

Bojana Knežević

*Poliklinika za rehabilitaciju slušanja i govora SUVAG Karlovac,
Ul. Alfreda Krupe 2, 47000 Karlovac*

**Neurofeedback tretman -
primjena u logopediji****Neurofeedback Treatment – Application
in Speech and Language Therapy**

Stručni rad: UDK: 616.831-073-71:3763

DOI: <https://doi.org/10.31299/log.14.1.3>**Sažetak**

Neurofeedback (NFB) tretman - neinvazivna je metoda, zasnovana na elektroencefalografiji i praćenju električne aktivnosti mozga (EEG). To je računalno potpomognuta metoda treninga, koja prikazuje frekvencije moždanih valova, time se poboljšava samoregulacija mozga, odnosno moždanih funkcija. Neurofeedback je relativno mlada metoda s burnijim razvojem unatrag dvadesetak godina, čineći njegovu primjenu dostupnijom u terapijske svrhe. Sigfried i Susan Othmer razvili su Infra Low Frequency (ILF) metodu neurofeedbacka, koja osigurava visoko personaliziran NFB trening oblikovan s ciljem pronalaska individualne trening frekvencije i protokola specifičnog za svakog pojedinca, što omogućava bolju samoregulaciju mozga, poboljšava mentalnu stabilnost, a posljedično poboljšava manifestno funkcioniranje osobe. U Poliklinici za rehabilitaciju slušanja i govora SUVAG Karlovac, ILF neurofeedback trening dio je multidisciplinarnog pristupa od 2017. godine. Klinička iskustva potvrđuju ga kao dobru support terapiju logopedskom tretmanu i ostalim tretmanima koje ustanova pruža u radu s osobama s različitim poremećajima, primarno jezično govornim i komunikacijskim teškoćama različite etiologije.

Ključne riječi:
*neurofeedback,
EEG, pobuđenost,
frekvencija, protokol*

Abstract

Neurofeedback (NFB) treatment is a non-invasive method, based on electroencephalography (EEG) and monitoring of brain waves which provides a feedback signal. It is a computer aided method of training that shows electrical activity of the brain, allowing better self-regulation of brain and brain function. Neurofeedback is a relatively young method with increased development in the last twenty years, making its application more accessible for therapeutic purposes. Infra Low Frequency (ILF) neurofeedback developed by Sigfried and Susan Othmer, provides highly personalized NFB training, designed with a purpose of finding individual training frequencies and protocol unique for every individual. It enables better self-regulation of brain activity, increases mental stability and consequently improves overall functioning. In Institution for rehabilitation of hearing and speech SUVAG Karlovac, ILF neurofeedback has been a part of multidisciplinary approach since 2017. Previous clinical experiences confirm it as a good support therapy for speech and language therapy and other treatments that the Institution provides in working with people with various disorders, primarily language, speech and communication difficulties of various aetiologies.

Keywords:
*neurofeedback, EEG,
arousal, frequency,
protocol*

UVOD

Što je neurofeedback

Neurofeedback - vrsta je biofeedbacka kojom se poboljšava samoregulacija mozga, odnosno moždanih funkcija mjerenjem moždanih valova i osiguravanjem povratne informacije o njihovom funkcioniranju (Marzbani i sur. 2016). To je neinvazivna, računalno potpomognuta metoda zasnovana na objektivnoj metodi snimanja moždanih valova, odnosno elektroencefalografiji. Elektroencefalografija (EEG) metoda je snimanja električnih signala, na površini lubanje, pomoću elektroda, koje se postavljaju na određena moždana područja (Blinowska i Durka, 2006). Električni signali nastaju istodobnim izbojem električnih naboja određenog broja stanica mozga. Elektrode su metalne pločice, koje se prema pravilima postavljaju na glavu, povezane s uređajem koji pomoću pojačala ili amplifikatora električnu aktivnost pojačava više milijuna puta te takav pojačani potencijal prenosi u oscilograf s pisacem. Tako se bioelektrične aktivnosti detektiraju, pojačavaju i prikazuju, što omogućava praćenje električne aktivnosti mozga te davanje povratnih informacije o njoj. U odnosu na elektroencefalografiju (EEG), gdje se snimanje električne aktivnosti mozga i njenih parametara koristi u dijagnostici, neurofeedback primjenjuje te iste informacije u terapijske svrhe. Više je različitih vrsta moždanih valova, određeni moždani valovi tipični su za određenu vrstu mentalnih aktivnosti, odnosno pojavljuju se uz određene aktivnosti i zadatke. Pojednostavljeno, do disregulacije u funkcioniranju mozga dolazi kada on koristi pogrešne moždane valove u pogrešno vrijeme, za pogrešni zadatak (Knežević, 2017). Kroz neurofeedback, frekvencije moždanih valova, koje se inače ne mogu percipirati, pomoću računala se učine vidljivima te ih korisnik može pratiti, odnosno mozak može vidjeti svoje funkcioniranje u realnom vremenu, poput slike u ogledalu, sve s ciljem osiguravanja bolje samoregulacije moždanih aktivnosti, što posljedično dovodi do poboljšavanja funkcioniranja čitavog organizma.

Metoda je jednostavna, bezbolna i neinvazivna. Tijekom godina razvijeni su različiti pristupi i metode neurofeedbacka. Prema Othmerovoj metodi, tijekom neurofeedback terapije osoba ne sudjeluje aktivno i svjesno s ciljem postizanja određenog rezultata (smanjenja ili povećanja određene aktivnosti), već se povratna informacija (auditivna, vizualna i taktilna) koristi kako bi mozak poboljšao samoregulaciju i optimizirao svoje funkcioniranje (Othmer, 2011). Unatoč pasivnoj prirodi provođenja tretmana/treninga, opisuju se značajni neurofiziološki te klinički efekti primjene neurofeedbacka (Grin-Yatsenko i sur., 2018).

Prema Collura (2014), za provođenje neurofeedbacka moraju biti zadovoljene određene pretpostavke, odnosno prisutne određene komponente. Mora postojati generiranje moždanih valova kako bi se oni onda mogli i snimiti. Tako snimljeni EEG signal se onda računalom mora pretvoriti u digitalni oblik i procesirati. Takav EEG signal čini osnovu za stvaranje povratnih informacija koje se onda prikazuju u više različitih mogućih oblika: vizualnom, auditivnom i taktilnom. Na osnovi povratnih informacija poboljšava se samoregulacija mozga, što posljedično dovodi do psihofizioloških promjena te poboljšava opće manifestno funkcioniranje pojedinca.

