Neuromagnetizam - neinvazivni uvid u kortikalnu neurodinamiku

Novak, Martina

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Department of Physics / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za fiziku**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:160:975347

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Repository of Department of Physics in Osijek

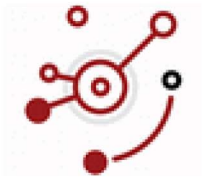






SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

ODJEL ZA FIZIKU



MARTINA NOVAK

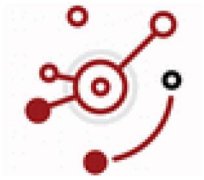
NEUROMAGNETIZAM – NEINVAZIVNI UVID U KORTIKALNU NEURODINAMIKU

Završni rad

Osijek, 2019.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

ODJEL ZA FIZIKU



MARTINA NOVAK

NEUROMAGNETIZAM – NEINVAZIVNI UVID U KORTIKALNU NEURODINAMIKU

Završni rad

Predložen Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

radi stjecanja zvanja prvostupnika/ce fizike

Osijek, 2019.

„Ovaj je završni rad izrađen u Osijeku pod vodstvom mentora doc. dr. sc. Darija Hrupeca s Odjela za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku i komentorice doc. dr. sc. Selme Supek s Fizičkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu u sklopu Sveučilišnog preddiplomskog studija fizike na Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku.“

Sadržaj

Uvod....1

1. Razvoj neuromagnetizma....2

2. Metode za funkcionalno oslikavanje mozga....3

2.1. Elektroencefalografija....3

3. Magnetoencefalografija....5

4. Fizika MEG-a....9

5. MEG - istraživanja....12

6. Fetalna magnetoencefalografija - fMEG....13

7. Epilepsija....15

8. Zaključak....17

9. Literatura....18

10. Životopis....20

Prilozi....21

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku **Završni rad**

Odjel za fiziku

NEUROMAGNETIZAM – NEINVAZIVNI UVID U KORTIKALNU NEURODINAMIKU

MARTINA NOVAK

Sažetak

Istraživanja mozga intenzivnije se razvijaju zadnjih pedesetak godina, a gotovo 90% informacija koje trenutno znamo o mozgu otkriveno je u zadnjih deset godina 20. stoljeća, dekade nazvane „Desetljećem mozga“. No, dosadašnja se otkrića smatraju tek početkom i očekuje se da će se mnoge tajne mozga tek otkriti. Među dosadašnjim otkrićima posebno su se istaknule metode za neinvazivno funkcionalno oslikavanje mozga. One su nam otvorile cijeli niz novih mogućnosti, od dinamičkog praćenja promjena normalnih funkcija mozga do razotkrivanja različitih patoloških stanja kao što su shizofrenija, ovisnosti o drogama, epilepsija itd.

Rad je pohranjen u knjižnici Odjela za fiziku

Ključne riječi: [EEG / elektroencefalografija / magnetoencefalografija / MEG / mozak / neurodinamika / neuromagnetizam]

Mentori: doc. dr. sc. Dario Hrupec, doc. dr. sc. Selma Supek

Ocjenjivači:

Rad prihvaćen:

University Josip Juraj Strossmayer Osijek Bachelor of Physics Thesis

Department of Physics

NEUROMAGNETISM – NONINVASIVE INSIGHT INTO CORTICAL NEURODYNAMICS

MARTINA NOVAK

Abstract

The brain research is intensively developing during past fifty years. Hovewer, almost 90% of all information we currently know about the brain has been discovered in the last decade of the 20th century, the decade called "The *Decade of the Brain*". The current findings are considered only as a beginning and it is expected that many brain secrets just have to be revealed. Among the discoveries made so far, special emphasis was put on the methods for noninvasive functional brain imaging. They opened a whole set of new possibilities, ranging from dynamic monitoring of changes in normal brain functions to the detection of various pathological conditions such as schizophrenia, drug addiction, epilepsy etc.

Thesis deposited in the Department of Physics library

Keywords: [brain / EEG / electroencephalography / magnetoencephalography / MEG / neurodynamics / neuromagnetisam]

Supervisor : doc. dr. sc. Dario Hrupec, doc. dr. sc. Selma Supek

Reviewers:

Thesis accepted:

Uvod

Metode za funkcionalno oslikavanje mozga omogućuju liječnicima i istraživačima uvid u aktivnost ili probleme unutar ljudskog mozga bez invazivne neurokirurgije. Danas postoji velik broj prihvaćenih i sigurnih metoda oslikavanja mozga koje su u upotrebi u istraživačkim ustanovama i bolnicama diljem svijeta. Neke od takvih metoda jesu: kompjuterizirana tomografija (eng. *Computed Tomography, CT*), anatomska magnetska rezonancija (eng. *Magnetic Resonance Imaging, MRI*), funkcionalna magnetska rezonancija (eng. *functional Magnetic Resonance Imaging, fMRI*), pozitronska emisijska tomografija (eng. *Positron Emission Tomography, PET*), elektroencefalografija (eng. *Electroencephalography, EEG*) te magnetoencefalografija (eng. *Magnetoencephalography, MEG*).

