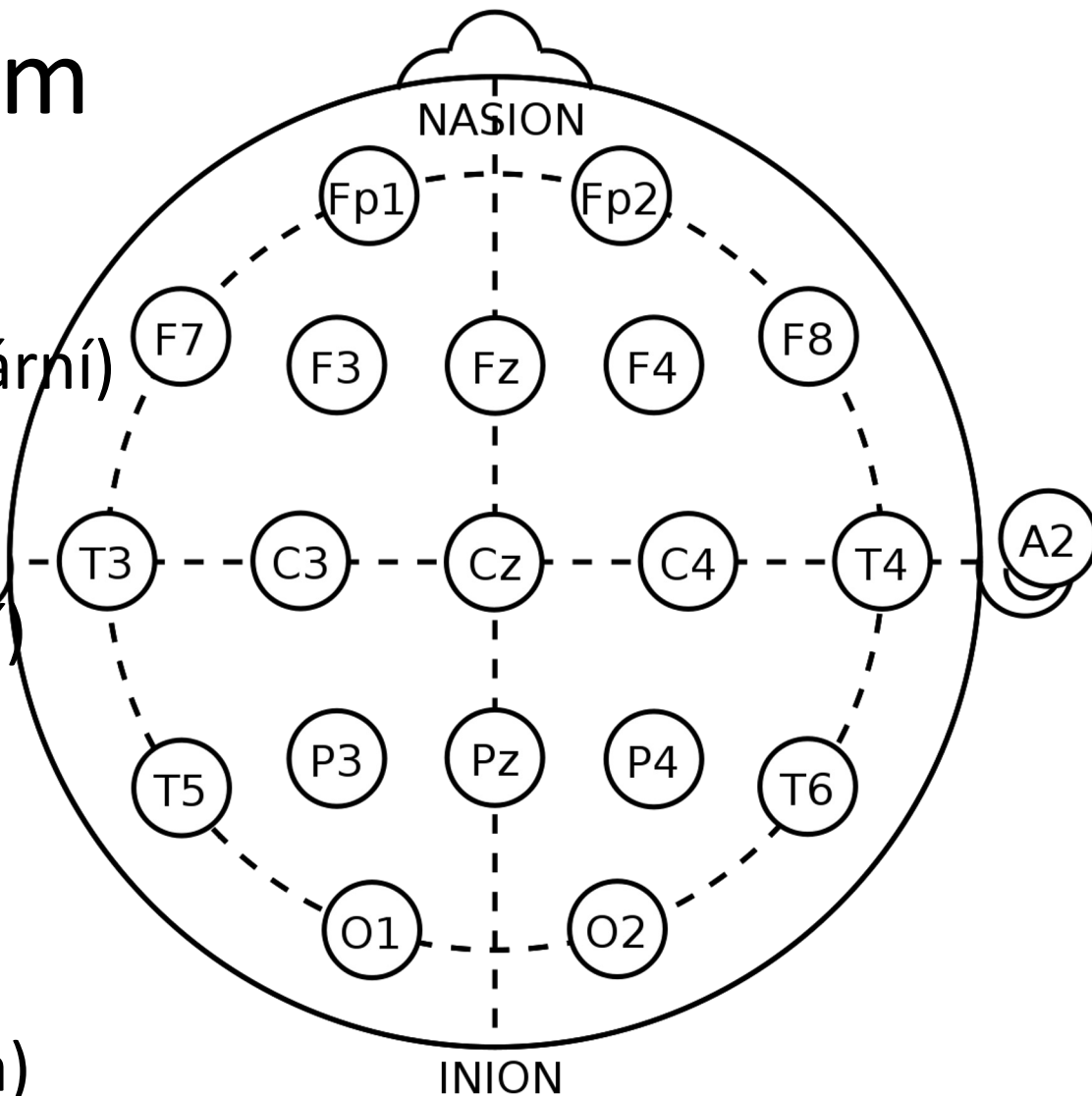
Mezinárodní 10-20 systém

Písmena

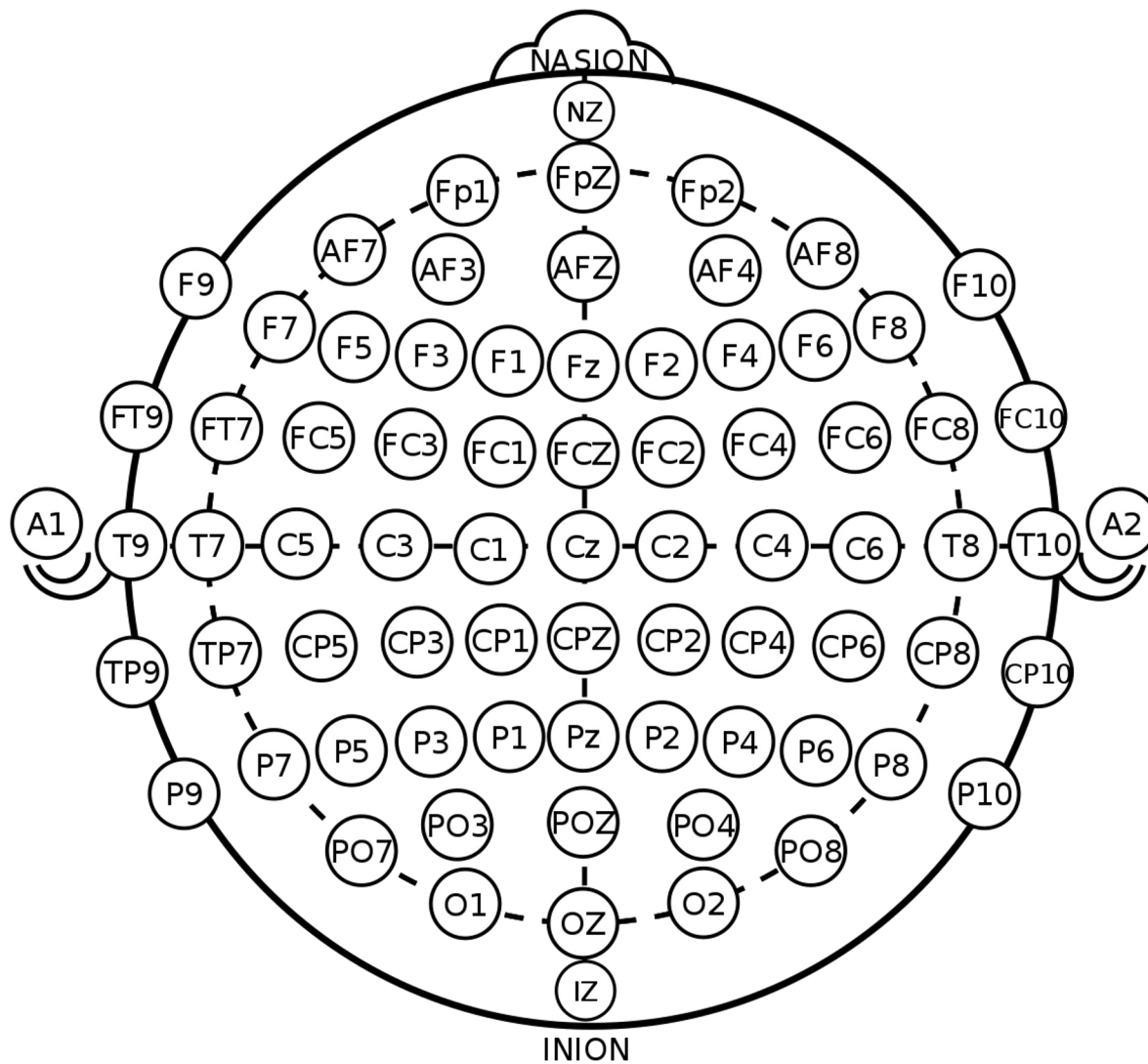
- F (frontální)
- Fp (frontopolární)
- C (centrální)
- P (parietální)
- T (temporální)
- O (okcipitální)
- A (reference)

Čísla

- sudá (pravá hemisféra)
- lichá (levá hemisféra)



Mezinárodní 10 – 10 systém

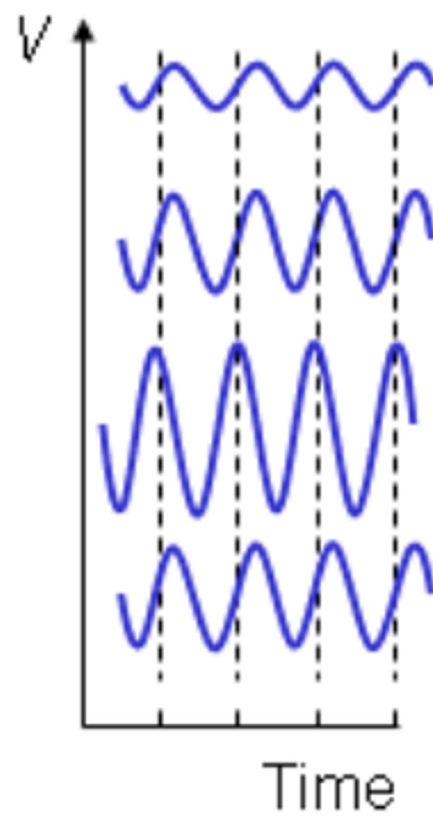
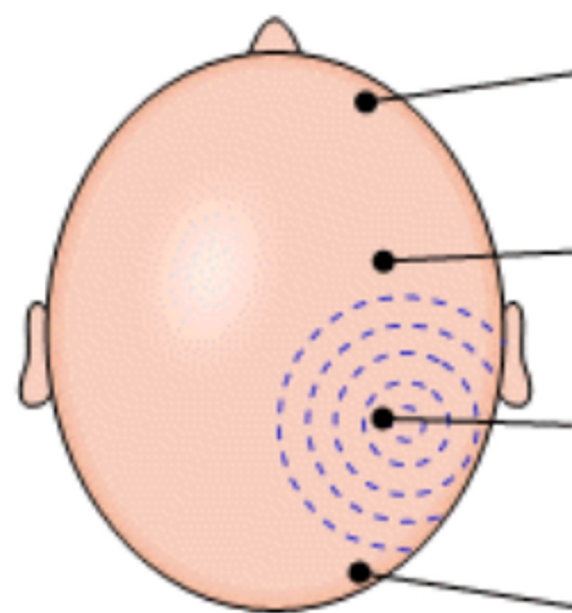
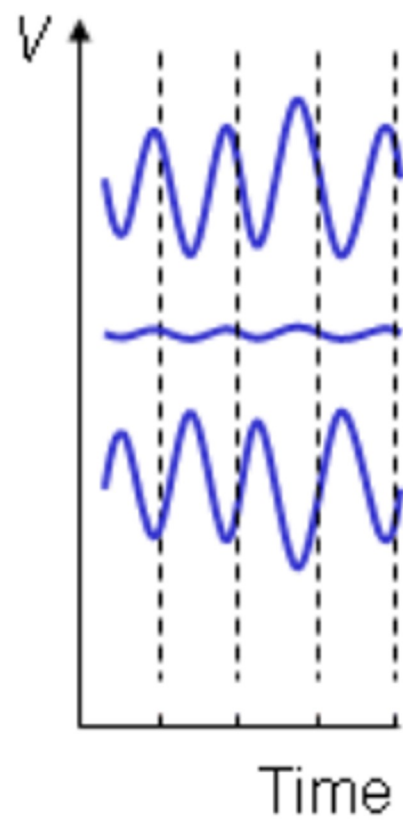
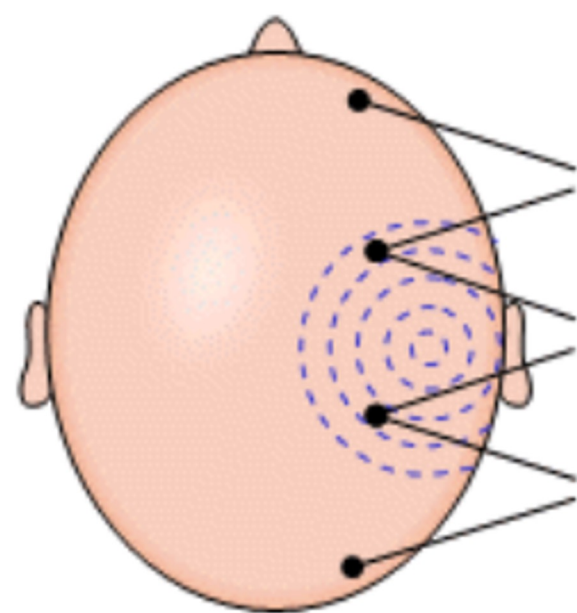


Zapojení elektrod

Svod: základní jednotka registrace elektrické aktivity

Typy zapojení podle uspořádání svodů:

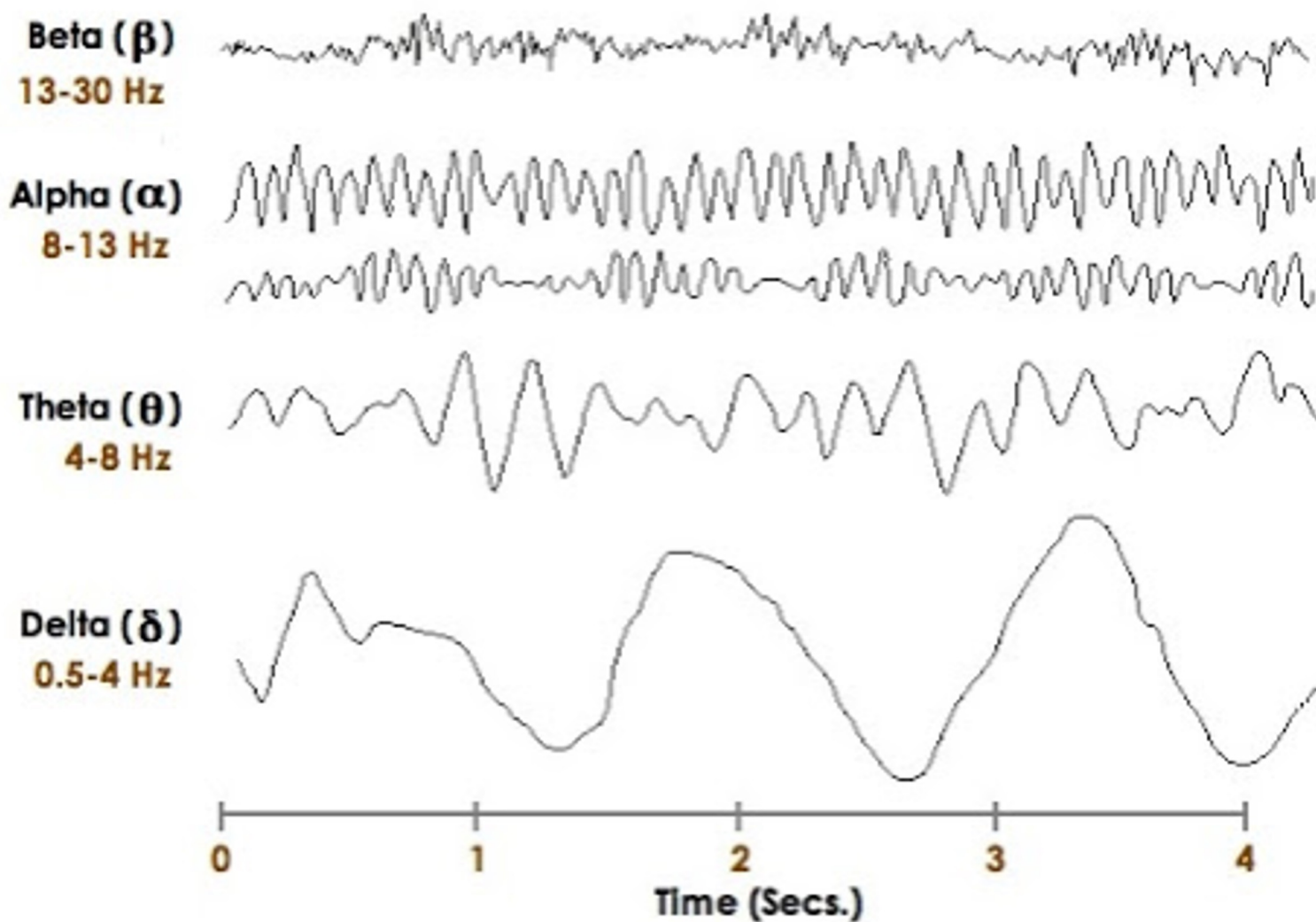
- **Unipolární:** elektroda je zapojená k jedné neaktivní elektrodě
 - referenční (ucho)
 - zdrojové (porovnání s váženým průměrem ostatních elektrod)
- **Bipolární:** elektrody zapojené za sebou, jedna tvoří referenci



Aktivita mozku

- **Delta vlny** (frekvenční rozsah: 0,5 - 4 Hz) u malých dětí do jednoho roku, u dospělých v hlubokém spánku (patologické v bdělosti)
- **Theta vlny** (frekvenční rozsah: 4 - 8 Hz) u malých a prepubescentních dětí, při ospalosti či spánku u dospělých, meditace
- **Alfa vlny** (frekvenční rozsah: 8 - 13 Hz) bdělý stav u dospělých, zavřené oči, relaxace
- **Beta vlny** (frekvenční rozsah: 13 - 22 Hz) neschopnosti relaxace, stres a úzkost
- **Gama vlny** (frekvenční rozsah: 22 - 30 Hz) soustředění, pozornost

Aktivita mozku



Evokované potenciály

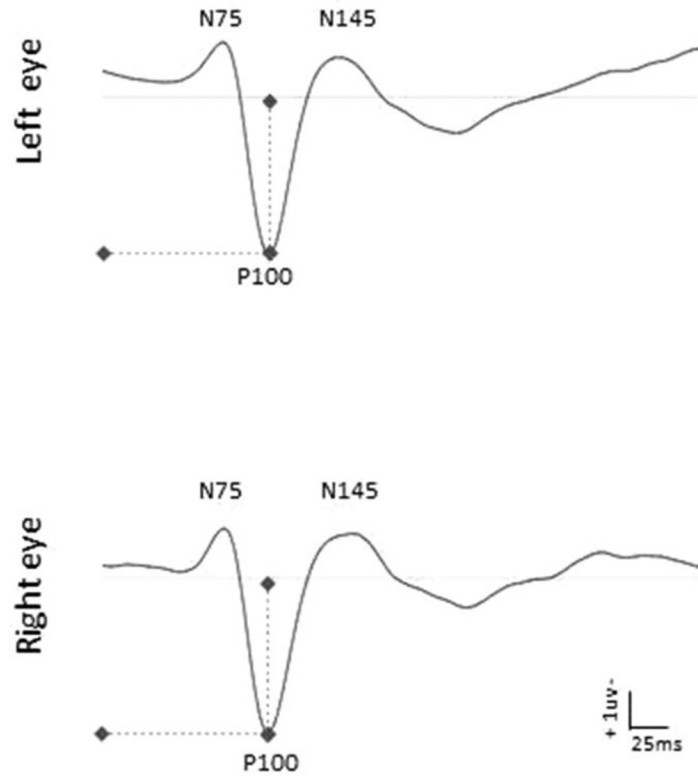
Reakce mozku na podnět:

- Zrakové
- Sluchové
- Somatosenzorické (dráždění periferních nervů)
- Motorické

Zrakový evokovaný potenciál

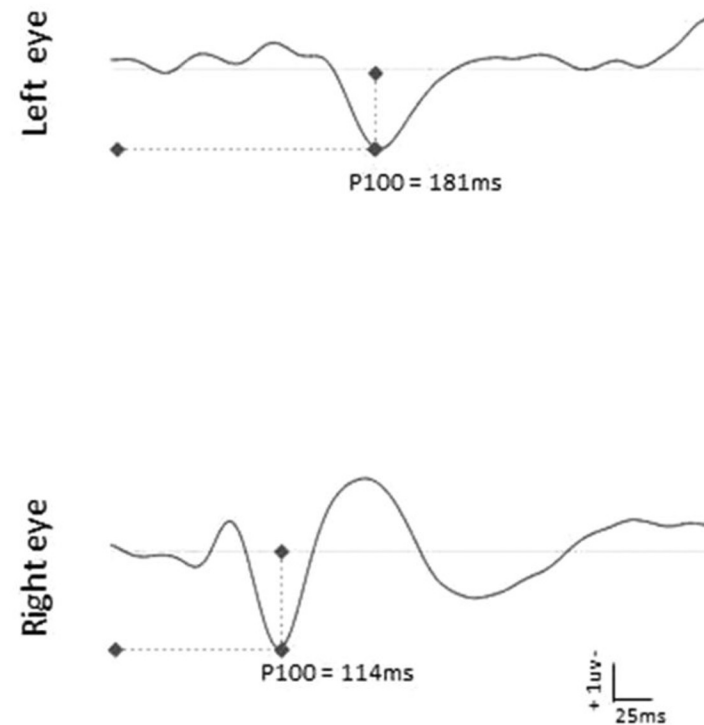
A

Healthy control

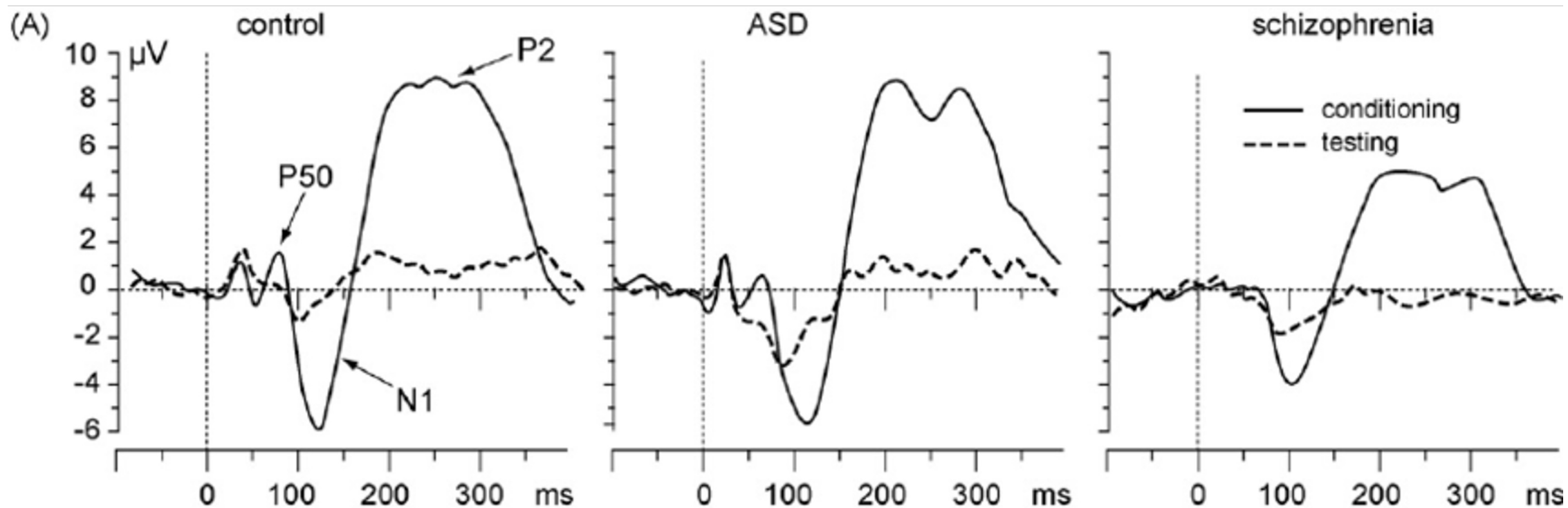


B

Optic neuritis



Sluchový evokovaný potenciál



Artefakty

- Muskulární
- Pohybové
- Okulární
- Kardiální
- Drift
- Interferenční (síťový brum: 50Hz/60Hz)

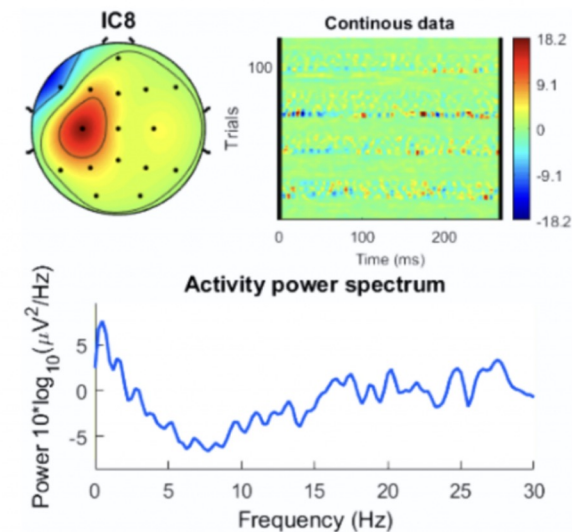
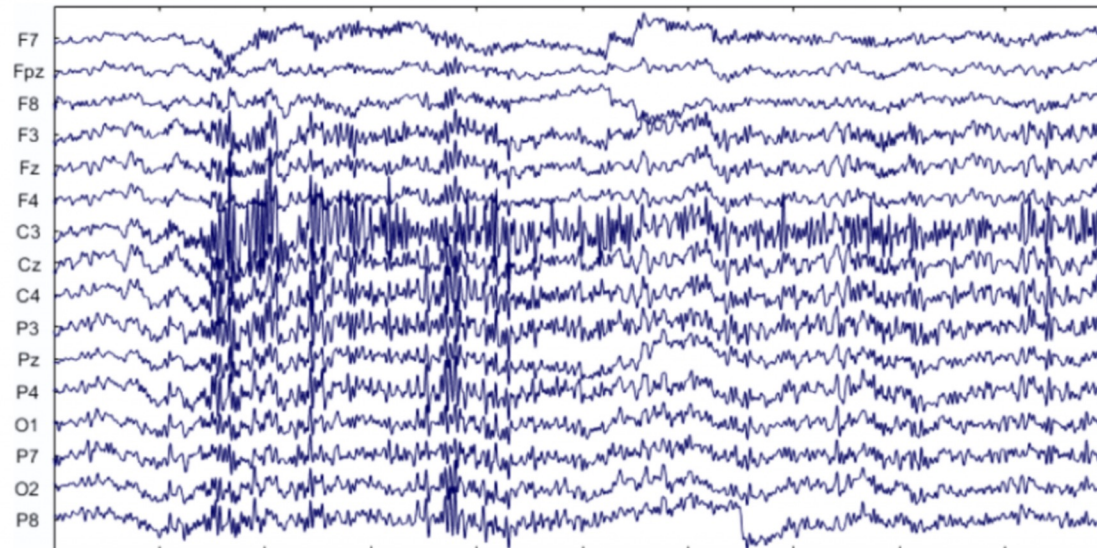
Muskulární artefakty

Časová doména: pozorovatelný vysokofrekvenční signál, který překrývá EEG. Amplituda koreluje se silou svalové kontrakce.