Povijest neurofeedback tretmana

Neurofeedback nije nov koncept, ali je sama metoda relativno mlada. Burniji razvoj neurofeedbacka te interes za njegovu širu primjenu započeo je u drugoj polovici prošlog stoljeća. Terapijski potencijal neurofeedbacka, odnosno realizaciju mogućeg svjesnog mijenjanja parametara moždanih valova otkrio je slučajno Maurice B. Serman (1969). Serman je velik dio svog rada usmjerio istraživanju sna te posebnih uzoraka koji se pojavljuju u njegovim različitim fazama, odnosno analiziranjem sna kao aktivnog procesa, što je bilo u suprotnosti s dotadašnjim uvriježenim mišljenjem o snu kao pasivnom procesu koji slijedi nakon budnosti (Arns i sur., 2024). Provođeci studiju o aktivnostima mozga mačaka, snimao je EEG mačaka u različitim aktivnostima, posebno u različitim fazama sna te pritom je otkrio do tada nepoznat i jedinstven EEG uzorak moždanih valova od 12 do 15 Hz. S obzirom na to da se uzorak pojavio u senzomotornom korteksu, nazvao ga je senzomotornim ritmom (SMR). Zamijetio je da je ritam bio vrlo sličan moždanim valovima koji se javljaju kod mačaka prilikom usnivanja i označavaju sposobnost mozga da smanji budnost i reakcije na vanjske podražaje s ciljem stabilizacije te ulaska u duboki san (Knežević, 2021). Serman to opisuje - stanjem opuštenosti budnosti (Segler, 2021.). Ono što je otkriće SMR ritma činilo znakovitim i revolucionarnim, jest činjenica da je detektiran kada su mačke bile budne, u svjesnom stanju te kada su bile usmjerene određenim vanjskim podražajima. S obzirom na to da se u svom radu dosta oslanjao na Pavlova, odlučio je pokušati operantnim uvjetovanjem potaknuti pojavu SMR ritma. Svaka pojava SMR ritma na EEG-u mačaka rezultirala je nagradom - hranom te se nakon nekog vremena pojavnost valova povećala, a time se povećala i pojavnost stanja opuštenosti budnosti. Iako je Sermanovo otkriće bilo važno, na početku nije bilo očito koja bi mogla biti njegova primjena u terapijske svrhe, ali se isto ubrzo promijenilo. Radeći na drugom istraživanju, vezanom uz ispitivanje štetnosti novog raketnog goriva, zamijetio je da su mačke, koje nisu bile podvrgnute SMR treningu, vrlo brzo dobile epileptične napade. S druge strane, mačke koje su bile podvrgnute treningu proizvodnje SMR valova, imale su odgođenu pojavu epi napada ili je pojavnost istih potpuno izostala. Ovo istraživanje bilo je temelj daljnjim istraživanjima antikonvulzivnog učinka SMR treninga te je ubrzo replicirano kod jedne članice Sermanova tima koja je i sama bolovala od epilepsije, rezistentne na medikamentoznu terapiju. Ona se odlučila na eksperiment u kojem je bila podvrgnuta SMR treningu, što je dovelo do znatnog smanjenja broja epileptičnih napada. To je bila prva primjena neurofeedbacka treninga kod ljudi. Kasnija dalja istraživanja potvrđuju klinički benefit SMR neurofeedbacka treninga kod epilepsija (Tan i sur. 2009) te je od 70. godina prošlog stoljeća učinak neurofeedbacka treninga kod epilepsija rezistentnih na medikamentoznu terapiju opisan u mnogim znanstvenim publikacijama. Kao glavni problem ističe se ograničenost rezultata utemeljenih na dokazima (evidence based) s obzirom na to da postoje poteškoće pri provođenju „double blind“ studija s placebo i kontrolnim skupinama ispitanika. Mnoge su publikacije bile stoga usmjerene praćenju i prikazima slučajeva, kao što je prikaz primjene ILF NFB treninga kod Dravet sindroma (Schmidt i Laugsen, 2023.).

Razvoj neurofeedback tretmana

Kada se govori o neurofeedback treningu, trenutno postoji više različitih neurofeedback metoda, koje sve imaju isti korijen i generalni princip primjene, ali se razvijaju u različitim smjerovima.

Trening frekvencijskog pojasa

Trening frekvencijskog pojasa zasnovan je na Stermanovim otkrićima. Snimajući EEG moguće je detektirati različite moždane valove s različitim frekvencijskim rasponom. Stermanov SMR pojas jedan je od tih pojaseva i obuhvaća raspon od 13 do 15 Hz. U različitim stanjima svijesti pojavljuju se različiti moždani valovi, odnosno frekvencije, te može se pratiti kako je njihova pojavnost povezana s općim funkcioniranjem organizma (prikazano u tablici 1). Kod svakog moždanog vala moguće je pratiti određene parametre: frekvenciju i amplitudu. Frekvencija, pojednostavljeno, određuje brzinu kretanja valova, dok amplituda određuje koliko će val biti visok. Općenito brži moždani valovi povezuju se s fokusom i pažnjom, dok su sporiji povezani s opuštanjem, meditacijom ili dubokim snom. Tako se, naprimjer, u spavanju najviše pojavljuju delta valovi. Beta i SMr valovi povezani su s budnošću i pažnjom, a gamma valovi su najviše povezani sa stanjem duboke koncentracije, učenja te kod kognitivno zahtjevnih aktivnosti.