U ovom radu je posebno predstavljena jedna od neinvazivnih metoda - magnetoencefalografija. Magnetoencefalografija je metoda za funkcionalno oslikavanje mozga koja omogućuje direktnu, milisekundnu vremensku rezoluciju neuronske aktivnosti što nam je neophodno da bi smo dobili uvid u kortikalnu[1] neurodinamiku.

Rad je podijeljen na sedam poglavlja. Prvo poglavlje ukratko opisuje nastanak neuromagnetizma. U drugom poglavlju dan je sažeti uvod u neinvazivne metode za funkcionalno oslikavanje mozga te je ukratko predstavljena elektroencefalografija, dok je treće poglavlje posvećeno magnetoencefalografiji. Navedene su prednosti MEG-a, ali i mane kada je u pitanju klinička dijagnostika. Četvrto poglavlje bavi se fizikom MEG-a, a u narednim poglavljima sažeto su prikazana odabrana istraživanja.

1 Kortikalno - vanjski sloj mozga, moždana kora

1. Razvoj neuromagnetizma

Područje MEG-a rezultat je spajanja dvaju različitih istraživanja iz područja fizike i biofizike. U jednom istraživanju nastojalo se istražiti kvantne pojave povezane s niskotemperaturnom supravodljivošću što je rezultiralo razvojem najosjetljivijih senzora magnetskog polja, supravodljivih kvantnih interferencijskih uređaja (*superconducting quantum interference device, SQUID*). U drugom istraživanju cilj je bio razumijevanje fizioloških procesa mjerenjem slabih magnetskih polja koja oni generiraju. Spajanje tih dvaju istraživanja potaknuli su fizičar David Cohen i elektroinženjer James E. Zimmerman. Ujedinjavanje je dovelo do prvih mjerenja biomagnetskog signala koje generira ljudsko srce. Njihov zajednički rad objavljen je 1. travnja 1970. te je predlagao „medicinsku uporabu SQUID-ova“ i tako označio početak biomagnetizma. Dvije godine kasnije (1972.) David Cohen je objavio prvi MEG-rad i od tada područje neuromagnetizma stalno raste. Mogućnost da se precizno izmjere slabi magnetski signali generirani ljudskim mozgom vodila je do razvoja niza neuromagnetskih sustava te modela za prostorno i vremensko lokaliziranje neuronske aktivnosti.

Iako je magnetoencefalografija razvijena u laboratorijima fizičara i biomedicinskih inženjera, ipak se njezina primijena brzo proširila i na druga područja, npr. istraživanja koja se bave oslikavanjem mozga zdrave i bolesne osobe.

2. Metode za funkcionalno oslikavanje mozga

Kako čovjekova pažnja prelazi s jedne aktivnosti na drugu, npr. od jednostavnih zadataka kao što je kontroliranje pokreta ruke do kompleksnih kognitivnih aktivnosti kao što je razumijevanje stranog jezika tijekom razgovora, tako aktivnost neurona u ljudskom mozgu konstantno fluktuira. Čak i kada mirujemo zatvorenih očiju, mozak je aktivan. Mjerenje moždanih aktivnosti nas dovodi bliže razumijevanju senzornih i kognitivnih procesa ljudskog mozga te povezivanju spomenutih procesa s oblicima ponašanja. Fizičke veličine koje mjerimo jesu funkcije specifičnih moždanih procesa uključenih u danu moždanu aktivnost evociranu određenim vanjskim poticajem. Neke od metoda za funkcionalno oslikavanje mozga su: funkcionalna magnetska rezonancija, pozitronska emisijska tomografija, elektroencefalografija, magnetoencefalografija itd.

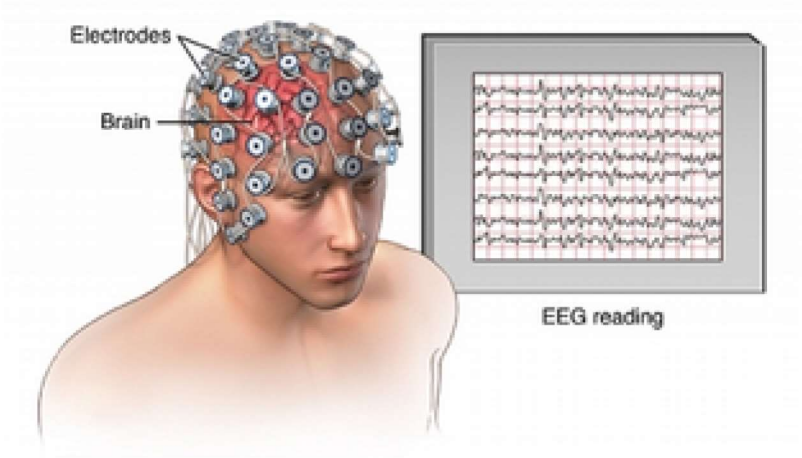
Neke tehnike mjere neuronsku aktivnost gotovo izravno, mjerenjem promjena u električnoj aktivnosti (elektroencefalografija) ili mjerenjem promjena magnetskog polja povezanim s promjenama u električnoj aktivnosti (magnetoencefalografija). Iako ove tehnike mjere neuronsku aktivnost u stvarnom vremenu, ipak imaju i ograničenja. Jedno od takvih ograničenja je poteškoća u mjerenju promijena električne aktivnosti/ magnetskih polja u dubokim strukturama mozga.