Frekvenční doména: vliv na vysokofrekvenční signál, který překrývá artefakty v pásmech beta a gama.

PHYSIOLOGICAL ARTIFACTS

Jaw clenching



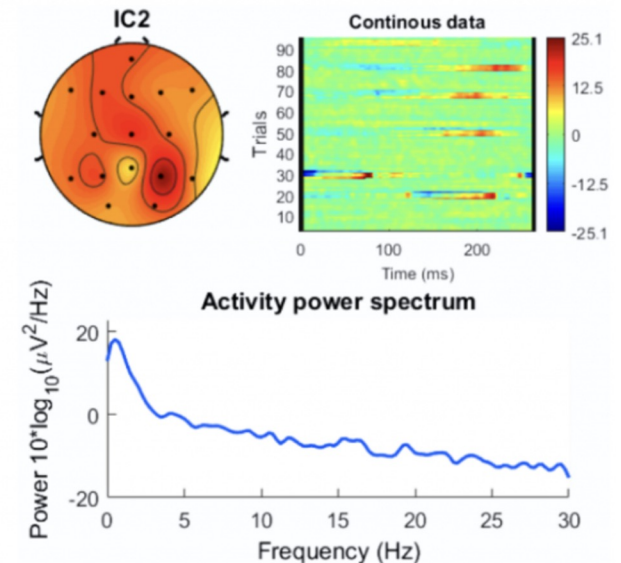
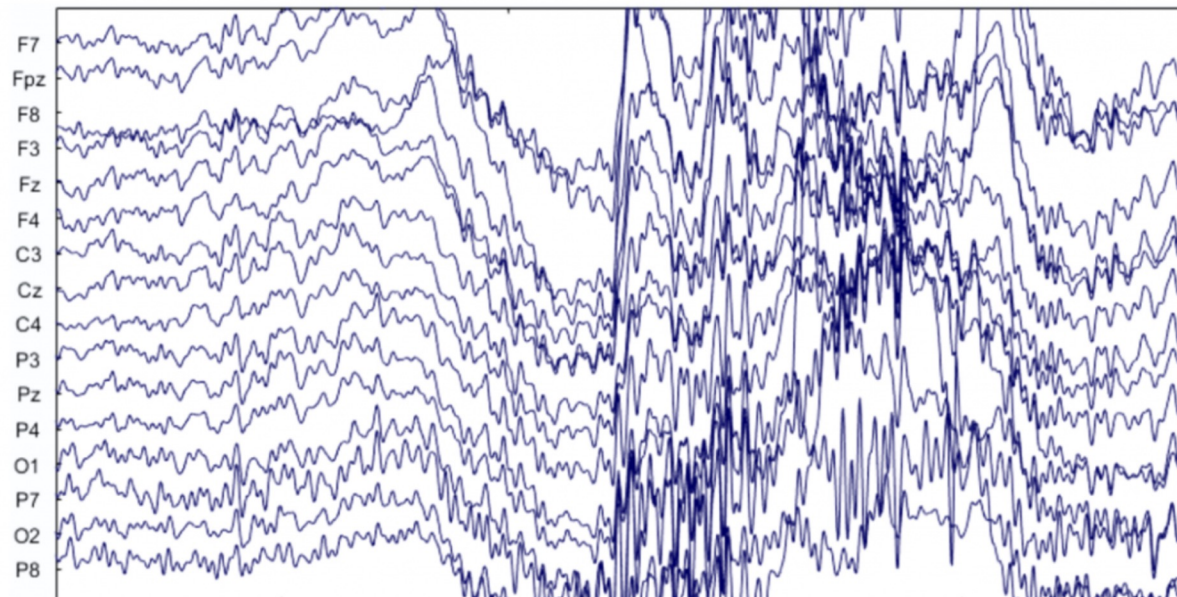
Pohybové artefakty

Časová doména: dočasné pomalé vlny odpovídající rytmu pohybu

Frekvenční doména: Vliv je lokalizován v nižších frekvencích překrývajících se pásma delta a theta

NON-PHYSIOLOGICAL / TECHNICAL ARTIFACTS

Body movements



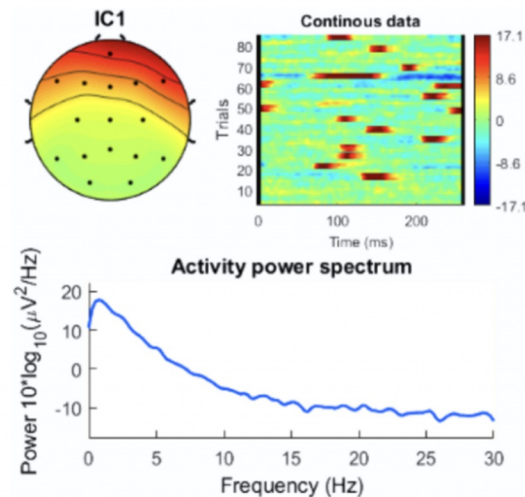
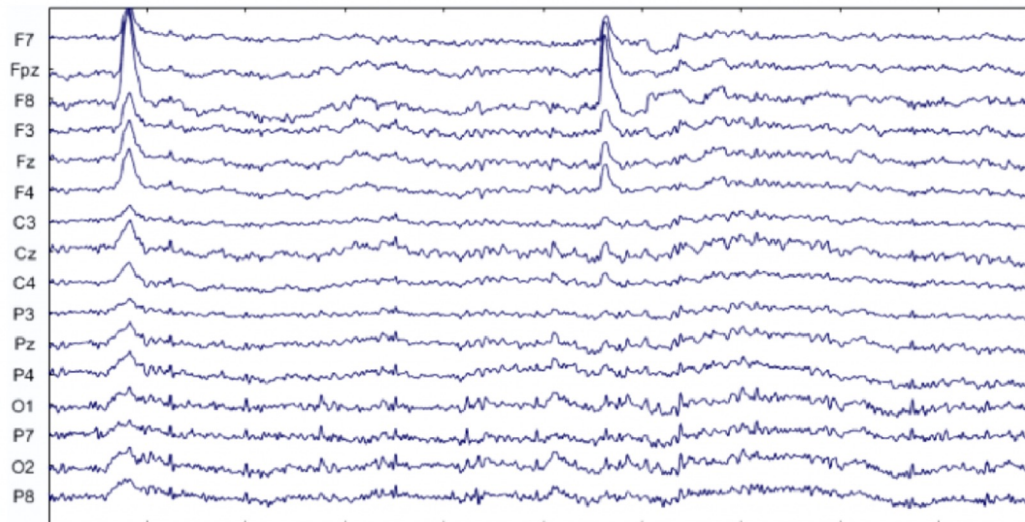
Okulární artefakty

Časová doména: Mrkání vytváří rychlou změnu s vysokou amplitudou na EEG signálech v elektrodách frontální oblasti, výraznější v elektrodách blíže k očím.

Frekvenční doména: Vliv na nízkých frekvencích, který lze zaměnit s pásmy delta a theta.

PHYSIOLOGICAL ARTIFACTS

Eye blinks



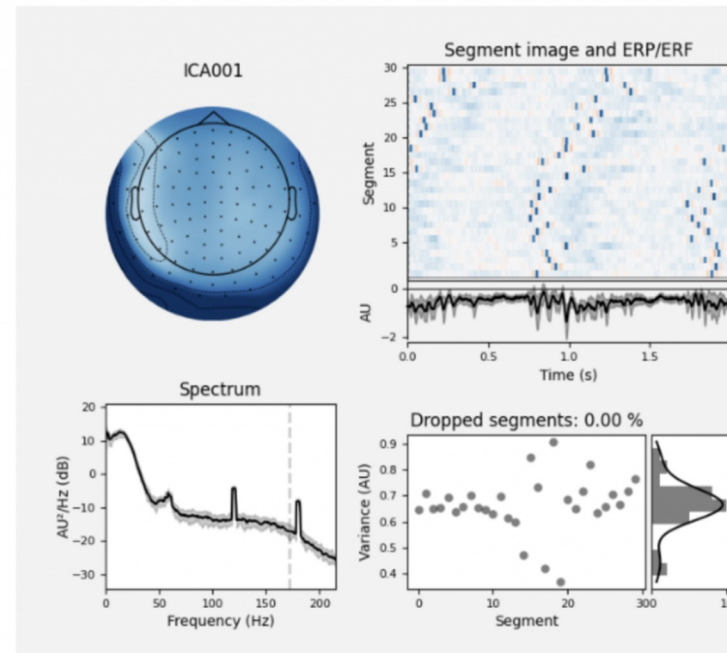
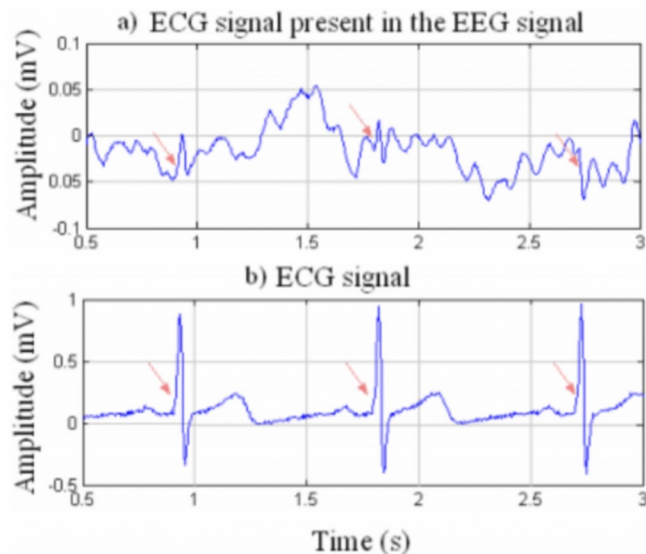
Kardiální artefakty

Časová doména: Rytmický vzor, který odpovídá srdečním tepům, které překrývají signál EEG.

Frekvenční doména: Frekvenční složky EKG se překrývají s frekvencemi EEG pásem = obtížné je vizualizovat pouhým okem