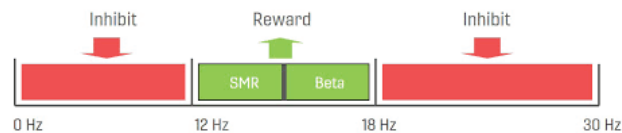
MOŽDANI VAL	FREKVENCIJSKI RASPON (Hz)	OPĆE ZNAČAJKE
Delta	1-4	Spavanje, duboki san, složeno rješavanje problema, nesvjesnost, duboka nesvijest
Theta	4-8	Kreativnost, duboka stanja, nesvjestica, optimalno meditativno stanje, depresija, anksioznost, distraktibilnost
Alpha	8-13	Budnost i mir, spremnost, meditacija, duboka opuštenost, prisjećanje, optimiziranje kognitivne izvedbe
SMR	13-15	Mentalna budnost, fizička opuštenost
Beta	15-20	Razmišljanje, fokusiranje, stalna pažnja, napetost, budnost, uzbuđenje
Viša beta	20-32	Intenzivnost, hiperbudnost, anksioznost
Gamma	32-100 ili 40	Učenje, kognitivna obrada, rješavanje problema, mentalna oštrina, organiziranost

Tablica 1. Moždane frekvencije i pripadajuće karakteristike

Izvor : <https://mhahhealth.com/brainwaves-the-language/>

Kako je navedeno, poticanje SMR ritma bio je prvi oblik neurofeedback treninga, ali je vrlo brzo razvijen i SMR/ beta trening. On je poticao pojavnost i SMT ritma i beta valova zajedno, s obzirom na to da su obje vrste moždanih valova vezane uz aktivno stanje budnosti, pažnje i fokusa. Niski beta valovi, koje karakteriziraju frekvencija od 15 do 18 Hz, pojavljuju se u stanjima izraženog fokusa i intenzivne koncentracije, dok se visoki beta valovi (18 do 30 Hz) pojavljuju u stanjima s više napetosti i hiperbudnosti. Kod različitih poremećaja, može doći do disregulacije moždanih valova, što utječe na cjelokupno funkcioniranje pojedinca i njegovo ponašanje. Cilj treninga frekvencijskog pojasa je modulacija tih disreguliranih moždanih valova, kroz proces učenja, odnosno operantnog uvjetovanja.

Trening frekvencijskog pojasa primarno je usmjeren povećanju pojavnosti SMR i niskih beta valova te na smanjenje proizvodnje theta valova, s obzirom na to da su oni povezani sa stanjima smanjene budnosti i fokusa i smanjenjem visokih beta valova koji su povezani s pojačanom napetošću.



Slika 1. Beta SMR frekvencijski pojas

Izvor: Segler, 2021.

Cilj treninga frekvencijskog pojasa je postizanje stanja opuštenosti, ali uz optimalan fokus. S obzirom na to da je zasnovan na operantnom uvjetovanju, kada se postigne određeno željeno stanje povezano s određenim ciljanim frekvencijama, osoba dobije nagradu (reward), pozitivno potkrepljenje najčešće u obliku ugodnog zvuka. Pojavnost neželjenih frekvencijskih valova rezultira izostankom nagrade ili pojavom određenog inhibitora, odnosno znaka upozorenja (najčešće neugodan zvuk). Na početku treninga frekvencijskog pojasa određuju se pravila, odnosno ciljne frekvencije, one koje se nagrađuju i one koje se inhibiraju. Osnovni nedostatak navedene metode: jest polazište da je, funkcioniranje svakog mozga je istovjetno, odnosno željene, nagrađivane te manje poželjne, inhibirane frekvencije kod svih su iste.

Trening niskih kortikalnih potencijala (SCP trening)

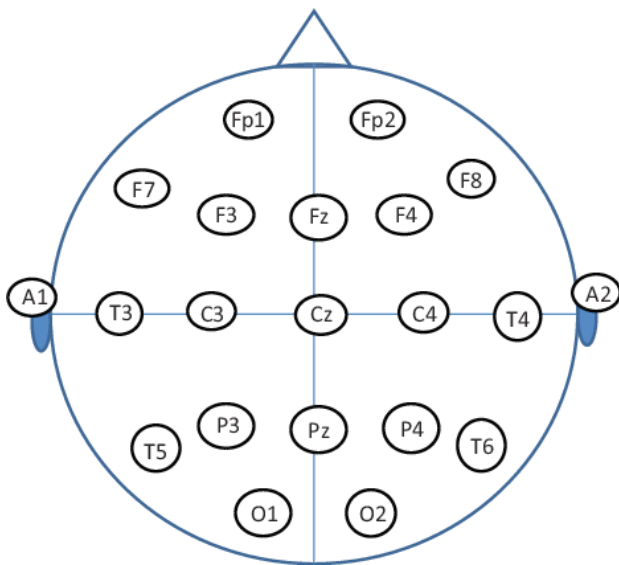
Niski kortikalni potencijali (SCP) vrlo su spori električni pomaci u moždanoj aktivnosti koji mogu trajati od nekoliko stotina milisekundi do nekoliko sekundi (Gevensleben i sur., 2014). Imaju značajnu ulogu u regulaciji pažnje. SCP trening je vrsta neurofeedbacka u osnovi slična treningu frekvencijskog pojasa, osim što se kod SCP -a koriste znatno niže frekvencije, niže od 0.1 Hz, što je 10 do 300 puta sporije od ciljanih frekvencija kod klasičnog neurofeedback treninga, odnosno treninga frekvencijskog pojasa. Tijekom treninga osoba uči razlikovati stanje aktivacije od stanja opuštenosti u mozgu i uči svjesno kontrolirati te aktivnosti kroz operantno uvjetovanje. Na ekranu se, tijekom treninga, pojavljuje određena vrsta pokretnog simbola koji je potrebno pomicati ispod ili iznad zadane crte. Kretanje simbola ovisi o moždanoj aktivnosti te je njihovo pomicanje moguće smanjenjem ili povećanjem određene aktivnosti. Pomicanje simbola u željenom (instruiranom smjeru) rezultira pojavom auditivne/ili vizualne nagrade. S obzirom na to da se kod treninga niskih kortikalnih potencijala trenira na znatno nižim frekvencijama, one kod tog treninga ne odražavaju trenutno stanje pobuđenosti mozga, već se odnose na voljnost mozga da primjereno odgovori na neki podražaj, odnosno one odražavaju opću aktivnost mozga. SCP trening često se navodi kao najučinkovitiji neurofeedback protokol kod osoba, posebno djece i adolescenata, s ADHD-om (Meyer i sur., 2014). Učinkovitost i klinička značajnost SCP neurofeedback treninga istraživana je i dokumentirana i kroz randomizirane kontrolirane studije (Arns i sur., 2014).