Kada neuroni postanu aktivni, njihova potreba za energijom potiče promjene u metabolizmu. Dakle, drugi oblik funkcionalnog oslikavanja mjeri spomenute metaboličke promijene. Regionalne metaboličke promijene mjere se pozitronskom emisijskom tomografijom (PET).

No, niti jedna od funkcionalnih metoda ne daje kompletan i potpun uvid u funkcioniranje aktivnog mozga. Svaka od njih mjeri pojedine aspekte kompleksnih procesa te samim time, daje samo dio informacije. Kompletniji uvid moguć je integriranjem funkcionalnih metoda za oslikavanje, npr. MEG-EEG, TMS-EEG-MEG...

2.1. Elektroencefalografija

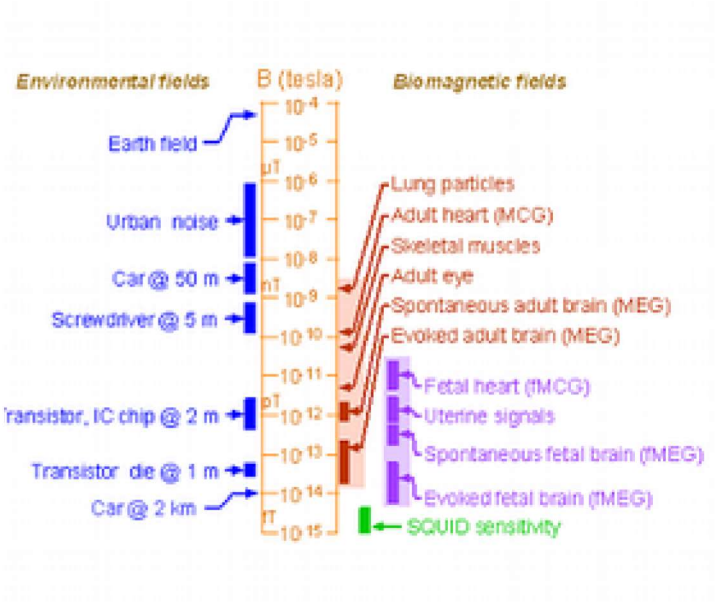
Elektroencefalografija (EEG) je metoda koja mjeri električne aktivnosti mozga snimljene pomoću elektroda postavljenih na vlasište. Dobiveni rezultati poznati su kao elektroencefalogram i predstavljaju električni signal velikog broja neurona. [3] Ova metoda se često koristi u istraživanjima jer je neinvazivna. Pomoću EEG-a je moguće otkriti promjene u električnoj aktivnosti u mozgu na milisekundnoj razini, a upravo to ovu metodu čini jednom od rijetkih koje su dostupne, a imaju tako visoku vremensku razlučivost. Elektroencefalografija se pokazala korisnom u dijagnostici u slučajevima ozbiljnijih ozljeda glave, tumora mozga, epilepsije, poremećaja spavanja te raznih degenerativnih bolesti živčanog sustava. Također se pokazala korisnom u procjeni bolesnika sa sumnjom na moždanu smrt. [5]



Slika 1. Elektroencefalogram

3. Magnetoencefalografija

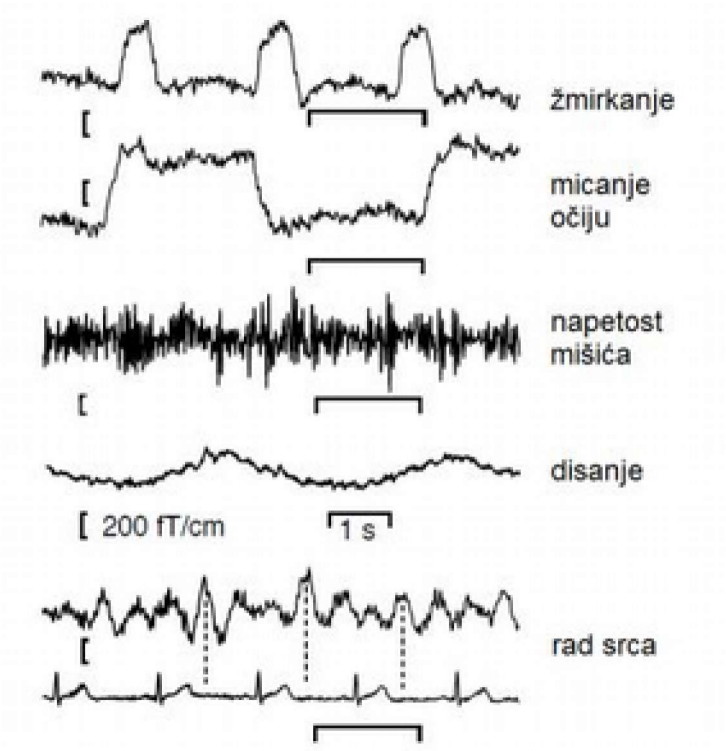
Magnetoencefalografija je medicinska dijagnostička metoda koja se temelji na mjerenju magnetskoga polja prouzročenog neuronskom aktivnošću mozga povezanim sa senzornim ili kognitivnim procesima. U potpunosti je neinvazivna i nekontaktna metoda snimanja s izvrsnom vremenskom rezolucijom (~1 ms) i dobrom prostornom preciznošću (3-5 mm). [13] Na staničnoj razini neuroni imaju elektrokemijska svojstva koja dovode do protoka elekrički nabijenih iona te zatim generiranja elektromagnetskog polja. Magnetsko polje koje generira jedan zaseban neuron izrazito je slabo, no populacija od stotinjak tisuća sinkrono aktiviranih neurona u određenom području proizvode magnetsko polje koje je moguće mjeriti izvan glave. Ta magnetska polja su ekstremno slaba u odnosu na druga magnetska polja koja se uobičajeno susreću. Njihova jačina je oko 10 fT. [11] Na slici 2 možemo vidjeti nivo signala moždane aktivnosti, kao i nivo drugih bioloških signala iz ljudskog tijela, ali i nivo signala raznih smetnji/ šumova iz okoline.