PHYSIOLOGICAL ARTIFACTS

Cardiac activity



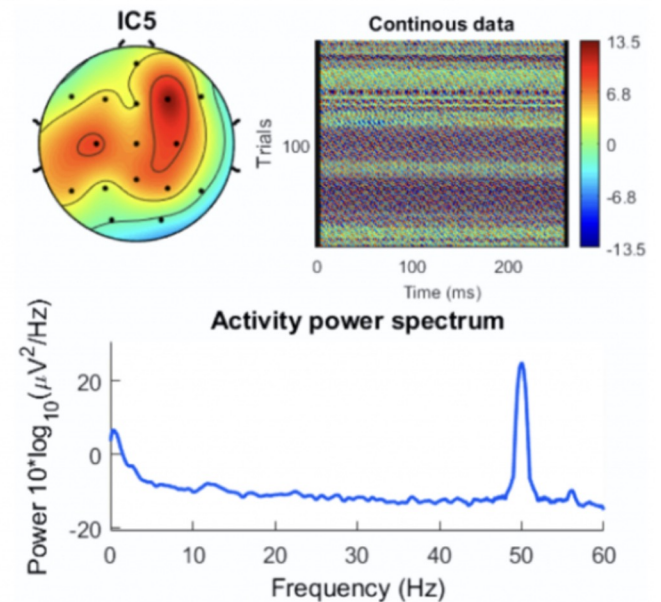
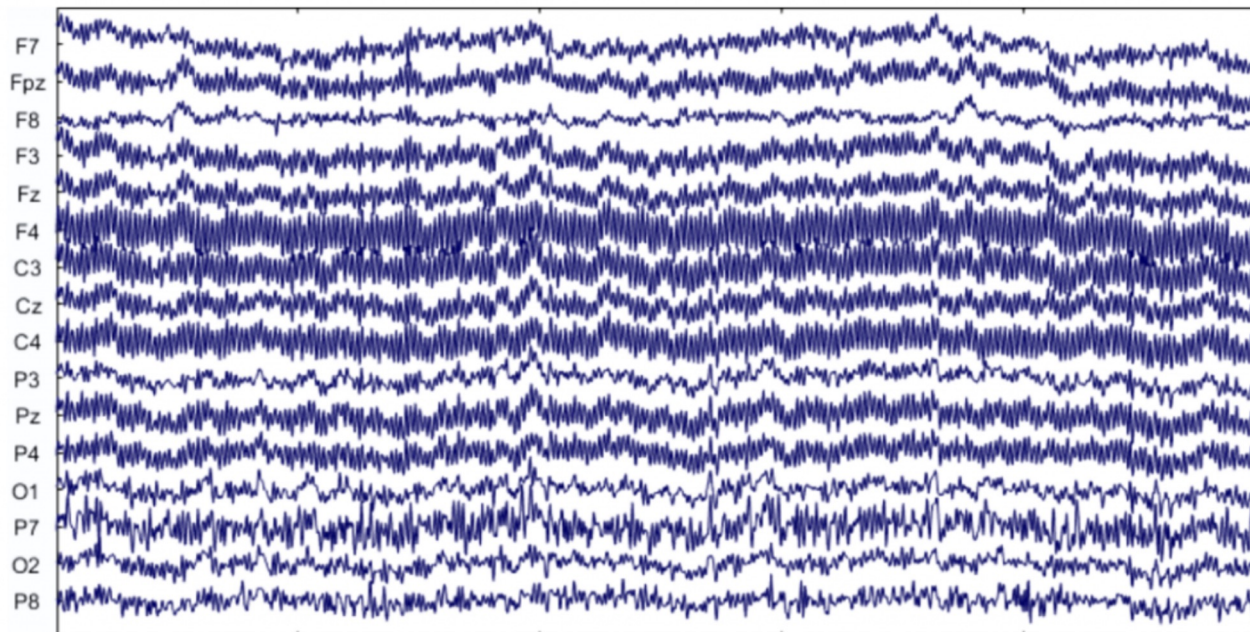
Interferenční artefakt

Časová doména: Můžete pozorovat vysokofrekvenční šum nepřetržitě překrývající signál EEG.

Frekvenční doména: velký skok kolem 50 Hz nebo 60 Hz

NON-PHYSIOLOGICAL / TECHNICAL ARTIFACTS

Powerline interference



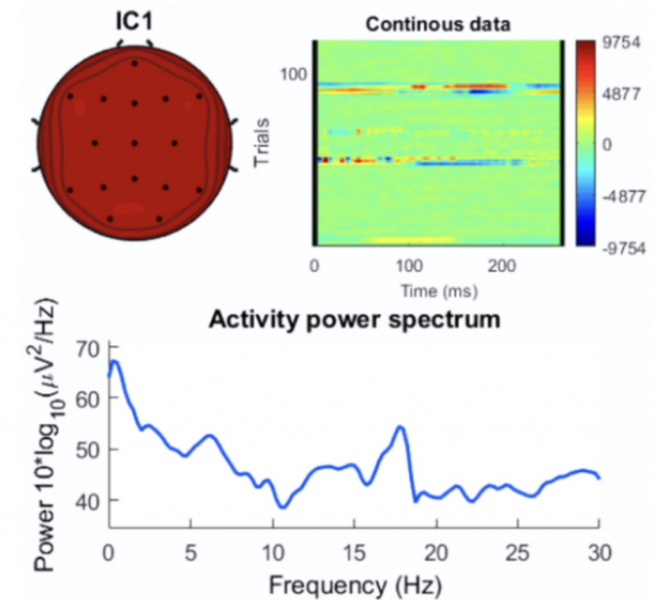
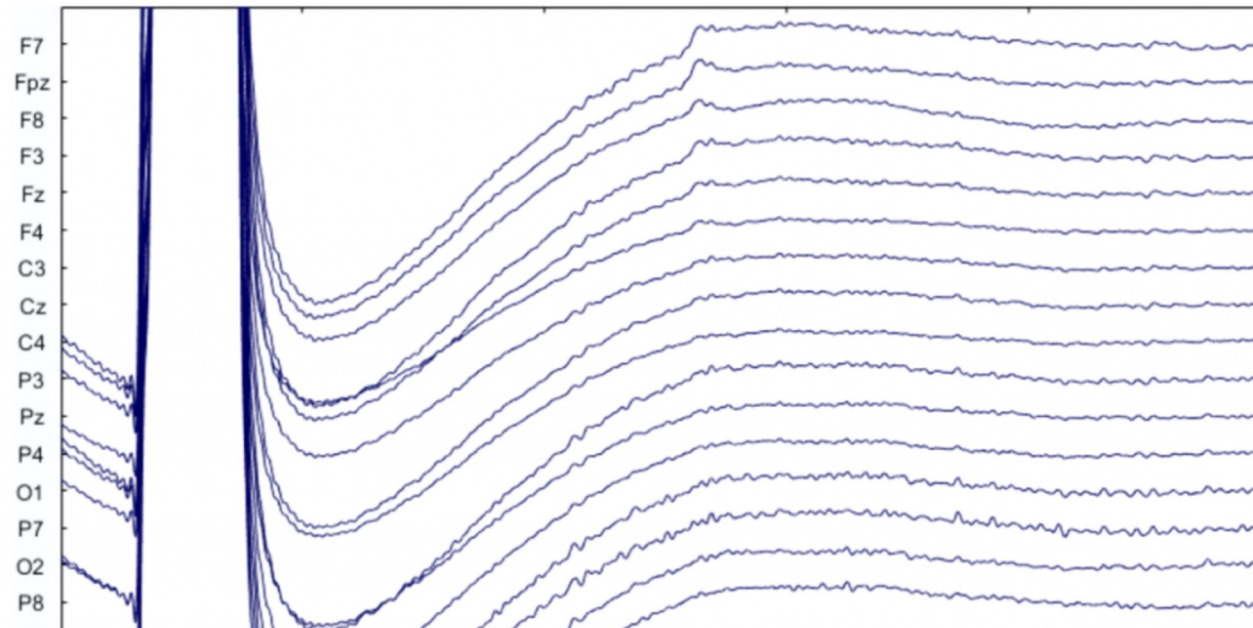
Špatně umístěná referenční elektroda

Časová doména: náhlé změny ve všech kanálech s vysokou amplitudou

Frekvenční doména: velmi vysoký výkon ve všech kanálech

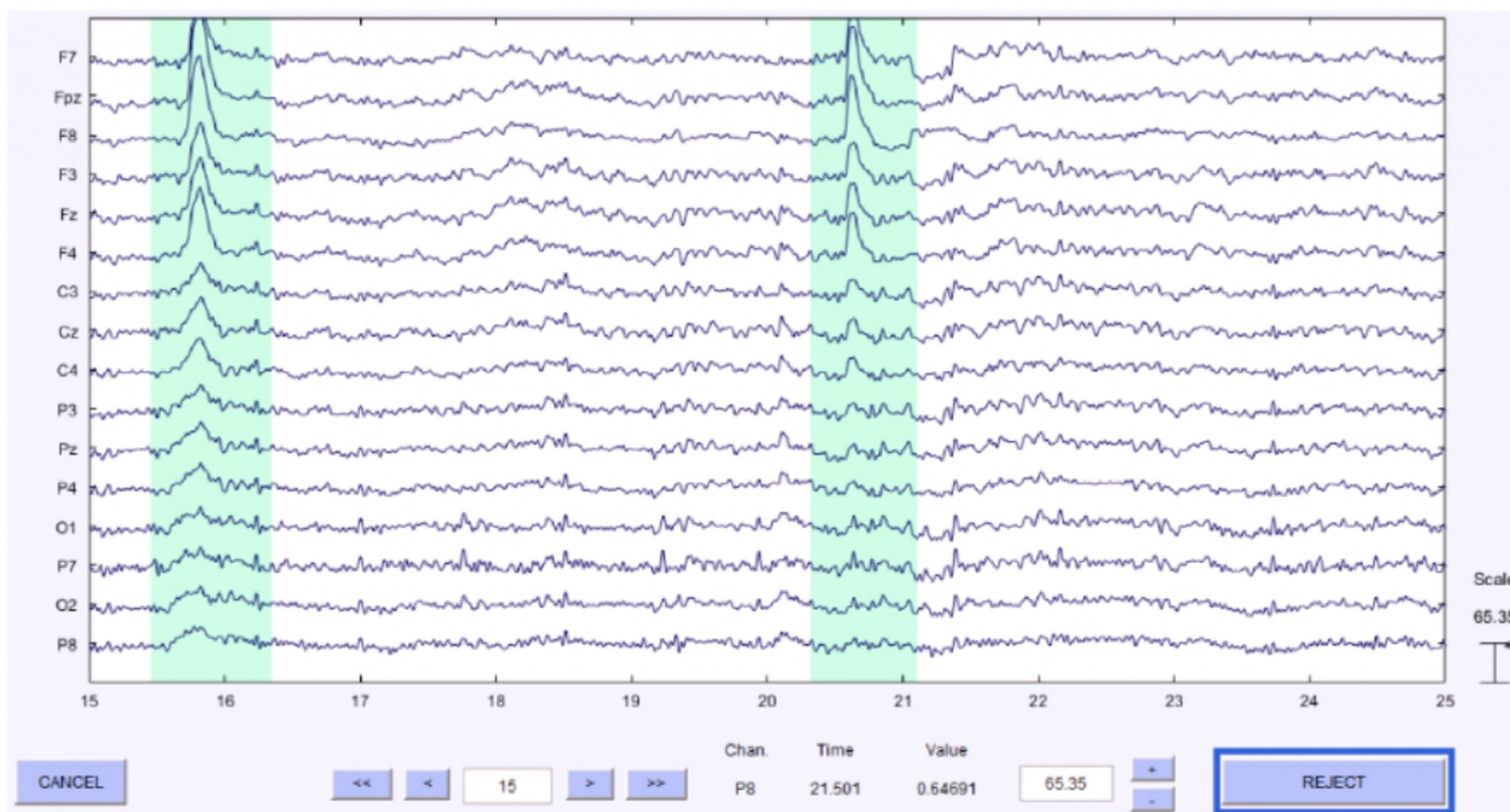
NON-PHYSIOLOGICAL / TECHNICAL ARTIFACTS

Reference incorrect placement



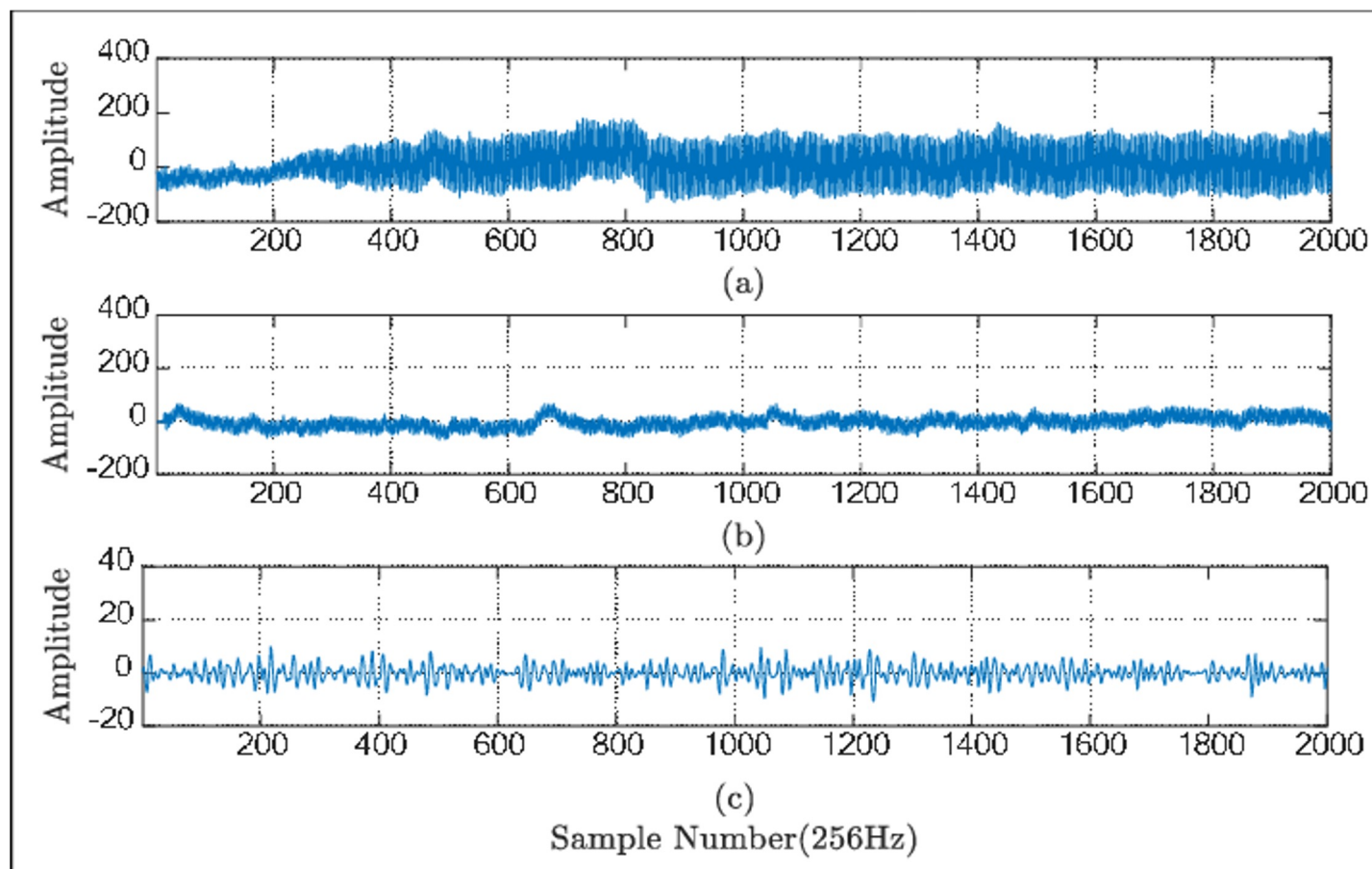
Odstraňování EEG artefaktů

EEG artefakt odmítnutí: Manuální kontroly EEG odborníky, identifikace vzorů a jejich odmítnutí