Neurofeedback danas

Kao što je istaknuto, neurofeedback metoda je relativno mlada te se njezin intenzivniji razvoj i šira terapijska primjena mogu pratiti unatrag dvadesetak godina. Najveći napredak na području neurofeedbacka povezan je s intenzivnijim razvojem elektroničkog inženjeringa, napretkom i razvojem tehnologije, posebice kompjutorske, koja je omogućila ne samo razvoj metode, već i objektivnije načine potvrđivanja svoje učinkovitosti. Tek početkom 21. stoljeća metoda se intenzivnije

primjenjuje i postaje dostupnija javnosti. Neurofeedback se i danas često naziva kontroverznom. Opetovano se naglašava potreba za sustavnim i znanstveno utemeljenim intervencijama kako bi se dokazala njegova učinkovitost i mogućnosti primjene. Osnovni prigovori metodi, primarno su bili usmjereni na izostanak jasnih i dogovorenih pravila/smjernica za njegovo korištenje, odnosno izostanak standarda prakticiranja. Sustavno se ističe nužnost znanstveno utemeljenih intervencija i studija, koje bi dokazale učinak i terapijske mogućnosti neurofeedbacka.

Sva propitivanja te kritike potaknula su dalji razvoj metode te su osigurali jasna ograničenja i protokole koji su nužni u primjeni neurofeedbacka. Tako je određeno da se prilikom svih vrsta neurofeedback treninga elektrode nužno postavljaju prema međunarodno dogovorenom sustavu postavljanja elektroda po sistemu 10-20, koji se danas primjenjuje kod snimanja EEG-a.



Slika 2. Sistem 10-20

Izvor: Protocol guide for neurofeedback clinicians, 2015.

Razvoju metode pridonijela je pojava i primjena kvantitativne elektroencefalografije (qEEG). To je tehnika koja pomoću modernih analitičkih softvera analizira digitalizirani EEG kako bi se dobili različiti kvantitativni podaci (amplituda, omjer, jakost), koji omogućavaju ono što se laički naziva mapiranje mozga (brain mapping). Ti digitalni podaci se statistički analiziraju i uspoređuju s određenim referentnim, odnosno normativnim vrijednostima. Takav, kvantitativni EEG osigurava dodatne informacije o funkcioniranju mozga, odnosno omogućuje da vidimo dinamičke promjene koje se događaju u moždanoj aktivnosti tijekom određenih kognitivnih zadataka. Informacije se mogu koristiti pri određivanju najučinkovitijih rješenja te osiguravaju bolje planiranje tretmana, kao i praćenje njegovog napretka, odnosno poboljšanja njegove učinkovitosti. Informacije dobivene kvantitativnom elektroencefalografijom koriste se i u istraživačke svrhe.

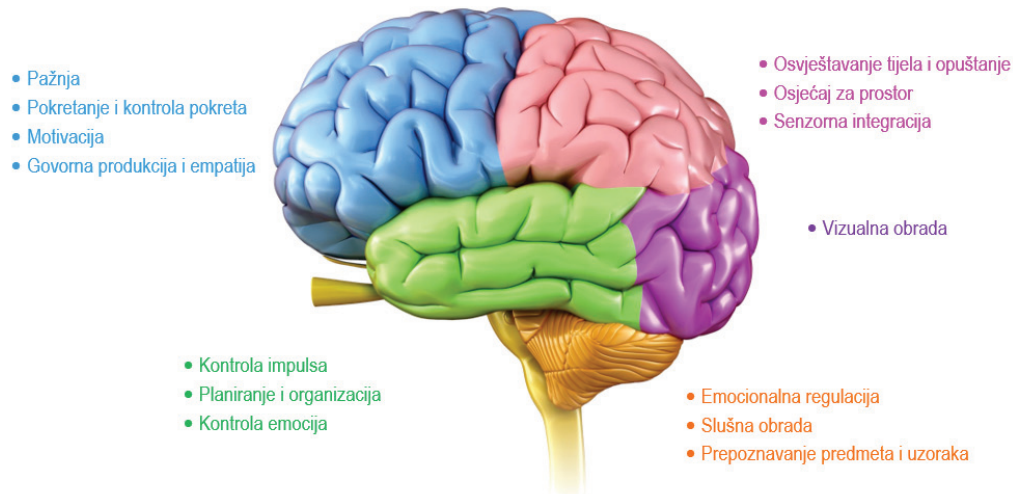
Napretku u primjeni neurofeedbacka i dokazivanja učinkovitosti tretmana pridonijela je i funkcionalna magnetska rezonanca te istraživanja temeljena na njoj (Dobrushina i sur. 2018, Dobrushina i sur. 2022). S obzirom na sve veću primjenu neurofeedbacka, nužno je istaknuti da ona mora biti kontrolirana, odnosno prakticiranje NFB-a, kao terapijske metode, mora biti dopušteno isključivo educiranim stručnjacima s osnovnim znanjima o metodi, njezinoj primjeni

i mogućem utjecaju te da sva medicinska aparatura mora biti certificirana i odobrena za korištenje.