Slika 2. Intenzitet biomagnetskih polja

Slaba magnetska polja mjere se tik uz površinu glave izrazito osjetljivim senzorima, neuromagnetometrima, koji su sačinjeni od mnoštva zavojnica i SQUIDova (eng. *Superconducting QUantum Interference Device*), supravodljivih kvantnih interferometara. Zbog

visoke osjetljivosti senzora, mjerenja se odvijaju u magnetski zasjenjenim sobama te stoga ispitanik nije izložen ionizirajućim ili neinonizirajućim zračenjima niti kemijskim supstancijama. Materijali s visokom magnetskom permeabilnošću koriste se za gradnju magnetski zasjenjenih soba. Takvi su tzv. μ-metali koji su pogodni kao zaštita od niskofrekventnih polja te statičkih magnetskih polja, dok se slojevi aluminija koriste kao zaštita od visokofrekventnih vanjskih polja. Također, moguće je koristiti kompenzacijske senzore koji se postavljaju podalje od glave kako bi bilježili samo smetnje iz okoline te se u konačnici time korigira mjereni signal. Osim smetnji iz vanjskih izvora, imamo i smetnje koje dolaze iz samog tijela. Primjer bioloških signala možemo vidjeti na slici 3. [4]



Slika 3. Biološki signali koji predstavljaju smetnje u MEG mjerenjima

Neke od njih proizvodi i sam mozak. To su signali koji dolaze od pozadinske aktivnosti mozga koju mozak uvijek mora obavljati, a koji u MEG-eksperimentima nisu zanimljivi te zasjenjuju signal koji nas zanima. Još jedan od problema prilikom provođenja MEG-eksperimenta jest neponovljivost odaziva na stimulaciju te nam stoga izmjereni signal nikad neće biti u potpunosti jednak. Iz tog razloga je potrebno napraviti što veći broj mjerenja s istim uvjetima stimulacije te po završetku usrednjiti rezultat.



Slika 4. Magnetski zasjenjena soba

Prednost MEG-a u odnosu na druge metode za funkcionalno oslikavanje jest milisekundna vremenska rezolucija. Stoga MEG predstavlja direktnu mjeru neuronske aktivnosti, tj. prati neuronsku aktivnost u stvarnom vremenu. Za usporedbu, spomenimo da je vremenska rezolucija fMRI-a dvije sekunde, dok je vremenska rezolucija PET-a čak 40 sekundi. [2] S dobro osmišljenim eksperimentima, izuzetna vremenska rezolucija MEG-a omogućuje istraživačima da prate vremenski razvoj kortikalne aktivnosti u mozgu tijekom senzornih i kognitivnih zadataka. Osim toga, MEG signali nisu izobličeni tkivima mozga i lubanje, osiguravajući time poboljšanu prostornu rezoluciju u odnosu na EEG. [8] Stoga se može dobiti izuzetna osjetljivost na oscilacije kortikalne mreže i međusobno djelovanje različitih kortikalnih područja.

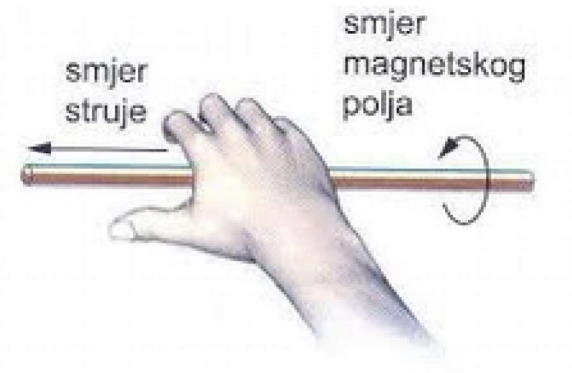
Još neke od prednosti MEG-a su:

1) moguće je provoditi pojedinačne analize koje su neophodne za kliničku primijenu, dok se također može provoditi i usrednjavanje podataka preko više ispitanika
2) tehnike oduzimanja pojedinih eksperimentalnih uvjeta nisu potrebne
3) izvrsna prostorna i vremenska rezolucija može se postići bez uporabe složenih modela za glavu kao npr. kod EEG-a
4) MEG daje apsolutna mjerenja i ne zahtjeva reference kao npr. EEG. [1]

Kako je već navedeno, MEG je moguće koristiti za kliničke svrhe, ali pri tome postoje i veliki problemi. Jedan od njih je mobilnost koja je otežana jer je potrebna magnetski izolirana prostorija, a drugi je potreba za hlađenjem supravodljivih elemenata što zahtjeva velike troškove.