Odstraňování EEG artefaktů

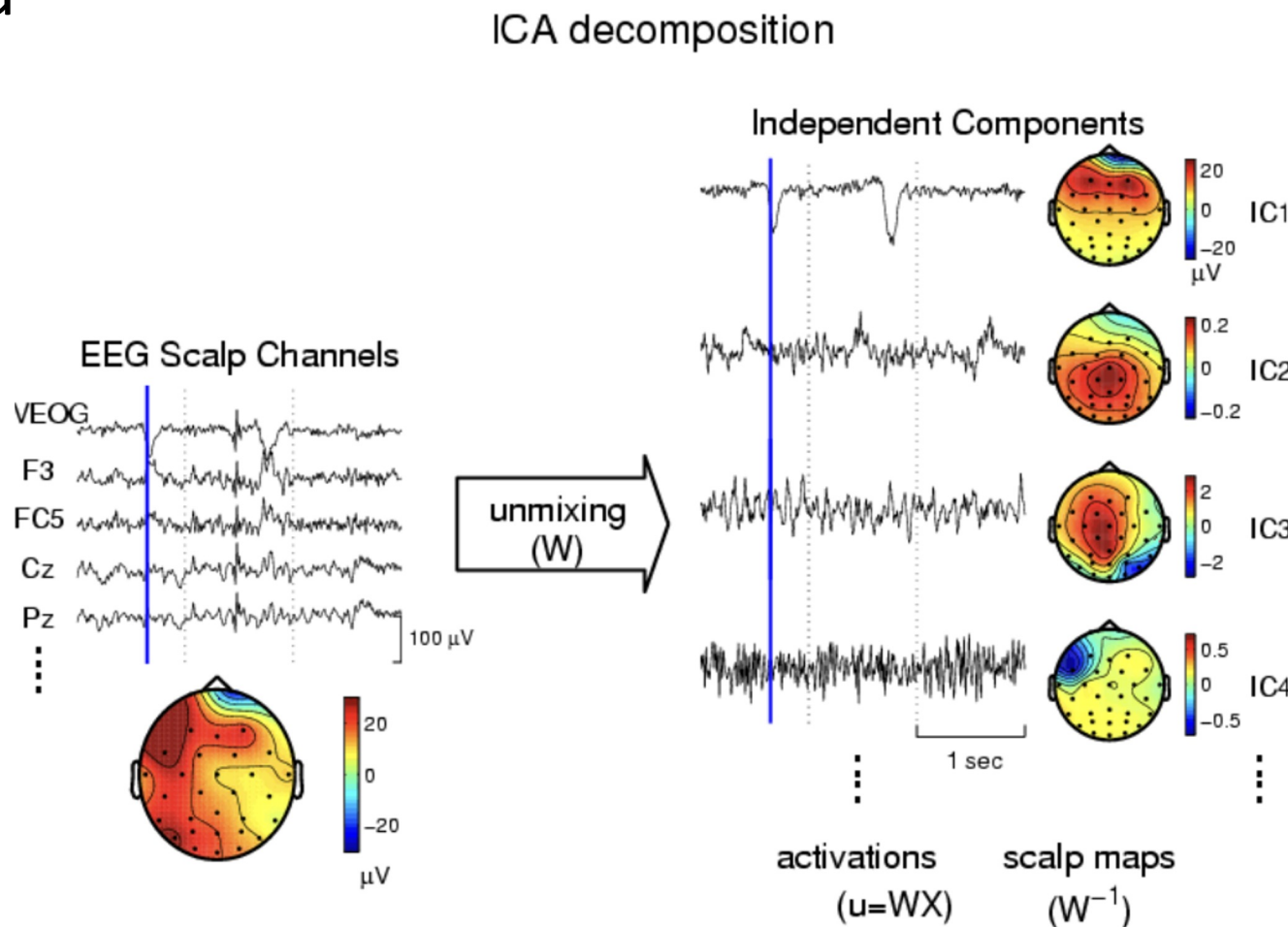
Filtrování: odstranění artefaktů pomocí různých filtrů



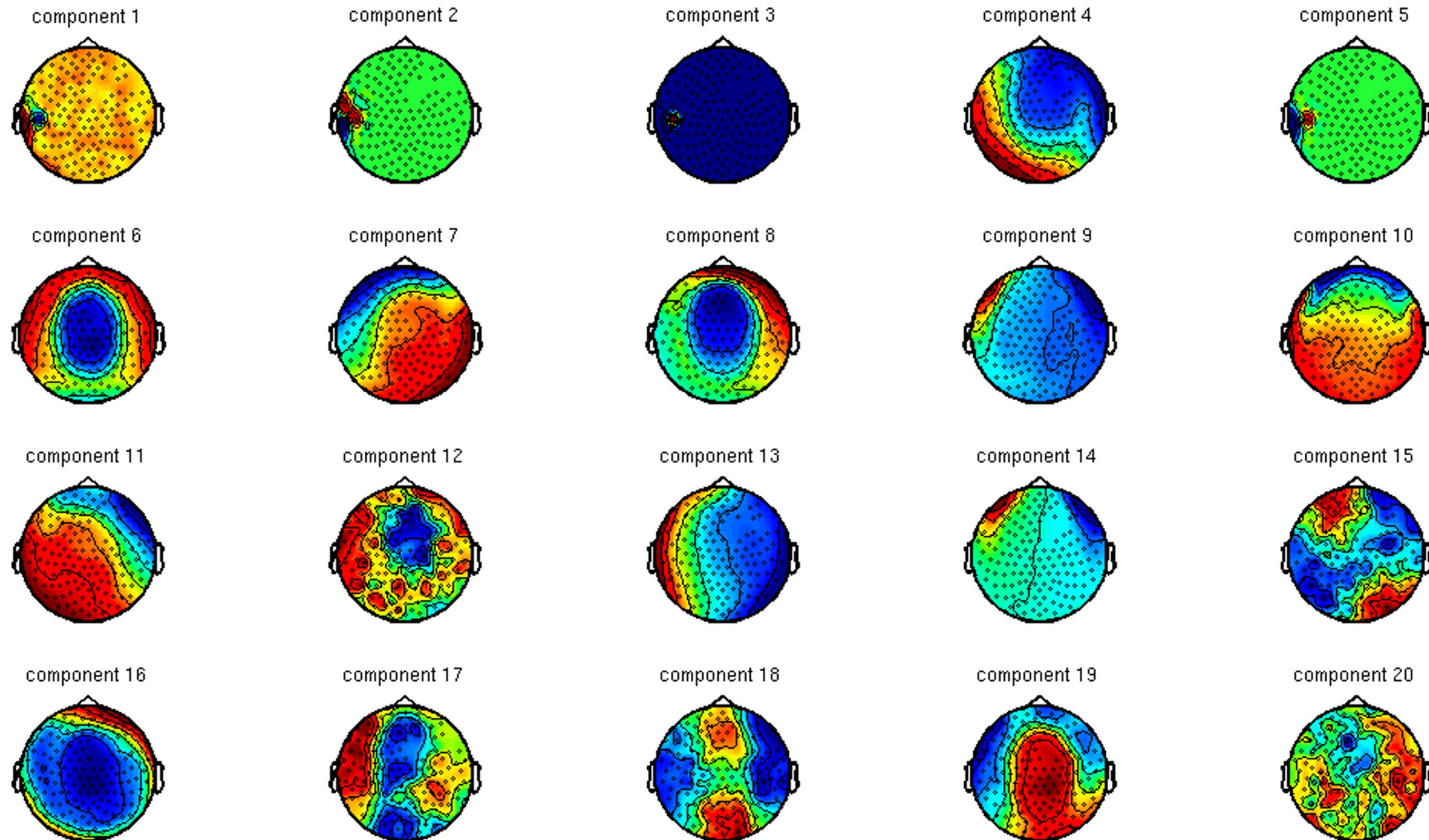
Odstraňování EEG artefaktů

Oddělení slepého zdroje: rozložení EEG na lineární kombinaci různých zdrojů signálů