ILF NFB trening - Othmerova metoda

Infra low frequency (ILF) neurofeedback metodu, razvili su Sigfried i Susan Othmer te je još poznata i pod nazivom Othmerova metoda. Objedinjuje elemente treninga frekvencijskog pojasa, odnosno SMR/beta treninga te treninga sporih kortikalnih potencijala (SCP). Bitan dio metode čine i elementi kvantificiranog EEG-a. Sigfried Othmer, po profesiji fizičar te njegova supruga Susan Othmer, neuroznanstvenica, potaknuti napretkom koji je pokazao njihov sin s dijagnozom autizma, nakon klasičnog NFB treninga, krenuli su u proučavanje postojećih NFB metoda i njihovih primjena. Iako učinkoviti, zamijetili su da u postojećim modelima neurofeedbacka ima određenih nedostataka. Trening frekvencijskog pojasa zasnovan je na pretpostavci da u moždanoj aktivnosti tijekom određenih zadataka, odnosno treninga kognitivnih vještina postoje univerzalne, poželjne i manje poželjne frekvencije. Određivanje frekvencija koje se nagrađuju ili inhibiraju prilikom takvog treninga temeljeno je na teorijskim, odnosno statističkim podacima o tome što se smatra normalom u moždanoj aktivnosti kod određenih kognitivnih zadataka. Sigfried i Susan Othmer pošli su od pretpostavke da ne postoji jednostavna, univerzalna norma za urednu moždanu aktivnost, s obzirom na to da se tako u potpunosti zanemaruje individualnost u funkcioniranje mozga kod različitih pojedinaca, odnosno neuroplastičnost mozga. Njihova pretpostavka bila je da premisa da "jedna kapa odgovara svakoj glavi" nije održiva. Kroz primjenu i praćenje učinkovitosti SMR/beta treninga zamijetili su da nije jednako učinkovit kod svih te da postoje razlike u učinkovitosti s obzirom na poremećaje (Segler, 2021). Intenzivno su istraživali i primjenom metode počeli modificirati filtre, kako bi omogućili da se, ovisno o individualnoj povratnoj informaciji svakog pacijenta, „nagrade“ i druge frekvencije. Tako su omogućili NFB trening koji osigurava pronalazak individualizirane trening frekvencije. To znači da trening frekvencije nisu više unaprijed propisane određenim standardiziranim pravilnicima na osnovi statističkih analiza, već visoko individualizirane moždanom aktivnošću svakog korisnika, odnosno njegovih povratnih reakcija. Na taj način, individualizacijom ne samo trening frekvencije, već i pozicija elektroda, osigurali su visoko personaliziran protokol koji je individualiziran za svakog korisnika s obzirom na teškoće koje ima te obzirom na detaljne anamnestičke podatke o bolestima, stanjima i trenutnom manifestnom funkcioniranju. Othmerova metoda koristi vrlo niske frekvencije - ispod 10 Hz. Od 2006. godine trenira se na vrlo niskim frekvencijskim područjima (ILF područja do 0.00001 mHz) te je zamijećena bolja učinkovitost treninga. Trening je visoko individualiziran, kao i trening frekvencija, ali praćenjem frekvencija primjenom metode u našoj ustanovi zamijećeno je da mlađa populacija, djeca niže kronološke dobi, u pravilu bolje toleriraju niže frekvencije, dok starija, školska i odrasla populacija češće treniraju na nešto višim frekvencijama.

Protokol smještanja, odnosno položaj smještanja elektroda (trening protokol) također ima veliku važnost i određuje se prema individualnim, specifičnim simptomima koji su prisutni kod određene osobe. Kreiranje trening protokola određeno je činjenicom da su određena kortikalna područja odgovorna za specifične funkcije.

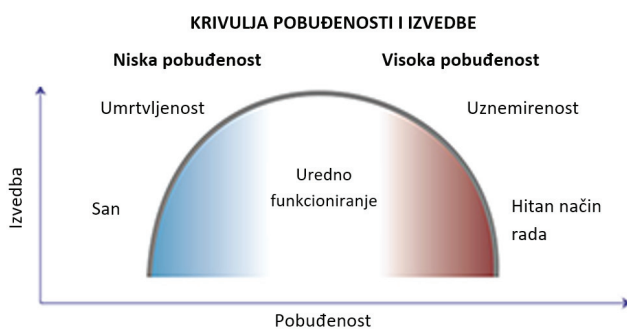


Slika 3. Kortikalna područja i specifične funkcije

Izvor: Segler, 2021.

Modifikacija frekvencijskih filtara te omogućavanje nagrađivanja različitih frekvencija, ovisno o povratnim informacijama /feedbacku svake osobe, a na osnovi simptoma pobuđenosti, revolucionarna je ideja jer je osigurala da NFB tretman više ne bude temeljen na unaprijed propisanim pravilima, već visoko individualiziran i jedinstven za svakog posebno.

Stanje pobuđenosti ima snažan utjecaj na funkcioniranje organizma. Svaka osoba ima određenu razinu pobuđenosti živčanog sustava o kojoj ovisi njezina izvedba. Kada je živčani sustav uredno reguliran i izvedba je uspješna i manifestno funkcioniranje uredno. Stanje pobuđenosti mijenja se ovisno o dobu dana, ali i ovisno o određenim situacijama. Tako je stanje pobuđenosti u pravilu niže pred kraj dana, kada je osoba umorna i tone u san. U određenim hitnim situacijama stanje pobuđenosti je više, omogućava brzu reakciju. Dobra samoregulacija, stoga, ne podrazumijeva samo stabilnost stanja pobuđenosti, već i njezinu fleksibilnost. Visoka razina pobuđenosti korisna je u stanjima hitnosti, kada je potrebno brzo reagirati, a niska razina pobuđenosti nužna za san i odmor. Previsoka ili preniska razina pobuđenosti tijekom dana mogu ometati manifestno funkcioniranje te učinkovitost. Cilj neurofeedbacka je osigurati fleksibilnost, ali i stabilnost pobuđenosti, odnosno samoregulaciju kako bi manifestno funkcioniranje osobe bilo što bolje.



Slika 4. Odnos stanja razine pobuđenosti i izvedbe

Izvor: Protocol guide for neurofeedback clinicians, 2015.

Primjena i djelovanje ILF neurofeedback metode

Osnovu ILF neurofeedback metode čini promatranje i analiza specifičnih simptoma koje pojedinac ima. Metoda nije usmjerena liječenju bolesti ili stanja, već boljom samoregulacijom moždanih aktivnosti osigurava stabilnost funkcioniranja mozga i poboljšava manifestno funkcioniranje osobe. Samoregulacija je bitan koncept kada se govori o ILF neurofeedbacku. Odnosi se na automatsku, nesvjesnu regulaciju fizioloških funkcija. Dobra samoregulacija osnova je za učinkovito i efektivno funkcioniranje mozga i tijela (Othmer, 2015). Početni trening protokol (položaj smještanja elektroda) određuje se prema simptomatologiji koju korisnik ima. Inicijalni, planirani trening protokol moguće je treninzima mijenjati, ovisno o pozitivnim ili negativnim povratnim informacijama koje korisnik daje. Tijekom treninga, a prema indikatorima pobuđenosti, određuje se jedinstvena trening frekvencija, individualna za svaku osobu. Idealna trening frekvencija je ona na kojoj se postiže optimalna pobuđenost - niti preniska niti previsoka - odnosno ona koja osigurava stanje ugođe i opuštenosti, uz optimalnu koncentraciju i izvedbu. Razina pobuđenosti osobe prati se tijekom samog treninga, ali je nužno i izvještavanje o razini pobuđenosti i funkcioniranju u danima nakon treninga. Pospanost, mučnina, vrtoglavica, glavobolja, usporenost, teškoće buđenja, pomanjkanje dubokog sna, plačljivost, osjećaj težine, bezvoljnosti i tuge - neki su od znakova preniske pobuđenosti o kojima je nužno voditi računa. Fizička napetost, grčenje mišića, poteškoće usnivanja, povećana hiperaktivnost, impulzivnost, ljutnja, anksioznost, lupanje srca, glavobolja i osjećaj prenaprezanja očiju te posebno emocionalna reaktivnost - neki su od znakova previsoke pobuđenosti. Terapeut mora biti dobro upoznat sa svim mogućim simptomima, odnosno znakovima previsoke ili preniske pobuđenosti, o kojima osoba može izvještavati, kako bi ih mogao adekvatno analizirati i pravodobno intervenirati povišenjem ili sniženjem trening frekvencije ili promjenom položaja elektroda i tako osigurati optimalnu razinu pobuđenosti.