4. Fizika MEG-a

Magnetska polja koja se mjere magnetoencefalografijom generirana su električnim strujama u mozgu. Magnetska polja podliježu Amperovom pravilu desne ruke koje kaže da ako struja teče u smjeru ispruženog palca, tada generirano magnetsko polje teče okomito na palac, u smjeru savijenih prstiju. To znači da neuroni orijentirani tangencijalno uz površinu lubanje značajnije doprinose stvaranju magnetskog polja koje zrači prema van, u smjeru lubanje, koje se mjeri na površini glave.



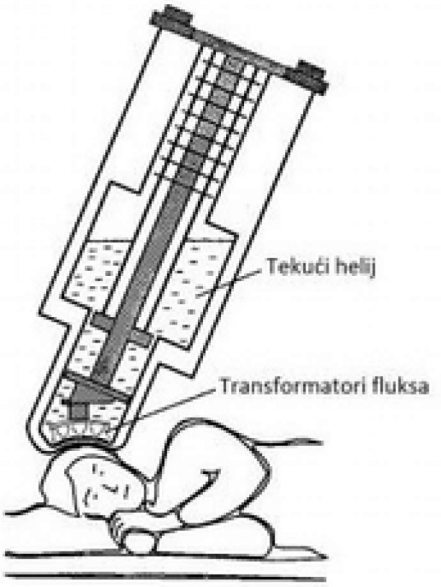
Slika 5. Pravilo desne ruke za određivanje smjera magnetskog polja ravnog vodiča

S obzirom na to da se ta magnetska polja pojavljuju istodobno s električnom aktivnošću, MEG omogućuje proučavanje neuronske aktivnosti pri njezinoj prirodnoj vremenskoj rezoluciji. Magnetska permeabilnost bioloških tkiva gotovo je jednaka permeabilnosti vakuuma te magnetsko polje nije izobličeno lubanjom što znatno pojednostavljuje aproksimacije glave kao volumnog vodiča koje su nužne u rješavanju inverznog problema[2]. Međutim, jakost polja opada proporcionalno s $1/r^3$ [3]. Kada neuron primi signal od susjednog neurona, generira se postsinaptički potencijal u neuronskim dendritima[4], uzrokujući da lokalna dendritička membrana postane prolazno depolarizirana u odnosu na tijelo neurona. Ta razlika potencijala generira

2 Inverzni problem – procjena snage, lokacije i vremenske evolucije neuronskih generatora iz izmjerenih MEG signala. Određivanje magnetskih polja poznavajući izvore, električna svojstva njihova okoliša i konfiguraciju mjernih uređaja naziva se direktni problem

3 r – udaljenost od izvora do opažača

strujni tok unutar i izvan neurona koji stvara magnetsko polje. Jedan takav događaj je nedovoljan u stvaranju magnetskog polja dovoljno jakog da ga detektira čak i najsnažniji od SQUID-ova. Smatra se da su polja izmjerena MEG-om rezultat najmanje 50.000 neurona koji su istovremeno pobuđeni unutar određene regije. [12] Ti neuromagnetski signali koje generira mozak su izuzetno mali u odnosu na magnetsko polje Zemlje. Snimanje tako malih magnetskih polja dovelo je inženjere pred dva problema. Prvi je zabilježiti ta mala magnetska polja, drugi je izolirati mjerenja od jačih magnetskih polja kao što je Zemljino. Kao rješenje, došlo se do supravodljivih kvantnih interferencijskih uređaja tj. *SQUID*-ova. *SQUID*-ovi su smješteni u središnjem dijelu MEG-uređaja, tj. skriveni su u kacigi. Kako bi se održala supravodljivost potrebno je u svakom trenutku održavati izrazito niske temperature, što se postiže tekućim helijem (-269 °C). [10] Na slici 6 prikazan je shematski prikaz MEG-a. Kako bi se smanjila vanjska magnetska buka, MEG se smješta unutar magnetski zasjenjene prostorije.



Slika 6. Shematski prikaz MEG-a

4 Dendrit – relativno kratak i obično razgranat izdanak trupa živčane stanice koji prima živčane impulse od drugih živčanih stanica

Tipični MEG- skeneri sadrže oko 300 senzora koji prekrivaju cijelu površinu glave. [1] Ovi senzori uključuju magnetometre[5], koji izravno mjere magnetska polja, i gradiometre[6], koji su parovi magnetometara smješteni na maloj udaljenosti jedan od drugog, mjereći razliku u magnetskom polju između njihovih dviju lokacija. Ova mjera razlike oduzima velike i udaljene izvore magnetske buke, dok ostaje osjetljiva na lokalne izvore magnetskih polja. Zbog svog položaja, magnetometri i gradiometri također pružaju komplementarne informacije o smjeru magnetskih polja. Magnetski signal dovodi se na SQUID preko transformatora fluksa[7].