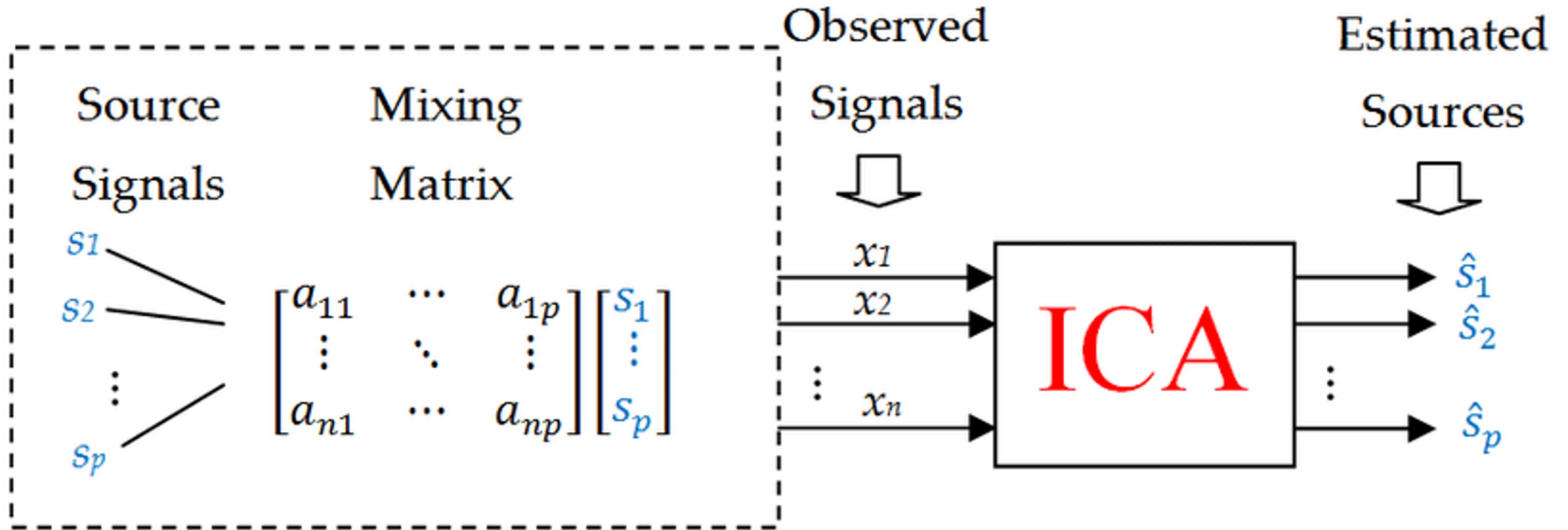
ICA decomposition



Independent Component Analysis - ICA

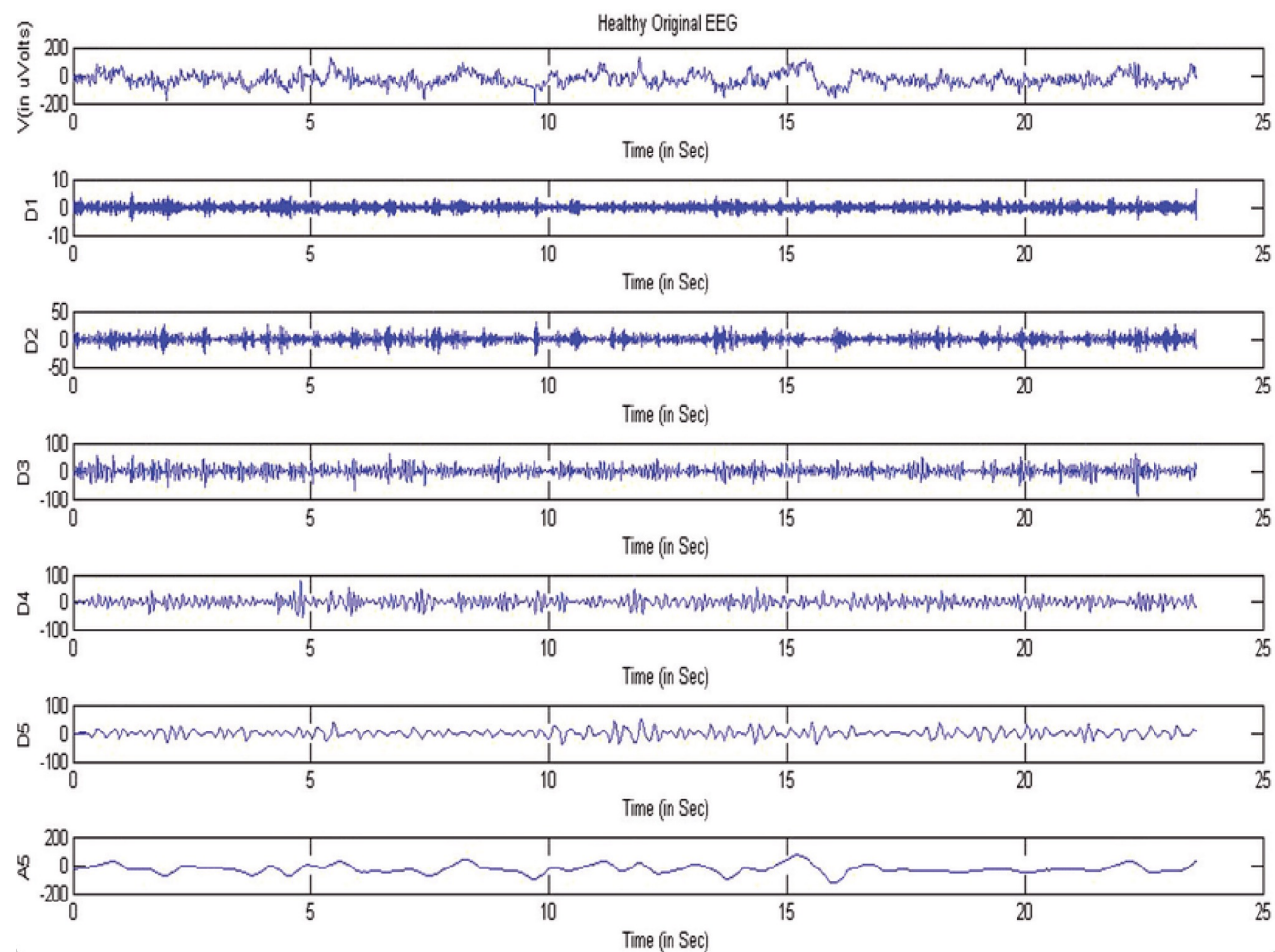


Independent Component Analysis - ICA



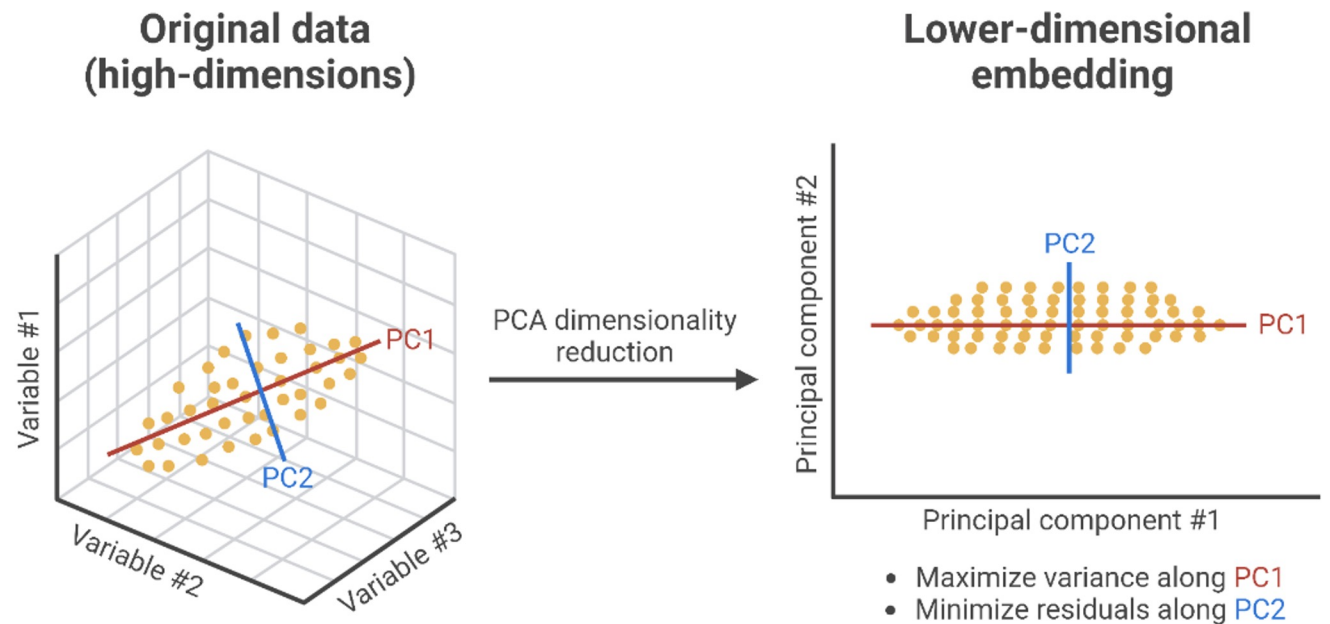
Odstraňování EEG artefaktů

Dekompozice: rozložení EEG na lineární kombinaci různých zdrojů signálů

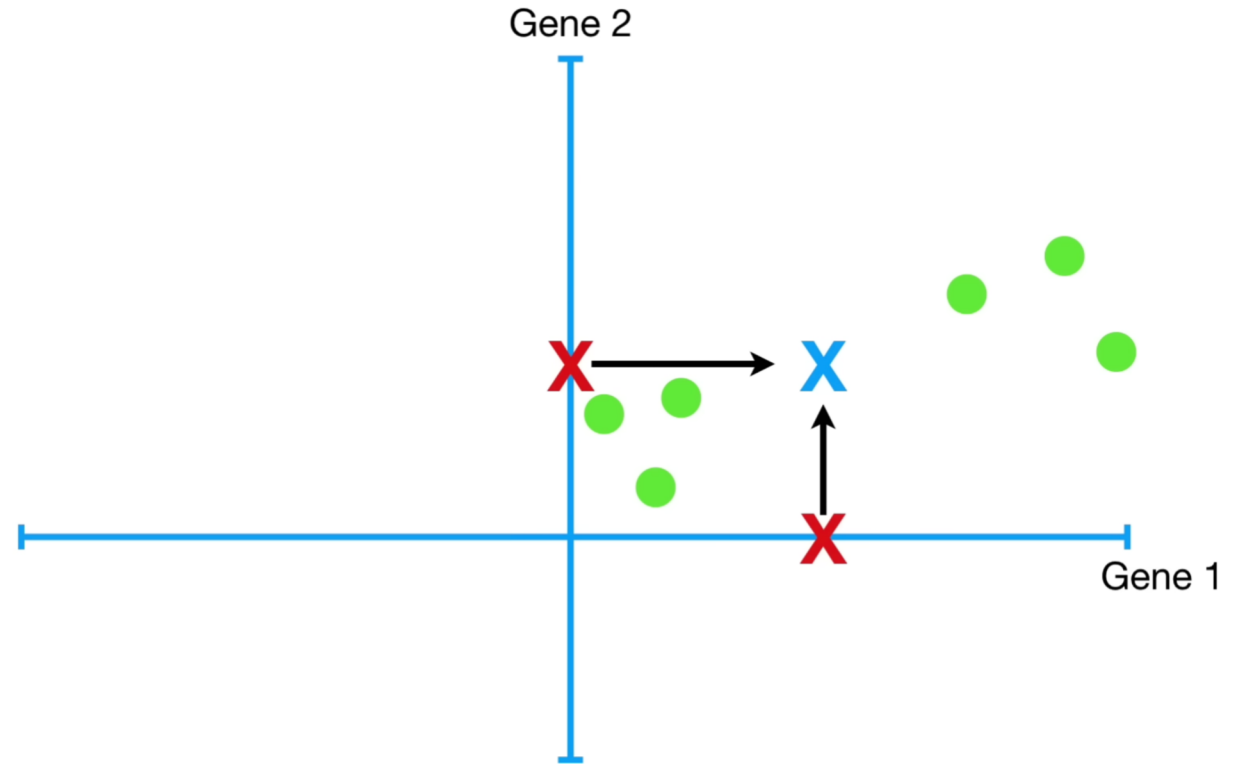
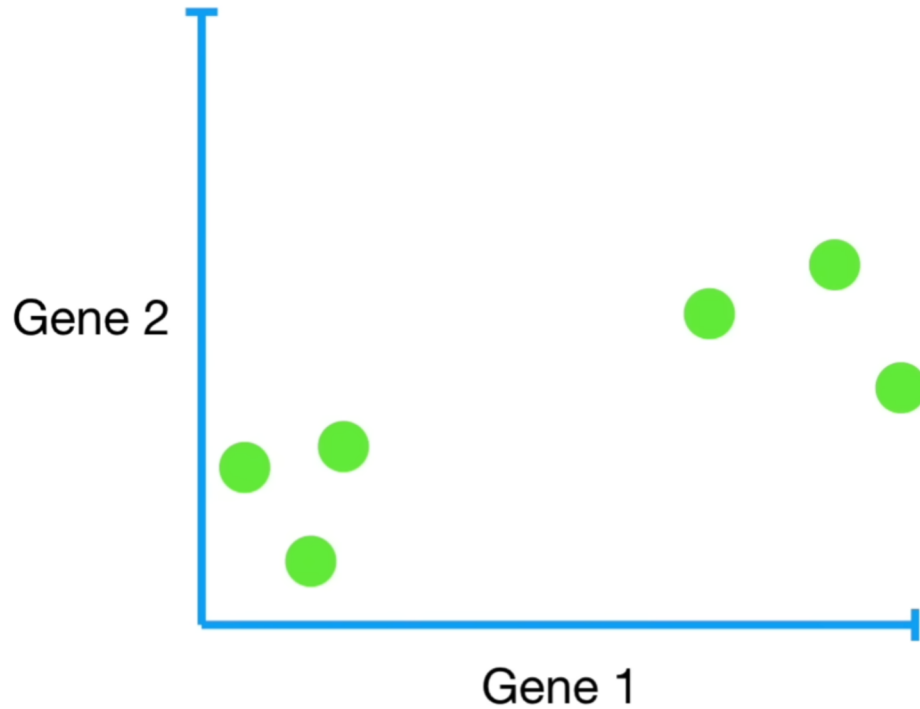