Redovitost i kontinuitet treninga nužni su za njegovu učinkovitost. Dvadeset odrađenih treninga, na individualnoj trening frekvenciji, minimalan je broj potreban da bi mozak ušao u proces učenja bolje samoregulacije te da bi se pozitivne promjene održale, odnosno bile trajnije. Primjenom NFB treninga u Poliklinici SUVAG Karlovac, zamijećeno je da je kod osoba sa složenijim i kompleksnijim teškoćama, potreban i veći

broj treninga za trajniji pozitivni pomak. S obzirom na to da se kod Othmerove metode koriste vrlo niske frekvencije (ILF), više se, zapravo, ne govori o frekvencijama u uobičajenom smislu. Jedna oscilacija, odnosno jedan val - kako se obično više frekvencije slikovito opisuju - na takom niskim frekvencijama trajala bi satima, točnije danima te bi je pravilnije bilo usporediti ne s valom, već s izmjenom plime i oseke. Zbog toga se kod ILF neurofeedback treninga, analizira manji dio te detektirane električne aktivnosti. Dok kod SCP treninga te treninga frekvencijskog pojasa, osoba ima aktivnu ulogu u kojoj svjesno sudjeluju u samom treningu, kod Othmerove metode korisnik više ne trenira na svjesnoj razini te ne modificira svjesno svoju moždanu aktivnost. Kroz unaprijed pripremljenu animaciju na ekranu, video igru ili crtić/film mozak dobiva feedback, odnosno povratnu informaciju o svom trenutnom funkcioniranju, poput gledanja svoje aktivnosti u ogledalu i u njoj se prepoznaje. Disregulacije u moždanoj aktivnosti koreliraju s vizualnim, auditivnim ili taktilnim feedbackom te ih mozak stalno podsvjesno pokušava modificirati, odnosno regulirati. S obzirom na to da kod ILF treninga više nema klasične nagrade ili izostanka iste, učinkovitost Othmerove vrste neurofeedback treninga ne može se više objasniti operantnim uvjetovanjem. Povratne informacije, koje koreliraju s promjenama u moždanoj aktivnosti, zapravo reflektiraju tu istu moždanu aktivnost i čine je vidljivom poput zrcala - mozak konstantno na nesvjesnoj razini radi, pokušavajući povezati viđene feedback signale s vlastitom aktivnošću te tako trenira. Mozak, dakle, podsvjesno pokušava pronaći uzorke u funkcioniranju i povezati ih s vlastitom aktivnošću. Upravo zato feedback promjene vidljive na ekranu, primljene u slušalicama, ili putem taktilnog uređaja, nemaju utjecaj na promatrača koji ih može gledati, ali ne trenira jer nema veze između tih promjena, odnosno povratnih informacija i njegove kortikalne aktivnosti.

QIK test

Za bolje praćenje napretka i učinkovitosti neurofeedback tretmana, posebno kod populacije s odstupanjima u pažnji, prije, tijekom i nakon završene serije neurofeedback treninga primjenjuje se QIK test. To je objektivni test koji prati kontinuiranost pažnje, odnosno kontinuiranost performansi pojedinca i ima isti princip funkcioniranja kao psihološki TOVA test (Othmer, 2014). To je standardizirani test pažnje koji može objektivno prikazati funkcioniranje mozga u različitim uvjetima i pod različitim opterećenjem. Njime je moguće mjeriti različite parametre pažnje, daje informacije kako ispitanik usmjerava pažnju te kako reagira na određene podražaje tijekom vremena. Testom se mjeri vrijeme i točnost reakcije u različitim uvjetima. Izmjenjuju se stresni uvjeti visoke zahtjevnosti s uvjetima manje zahtjevnosti, odnosno dosadnim zadacima. QIK testiranjem dobivaju se objektivni rezultati koji pokazuju kako ispitanik zadržava pažnju pri nekom novom zadatku, a kako održava dugotrajnu pažnju na istom zadatku. Analizira i vrstu pogrešaka koje ispitanik radi na testu, što može upućivati na određene poteškoće poput otklona pažnje ili impulzivnosti u odgovorima i reakcijama. Testiranje traje 20 minuta. Vizualni podražaji prezentiraju se većom brzinom na početku testiranja, a sporije prema kraju testiranja, kako bi se utvrdio utjecaj zamora ili dosade na rezultate. Test se izvodi na malom elektroničkom CPT uređaju, koji u sredini ima mali ekran te dva gumba, jedan s lijeve, drugi s desne strane. Ispitanik je instruiran da prati pojavu manjih kvadrata koji formiraju veći kvadrat. Kada se na ekranu pojavi kvadrat s prazninom

u sredini potrebna je reakcija (stiskanje gumba), dok se pojava cjelovitog kvadrata zanemaruje.