5 Magnetometar - mjerni instrument za mjerenje jakosti magnetskoga polja ili magnetskoga momenta

6 Gradiometar - instrument za mjerenje gradijenta fizičke veličine (kao što je Zemljino magnetsko polje)

7 Transformatori fluksa - petlje oblikovane tako da u određenoj točki registriraju polje ili gradijent polja u željenom smjeru, a umanjuju okolni šum.

5. MEG - istraživanja

Od kada je David Cohen objavio prvi članak o MEG-u, broj MEG-publikacija godišnje se stalno povećavao. U prilogu 1 možemo vidjeti da se naglo povećanje dogodilo u posljednjih 15 godina. U proteklom desetljeću, kako količina tako i kvaliteta MEG-studija značajno se povećala te ova tehnika djeluje obećavajuće u nastojanjima otkrivanja mehanizama kognitivne obrade mozga. MEG se pokazao izrazito korisnim u području epilepsije, proučavanja fetalnog razvoja mozga, shizofrenije, moždanog udara itd.

6. Fetalna magnetoencefalografija - fMEG

Ljudski je mozak jedan od najsloženijih organa koji se stalno razvija i prilagođava tijekom života. Istraživanja mozga većinom su bila povezana s razvojem mozga od rođenja do odrasle dobi. Poslijednjih godina u porastu su i istraživanja o razvoju prenatalnog ljudskog mozga. Kako je magnetoencefalografija u potpunosti neinvazivna metoda, posebno je prikladna za fetalna ispitivanja. Ljudski mozak u maternici je vrlo osjetljiv na unutarnje i vanjske utjecaje te oni mogu tijekom fetalnog razvoja uzrokovati promjene u razvoju mozga koje dovode do oštećenja u pojedinim kognitivnim procesima. Stoga su tehnike mjerenja poboljšane te su provedena temeljna istraživanja razvoja mozga u maternici. Tijekom posljednjih desetljeća provođena su istraživanja "fetalnog programiranja" koja pokazuju da majčinski stres, izloženost olovu ili kokainu, kao i pothranjenost ili pretilost majki tijekom trudnoće mogu negativno utjecati na kognitivni razvoj ili povećati rizik od razvoja bolesti poput dijabetesa tipa II u kasnijem životu. Cilj osnovnih fMEG istraživanja je razumjeti zdrav razvoj mozga fetusa i omogućiti rano otkrivanje mogućih odstupanja od istoga. Budući da je razvoj ljudskog mozga tako osjetljiv proces, procjena tijeka tog procesa može biti od iznimne važnosti. U budućnosti to može dati naznake mogućih deficita te omogućiti razvoj ranih, čak i prenatalnih tretmana kako bi se smanjio rizik od nepovoljnih ishoda. Poznavanjem razvojnih koraka zdravog mozga fetusa, moguće je otkriti odstupanja od tog procesa te započeti odgovarajuće liječenje. Do sada je uglavnom korištena auditivna i vizualna stimulacija za procjenu razvoja fetalnog mozga. Na slici 7 prikazana je auditorna stimulacija. Tonovi se proizvode izvan magnetski zasjenjene prostorije i prenose se kroz zrakom ispunjene cijevi do balona koji se nalazi neposredno iznad majčinog trbuha.



Slika 7. Auditorna stimulacija, fMEG

Jedan od daljnjih izazova za fetalnu magnetoencefalografiju jest određivanje izvora snimljnog signala. MEG ima visoku vremensku rezoluciju, no prostorna rezolucija je ograničena. Uzrok loše prostorne rezolucije jest to što je ona određena omjerom signal – šum, a za fetalna snimanja taj omjer je nizak. [6]

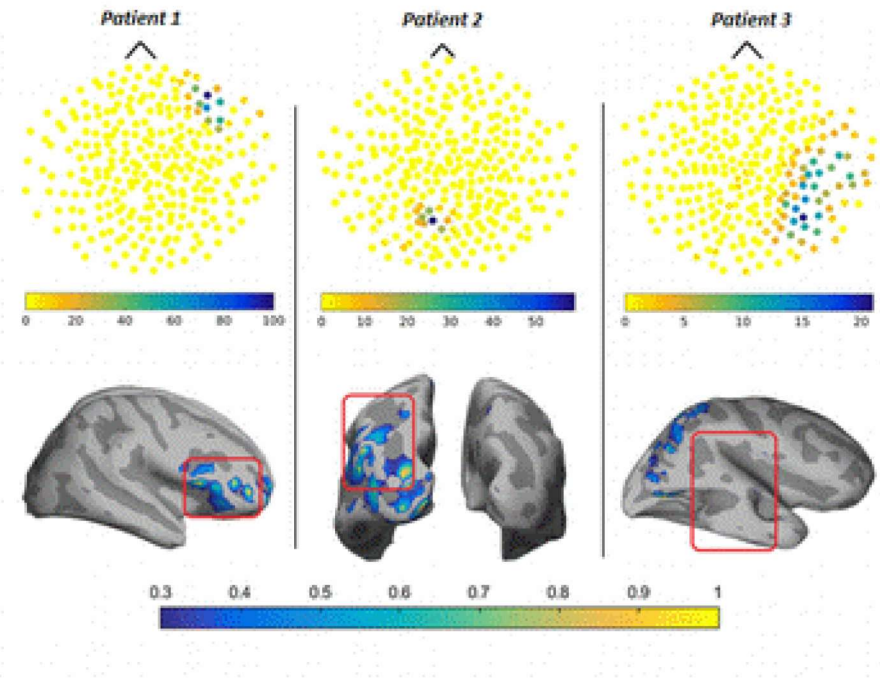
Zasada, unatoč ograničenjima, fMEG je jedina neinvazivna metoda snimanja mozga koja omogućuje uvid u prenatalni razvoj mozga.