Principal component analysis - PCA

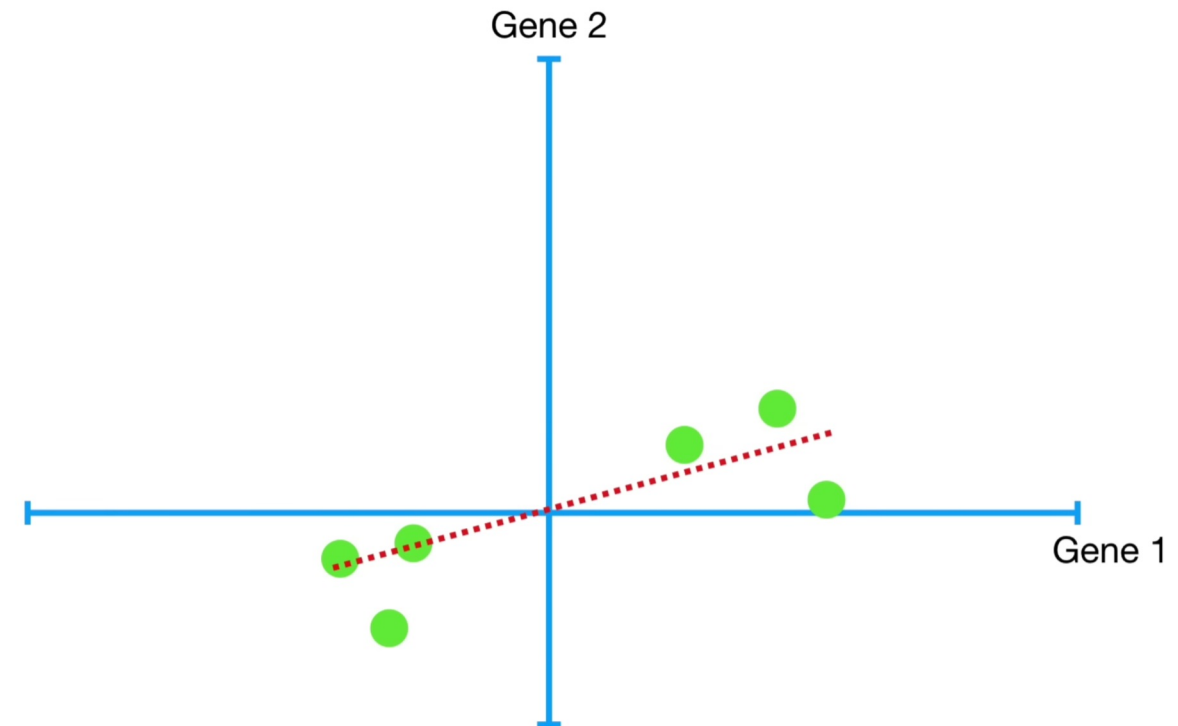
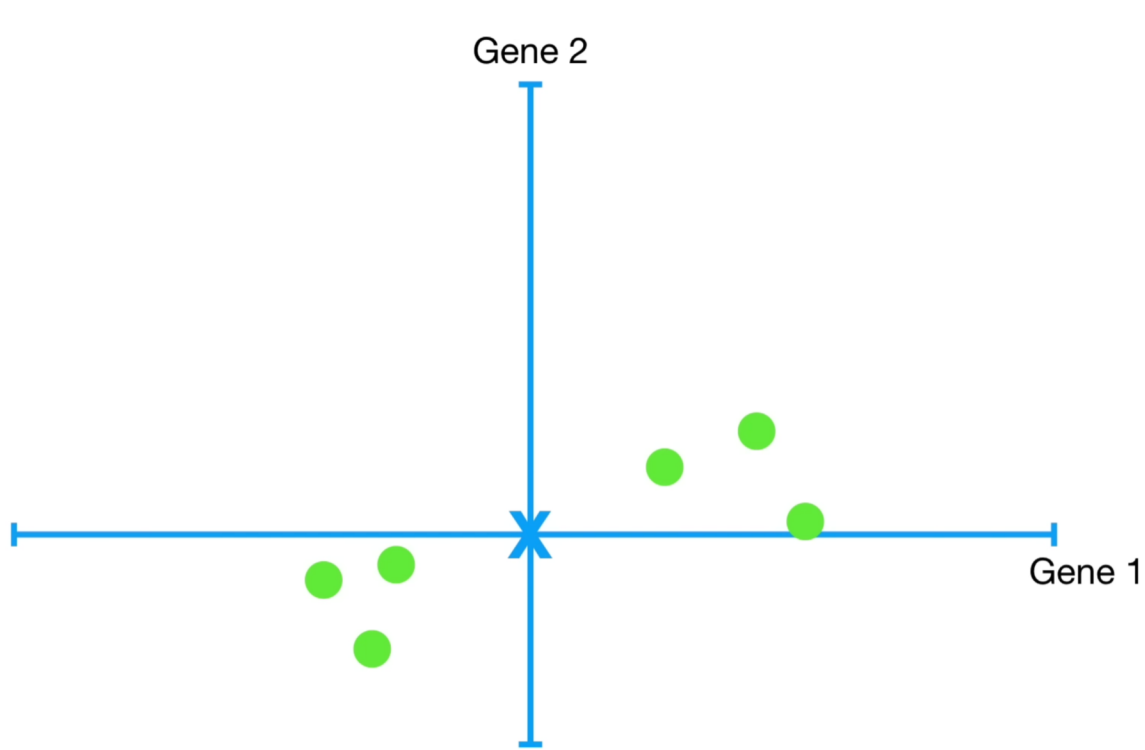
- Redukce dimenze dat
- Odstranění šumu
- Extrakce vlastností
- Zlepšení interpretability
- Normalizace dat



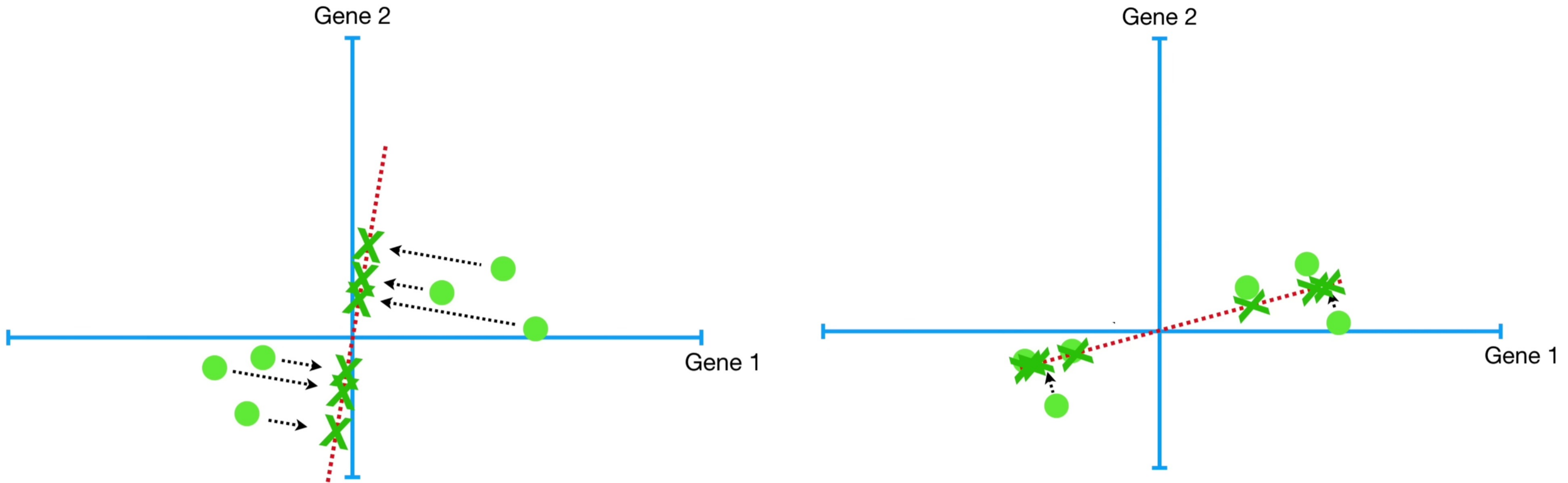
Principal component analysis - PCA



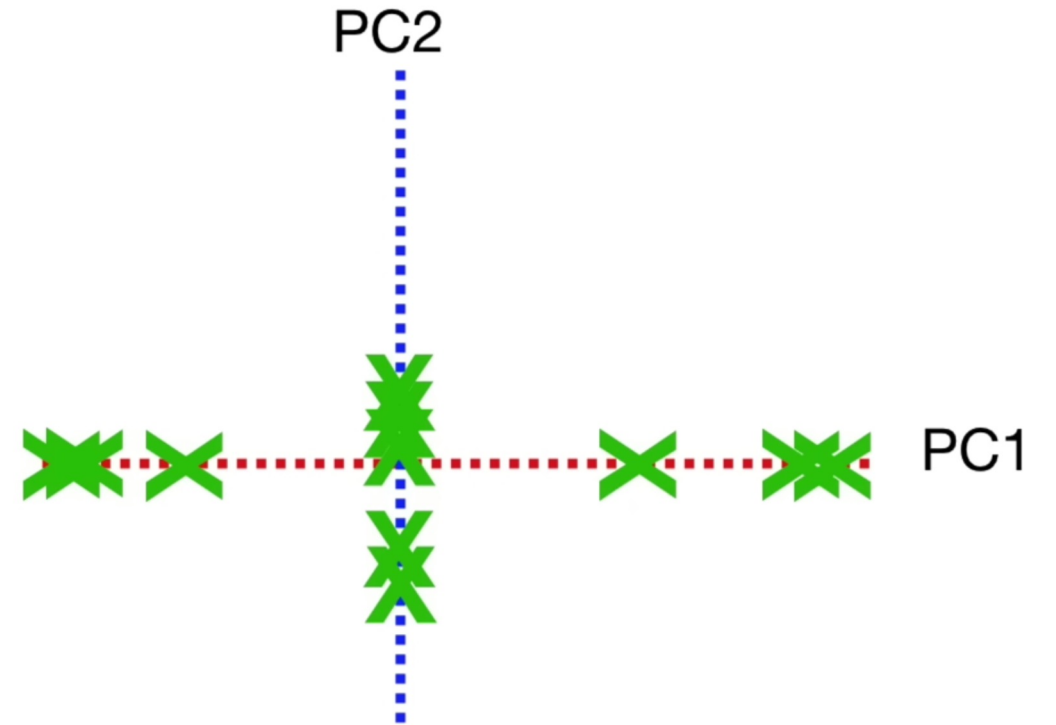
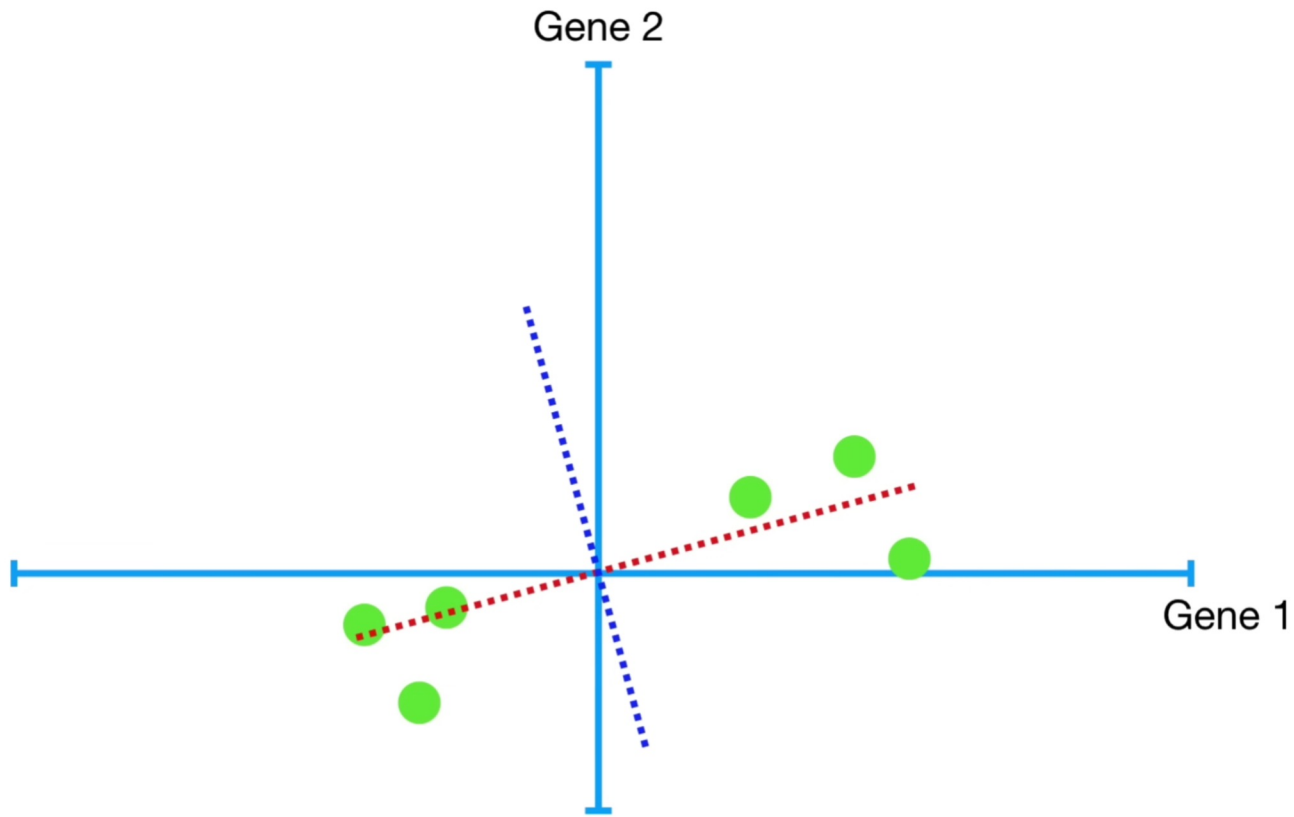
Principal component analysis - PCA