Slika 5. QIK test

Izvor: <https://www.eeginfo.com/qiktest/images/tutorial-images/7.jpg>

Alpha theta trening i trening sinkronije

Osim klasičnog ILF NFB treninga, Othmerova metoda uključuje još dvije primjene, Alpha theta trening i trening sinkronije. ILF dvokanalni trening radi na samoregulaciji središnjeg i autonomnog živčanog sustava. Time se radi na poboljšanju spavanja, emocija, pažnje i koncentracije, koordinacije i sl. ILF trening početna je točka za stabilizaciju živčanog sustava, ali također i priprema za uspješan Alpha theta trening ili trening sinkronije, ako su oni potrebni. Alpha theta trening nadovezuje se na ILF trening ako postoje određene neprocesirane traume koje su okidač nepoželjne simptomatologije. Dosta se primjenjuje u tretiranju PTSP-a (Othmer i Othmer, 2009). Trening sinkronije primjenjuje se često za poboljšanje, odnosno optimalnu izvedbu i duboko opuštanje. Alpha theta trening i trening sinkronije ograničeni su samo na odraslu populaciju i ne primjenjuju se kod djece.

Istraživanja i praćenja učinka ILF neurofeedback tretmana

Unatrag desetak godina proveden je veći broj studija, analiza slučajeva i longitudinalnih praćenja te postoje brojni dokazi o učinkovitosti NFB tretmana. Unatoč tome, i dalje se postavlja pitanje objektivizacije rezultata, odnosno učinaka neurofeedback tretmana.

Razne su debate vezane uz primjenu i učinkovitost neurofeedback tretmana. Mnogi istraživači postavljaju pitanje - jesu li vidljiva poboljšanja povezana s NFB intervencijom ili s drugim terapijama/tretmanima koje osoba ima te ističu važnost daljih, detaljnih kontroliranih studija. Navode kako je nužno ne samo pratiti učinkovitost metode, već i razvijati neuroznanstvene modele na kojima ona počiva.

Kao i svaka druga metoda, ILF neurofeedback tretman ima svoje prednosti i mane. Kao osnovni nedostatak ističe se skupoća i dugotrajnost same metode kako bi se postigli održivi

rezultati. S obzirom na relativnu „mladost“ metode, često se ističe nedostatak tvrdnji, istraživanja i rezultata utemeljenih na dokazima. Unatrag dvadesetak godina provode se mnoga istraživanja s ciljem prikupljanja nepobitnih dokaza za učinkovitost metode. Godine 2018. provedena je randomizirana „double blind“ studija s ciljem utvrđivanja potencijalne terapijske učinkovitosti ILF NFB treninga kod osoba s ovisnošću o hrani (Leong i sur., 2018). Uključivala je trening grupu te kontrolnu grupu. Ispitanici su odradili 6 ILF treninga u trening skupini i 6 placebo treninga u kontrolnoj grupi u 3 tjedna. U trening skupini utvrđene su promjene u kortikalnoj aktivnosti u odnosu na kontrolnu skupinu i značajno smanjenje žudnje za hranom, što ukazuje na izraziti potencijal ILF NFB treninga u tretmanu ovisnosti o hrani i srodnih poremećaja. Bazzana i sur. (2022) proveli su sistematsku reviziju postojeće literature i različitih istraživanja, koja uključuju ILF NFB metodu s ciljem utvrđivanja kliničke efikasnosti neurofeedbacka. U radu u kojem su analizirali 18 studija, oslanjali su se na PRISMA principe te MMAT alat za procjenu. Utvrdili su da ILF neurofeedback ima izrazit potencijal i obećavajuće rezultate u primjeni kod različitih poremećaja i stanja, ali da su dalja istraživanja te kontrolirane studije nužne, jer je metoda još mlada, kako bi se dodatno objasnio mehanizam primjene i dugotrajna učinkovitost. Dobrushina i sur. (2020) proveli su istraživanje na 52 zdrava sudionika kod kojih je učinjena funkcionalna magnetna rezonanca (fMRI) prije i nakon provedbe svega jednog ILF neurofeedback treninga. Analizom snimki utvrđene su signifikantne promjene u kortikalnoj povezanosti i aktivnosti nakon samo jednog treninga. Zanimljiv noviji prikaz primjene ILF NFB tretmana je i prikaz kliničkog iskustva s Tourette sindromom te drugim poremećajima koji uključuju tikove (Solberg i Solberg, 2022.). Opisano je iskustvo sa 100 slučajeva koji su bili izrazito rezistentni na medikamentoznu terapiju te su na osnovi detaljne analize stanja i simptomatologije prije i nakon primjene ILF NFB tretmana utvrđena značajna poboljšanja koja ukazuju na benefit ILF NFB treninga kod osoba s Tourettom. ILF neurofeedback tretman pobuđuje velik interes vezano uz tretman osoba s autizmom te se sve više rade prikazi slučajeva i praćenje napretka osoba s autizmom koje su podvrgnute NFB treningu. Salem i Habib (2023) proveli su studiju koja je uključivala 35-ero djece s dijagnozom PAS-a, dobi od 7 do 17 godina s ciljem utvrđivanja učinka NFB ILF tretmana na poboljšanje kognitivnih funkcija. Baterijama testova provedena je procjena prije i nakon provođenja 30 seansi tijekom 10 tjedana te su utvrđena statistički značajan poboljšanja u izvršnim funkcijama. Neurofeedback tretman najčešće se navodi kao vrlo učinkovit tretman kod osoba s ADD/ADHD-om. Schneider i sur. (2021.) proveli su studiju upravo s ciljem utvrđivanja učinkovitosti NFB tretmana u tretiranju simptomatologije ADHD-a. U razdoblju od 15 tjedana, grupa od 196 ispitanika odradila je u prosjeku 30 NFB ILF treninga. Osim kliničke procjene i samoprocjene simptoma prije i nakon treninga, proveden je i test kontinuiranosti performansi (CPT/QIK test). Ispitanici su na kraju treninga izvještavali o značajnom subjektivnom smanjenju simptoma tipičnih za ADHD, što je bilo u pozitivnoj korelaciji s rezultatima testa koji je pokazao značajno poboljšanje na svim parametrima vezanim uz pažnju i kontrolu impulsa.

Neurofeedback – primjena

Neurofeedback tretman primjenjiv je kod osoba svih životnih dobi, kao i kod različitih vrsta poremećaja i teškoća.