7. Epilepsija

Neinvazivne tehnologije snimanja mozga koje uključuju elektroencefalografiju (EEG), magnetska rezonancu (MRI) i magnetoencefalografiju (MEG) široko se primjenjuju u predkirurškoj procjeni pacijenata s epilepsijom. Epilepsija se definira kao poremećaj u mozgu koji je karakteriziran ponavljajućim i nepredvidivim prekidima normalne funkcije mozga. Preko 30% pacijenata s epilepsijom su otporni na lijekove te su podložni neurokirurškom liječenju. [7] Glavna svrha predkirurške procjene je lokalizirati epileptičke žarišta kako bi se odredio precizan operacijski plan za pojedinog pacijenta. U slučajevima kada su rezultati neinvazivnih metoda nedosljedni, potrebno je provesti intrakranijski elektroencefalogram (iEEG) kako bi se provjerila uključenost sumnjivih regija mozga. Među spomenutim neinvazivnim metoda, MEG se zasada pokazao kao jedna od najuspješnijih metoda za lokalizaciju epileptičkih zona. Jedan od razloga je i usklađenost s rezultatima iEEG-a. Jedna od glavnih prednosti MEG-a je visoka prostorna i vremenska preciznost. Iako MEG ima brojne prednosti u otkrivanju epileptičkih žarišta, još uvijek ne može u potpunosti zamijeniti iEEG u predkirurškoj procjeni. [7]

Učinkovitost operacije epilepsije uvelike ovisi o uspješnosti lokalizacije epileptogene zone. Englot, D. i sur. proveli su istraživanje na 132 pacijenta s fokalnom epilepsijom. Svi pacijenti su prvo pristupili MEG-u za interiktalno[8] mapiranje žarišta te je potom uslijedila kirurška resekcija[9]. Rezultati nakon operacije bili su slijedeći: 70% pacijenata nakon operacije bilo je oslobođeno onesposobljavajućih napadaja uključujući 51% pacijenata koji su bili oslobođeni napadaja u potpunosti. [9]

8 Interiktalno – događanje između napadaja
9 Resekcija – operativno izrezivanje nekog dijela organa ili tijela



Slika 8. Rezultati detekcije i lokalizacije HFO-a (*high frequency oscillations*) MEG-om triju bolesnika s fokalnom epilepsijom

8. Zaključak

MEG mjeri iznimno detaljne prostorno-vremenske podatke koji omogućuju neinvazivni uvid u kortikalnu aktivnost ljudskog mozga u normalnim fiziološkim uvjetima i stanjima uzrokovanim brojnim patološkim promjenama. Međutim, to bogatstvo podataka donosi i nekoliko izazova. Jedan od najvećih izazova za MEG jest identificirati aktivnost vezanu uz zadatak u prisutnosti pozadinske aktivnosti mozga. Nadalje, ostali izazovi uključuju minimiziranje signala iz unutarnjih i vanjskih izvora magnetskih polja te hvatanje komplementarnih podataka koji mogu voditi boljem tumačenju rezultata.

Metoda se dinamično razvija te se dolazi do razvoja novih senzora, integriranja MEG-a s drugim metodama itd. Najveća pozornost posvećena je integraciji fMRI-MEG-a. Elektrofiziološki i metabolički signali odražavaju različite, ali blisko povezane aspekte osnovne neuronske aktivnosti. Kombinirajući podatke fMRI-a i MEG-a omogućuje se proučavanje funkcije mozga iz različitih perspektiva.

Iako je još mnogo izazova, metoda se uspješno koristi za mnoga područja istraživanja, od fetalnog razvoja mozga do razumijevanja neurodegenerativnih bolesti u starijoj dobi.

9. Literatura

KNJIGA:

[1] Supek, S., Aine, C. J. (Eds.) Magnetoencephalography: From Signals to Dynamic Cortical Networks. Springer-Verlag. Heidelberg. 2014.

RAD U ZBORNIKU:

[2] Supek, S. Dinamičko oslikavanje moždanih funkcija magnetoencefalografijom: Struktura i funkcija mozga – dekada mozga. // Zbornik 16. ljetne škole mladih fizičara: Fizika na prijelazu stoljeća. 2000.

SADRŽAJ S INTERNETA – tekst na web stranici:

[3] Demitri, M. Types of Brain Imaging Techniques. 2016. URL:

https://psychcentral.com/lib/types-of-brain-imaging-techniques/ (19. 8. 2018.)

[4] Hari, R. Magnetoencephalography: Methods and Applications. 2016. URL: https://neupsykey.com/magnetoencephalography-methods-and-applications/ (1. 9. 2018.)