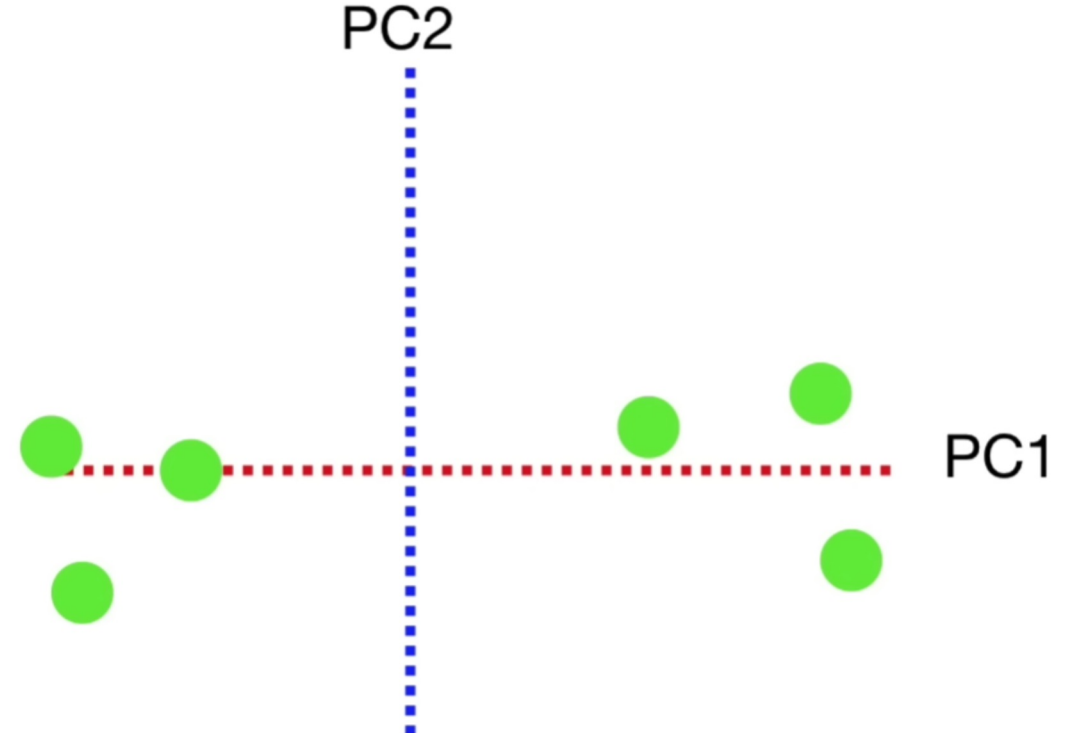
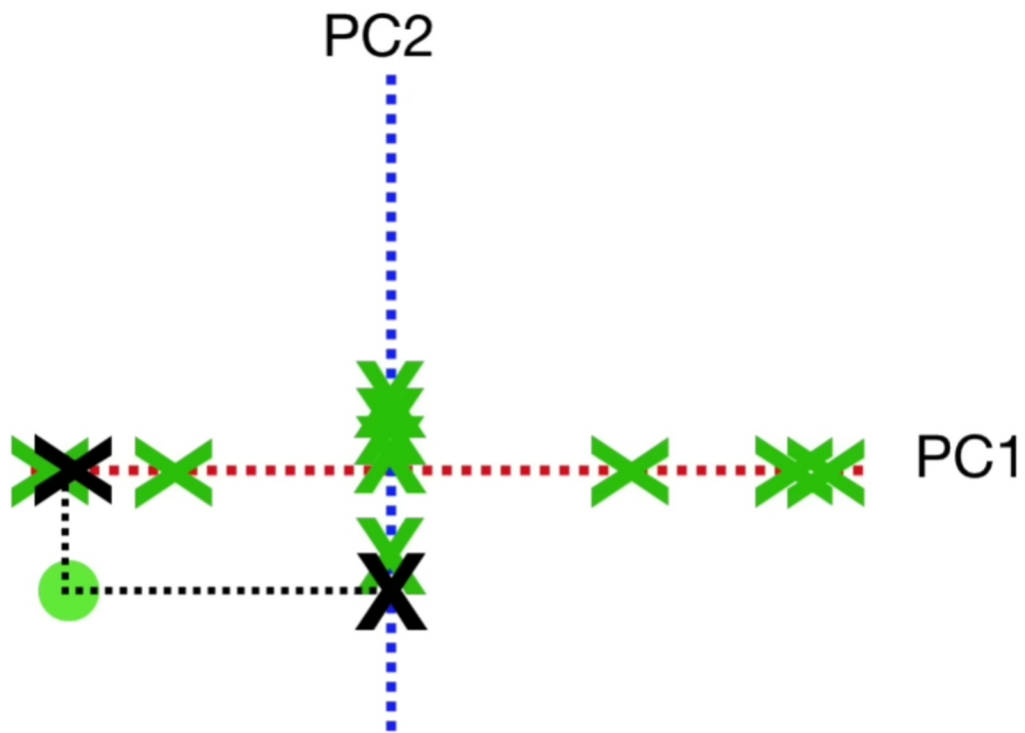
Principal component analysis - PCA



Principal component analysis - PCA



Principal component analysis - PCA



Entropie

Nástroj pro kvantifikaci nejistoty nebo složitosti signálu. Používá se k analýze a interpretaci informací obsažených v biologických datech.

- Detekce a analýza složitosti signálu
- Diagnostika a monitorování stavu
- Klasifikace stavů

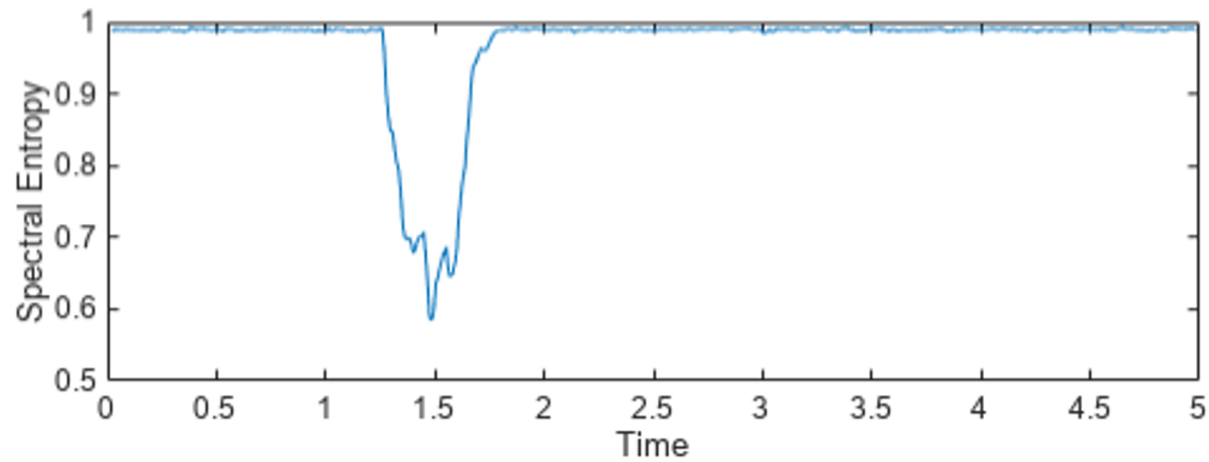
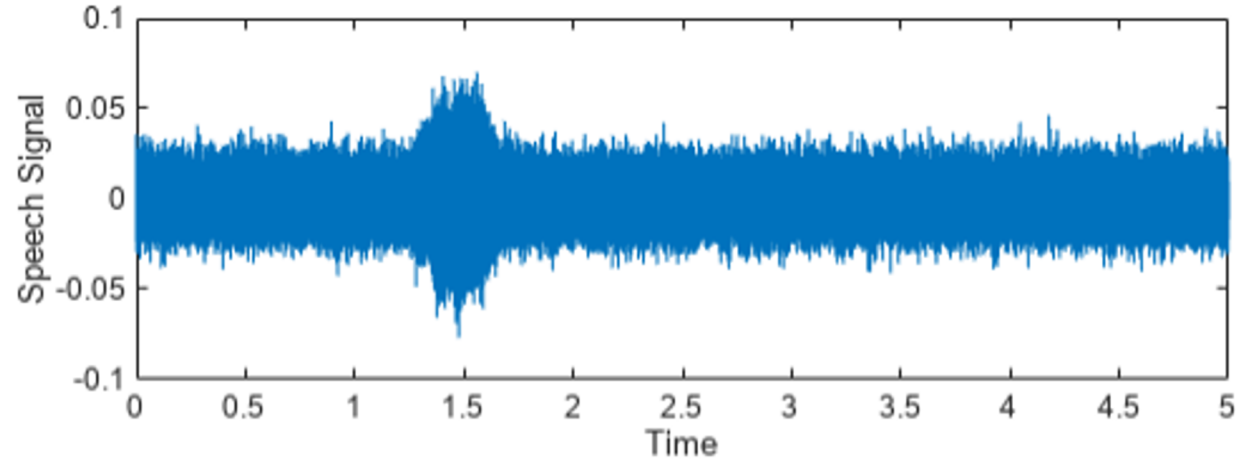
- Spektrální, Permutační, SampEn (Sample Entropy), Approximate Entropy (ApEn), Shannonova entropie

Spektrální Entropie

Používá se k měření rozložení energie signálu napříč různými frekvencemi. U biologických signálů může spektrální entropie poskytovat informace o **variabilitě a dynamice frekvenčních složek**.

- Monitorování stavu vědomí
- Detekce arytmie
- Diagnostika hlasových poruch

Spektrální Entropie

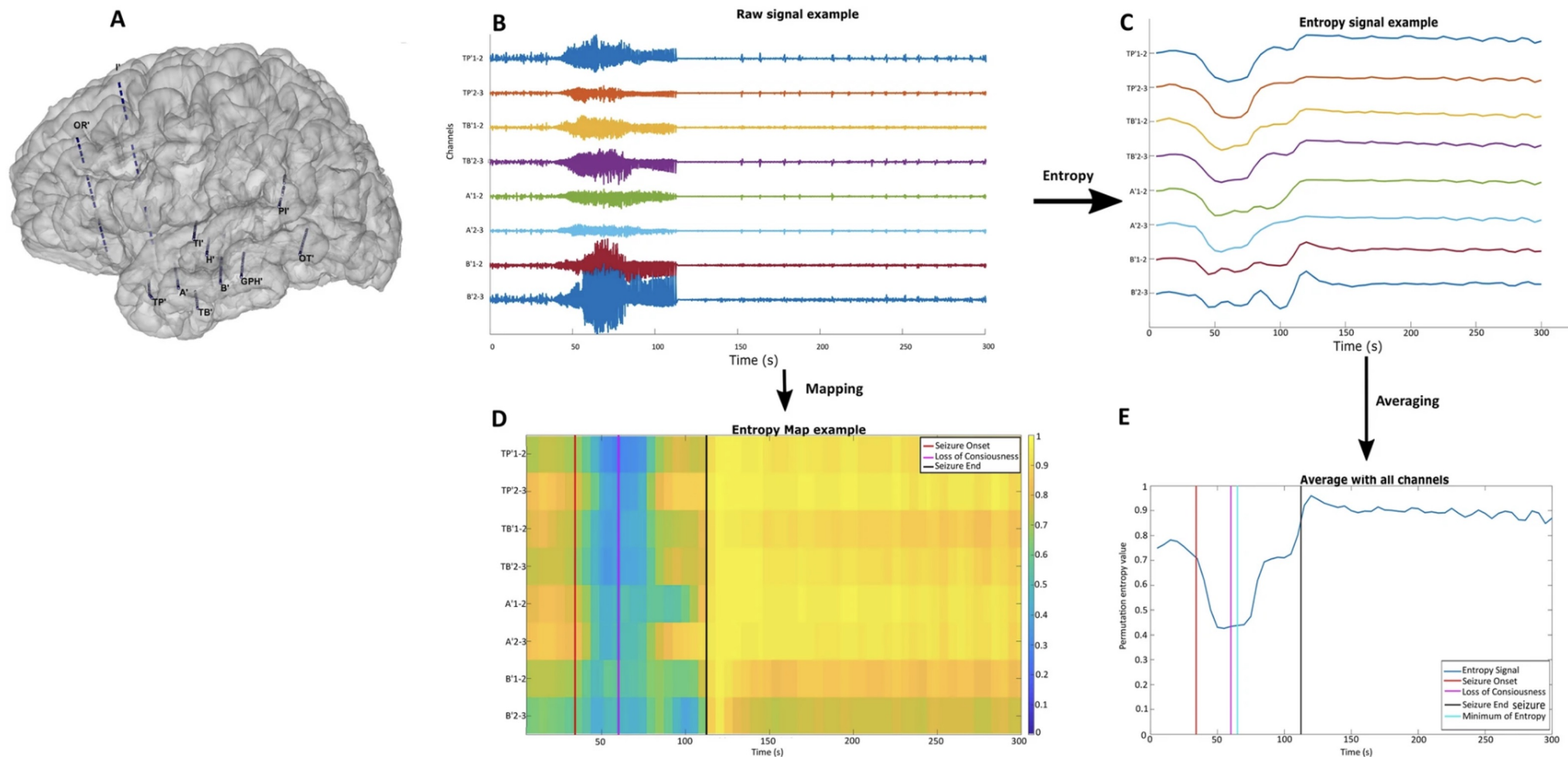


Permutační Entropie

Používá se ke kvantifikaci dynamické složitosti systému. PE pracuje tak, že porovnává vzory (permutace) sousedních hodnot v časové řadě a měří jejich rozložení, což poskytuje měřítko pro predikovatelnost a složitost signálu.

- Analýza složitosti signálů
- Detekce a monitorování patologických stavů
- Výzkum spánku

Permutační Entropie



Použití EEG

Krátkodobá vyšetření

Dlouhodobá vyšetření (epilepsie, spánek, poranění mozku, demence, krvácení do mozku)

Výzkum

Terapie (biofeedback)

Kontakt

kamila.lepkova(at)cvut.cz