[5] Urednici enciklopedije Britannica. Electroencephalography. URL:

https://www.britannica.com/science/electroencephalography (15. 2. 2019.)

[6] Sheridan, C. J. i sur. Fetal Magnetoencephalography – Achievements and Challenges in the Study of Prenatal and Early Postnatal Brain Responses: A Review. 2010. URL:

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2830651/ (20. 2. 2019.)

[7] Wang, Q., Teng, P., Luan, G. Magnetoencephalography in Preoperative Epileptic Foci Localization: Enlightenment from Cognitive Studies. 2017. URL:

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5487414/ (9. 4. 2019.)

[8] Ray, A., Bowyer, S. M. Clinical applications of magnetoencephalography in epilepsy. 2010. URL:

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2859582/ (9. 4. 2019.)

[9] Englot, D. J. i sur. Epileptogenic zone localization using magnetoencephalography predicts seizure freedom in epilepsy surgery. 2015. URL:

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4457690/ (9. 4. 2019.)

[10] What is Magnetoencephalography (MEG)? URL:

http://ilabs.washington.edu/what-magnetoencephalography-meg (3. 5. 2019.)

[11] Singh, S. P. Magnetoencephalography: Basic principles. 17.3.2014. URL:

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4001219/ (3. 5. 2019.)

[12] Stokes, M. What does MEG measure?.2015. URL:

https://www.nature.com/scitable/blog/brain-metrics/what_does_meg_measure (7. 5. 2019.)

[13] Wilson, T. W. i sur. Neuroimaging with magnetoencephalography: A dynamic view of brain pathophysiology. 2016. URL:

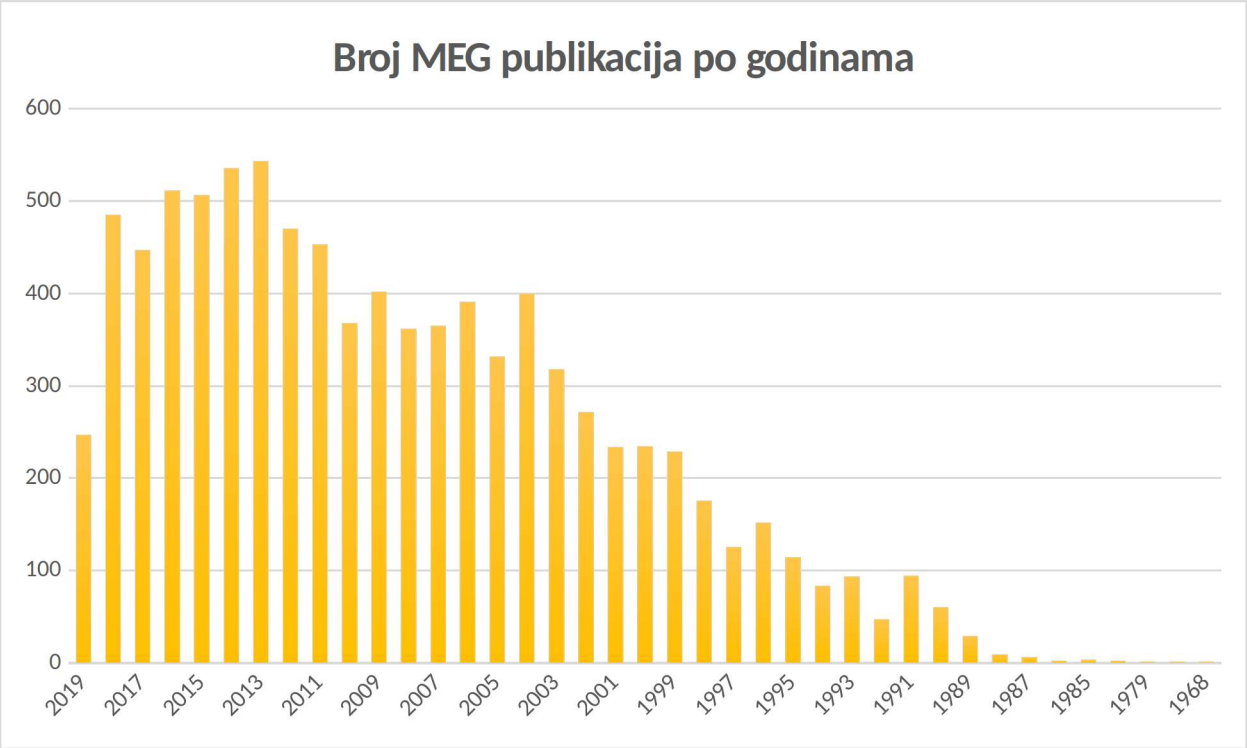
https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4959997/ (10. 6. 2019.)

10. Životopis

Martina Novak, rođena je 17. 9. 1994. godine u Požegi gdje je stekla svoje osnovnoškolsko i srednjoškolsko obrazovanje. Završila je Poljoprivredno-prehrambenu školu u Požegi 2013. godine. Iste godine upisuje se u Osijeku na Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera, Odjel za fiziku.

Prilozi

Prilog 1



*Ova brojka temelji se na PubMed pretraživanju provedenom 15. lipnja 2019. pomoću izraza "magnetoencephalography".