Dobri rezultati postižu se kod djece s različitim razvojnim poremećajima, poremećajima iz autističnog spektra, kod hiperaktivnosti i poremećaja pažnje, teškoće učenja, poremećaja mentalnog zdravlja, neuroloških poremećaja, različitih autoimunih bolesti. ILF NFB se sve češće primjenjuje i kod vrhunskih sportaša za postizanje izvrsnosti (peak performance) te kod managera. Cilj je postizanje bolje i brže kontrole reakcija, odnosno maksimalno korištenje svojih potencijala kako bi se poboljšala izvedba. Za uspješnu provedbu neurofeedback tretmana nužna je izrazito dobra suradnja, timski rad, komunikacija terapeuta i klijenta ili terapeuta i roditelja. Oni su osnova koja osigurava dobru izmjenu informacija i komunikaciju, što omogućava kreiranje i prilagođavanje odgovarajućeg NFB protokola te osiguravanje njegovog optimalnog učinka. Dobra komunikacija osigurava adekvatne i točne povratne informacije koje omogućavaju pravilnu primjenu neurofeedbacka te smanjenje simptomatologije i poboljšanje cjelokupnog manifestnog funkcioniranja osobe. Zbog trenutno nedostatne zakonske regulative vrlo je važno naglasiti da su potrebne jasnije smjernice i regulative koje određuju tko može završiti neurofeedback edukaciju i provoditi neurofeedback trening te koja se oprema smije koristiti, odnosno koja je medicinska oprema dopuštena i ima potrebne certifikate za primjenu.

Neurofeedback tretman ima vrlo široku primjenu, ali zasigurno nije panacea ili univerzalni lijek za sva stanja ili poremećaje. Poliklinika za rehabilitaciju slušanja i govora SUVAG Karlovac primjenjuje ILF neurofeedback tretman od 2017. godine. Primjenjuje se kod različitih poremećaja i u svakoj životnoj dobi, primarno kod jezično govornih i komunikacijskih poremećaja različite etiologije. Ovisno o problematici, teškoćama, kod svih korisnika zamijećeni su pozitivni pomaci različitog stupnja. Dobre rezultate za sada uočavamo kod djece s dječjom govornom apraksijom, što se manifestira klinički uočenim poboljšanjima u govornoj ekspresiji i artikulaciji. Također zabilježeni su pozitivni rezultati kod osoba s afazijom nakon moždanog udara ili tumora. Za sada najmanji pomaci, u smislu smanjenja simptomatologije, uočeni su kod osoba s disleksijom. Krenulo se s pretpostavkom da bi NFB trening mogao poboljšati dekodiranje pri čitanju, ali nisu uočeni znatniji pomaci. Ipak, uočena su poboljšanja u pažnji te manji zamor u čitanju kod osoba s disleksijom, što je posljedično utjecalo na njihovo bolje funkcioniranje, posebno kod duljeg mentalnog napora pri učenju. No, za sveobuhvatnu analizu učinka potrebna su detaljna praćenja i prikupljanje podataka. NFB tretman vidimo kao dobru podršku svim drugim terapijama koje pružamo te je postao dio našeg multidisciplinarnog pristupa.

Razlika neurofeedbacka i biofeedbacka

Kao i neurofeedback, biofeedback je računalno potpomognuta metoda kod koje se mjere određeni parametri fiziološke aktivnosti te se prikazuju korisniku. Dok je neurofeedback usmjeren na praćenje električne aktivnosti mozga, biofeedback daje informacije o drugim fiziološkim aktivnostima, poput rada srca, disanja, periferne temperature tijela, napetosti mišića te otpora kože. Koristeći monitor i zvučnik tijelu prikazuje njegova vlastita aktivnost u sadašnjem trenutku. Putem povratne informacije o funkcioniranju tijela, pojedincu je omogućeno da osvijesti svoju fiziološku aktivnost kako bi mogao na nju utjecati, a primarno sa svrhom

poboljšanja zdravlja i općeg funkcioniranja ili osiguravanja vrhunske izvedbe kod sportaša. Biofeedback metoda može se primjenjivati odvojeno od neurofeedbacka, ali je također moguće kombinirati obje metode. Pri kombinaciji biofeedback te neurofeedback signala dobivaju se potpunije informacije o funkcioniranju organizma, donosno pojedinca. Uređaj pod nazivom Combi Sensor smješta se na prst i pomoću tri senzora mjeri otpor kože, perifernu temperaturu tijela, otkucaje srca.



Slika 6. .

Izvor: <https://eeginstitute.dk/vare/combi-sensor>

ZAKLJUČAK

Klinička iskustva s neurofeedback tretmanom pokazuju da je njegov doprinos dobar kao podrška logopedskoj terapiji u sklopu multidisciplinarnog pristupa u tretmanu različitih stanja, poremećaja ili bolesti. Lakša dostupnost uređaja i mogućnost edukacije omogućile su širu primjenu ovog tretmana. No, bitno je istaknuti važnost dobrog poznavanja neurofiziologije kako bi se on mogao pravilno primjenjivati u radu te kako bi se učinci njegove primjene mogli evaluirati. Svakodnevna klinička iskustva pokazuju opravdanost njegove primjene, no budućim istraživanjima tu opravdanost treba jasno potvrditi.

LITERATURA

Arns M., Heinrich H. & Strehl U. (2014). Evaluation of neurofeedback in ADHD: the long and winding road. *Biol. Psychol.* 95, 108–115. 10.1016/j.biopsycho.2013.11.013 doi: 10.1016/j.biopsycho.2013.11.013

Arns, M., Fetz, E. & Birbaumer, N. (2024.) In Memoriam: Maurice B. (Barry) Serman (1935–2023), Pioneer of SMR Neurofeedback ‘Show me the Data’. *Appl Psychophysiol Biofeedback* 49, 181–183 (2024). <https://doi.org/10.1007/s10484-024-09620-x>

Bazzana, F., Finzi, S., Di Fini, G., & Veglia, F. (2022). Infra-low frequency neurofeedback: A systematic mixed studies review. *Frontiers in human neuroscience* 16:920659. doi:10.3389/fnhum.2022.920659

Blinowska, K., & Durka, P. (2006). In Akay (Eds.), Wiley Encyclopedia of Biomedical Engineering: Electroencephalography (EEG). Wiley <https://doi.org/10.1002/9780471740360.ebs0418>

Collura, T.F. (2014). *Technical Foundations of Neurofeedback*. Routledge, New York. doi:10.4324/9780203795132

Dobrushina, O.R., Vlasova R., Rumshiskaya, A., Litvinova, L., Mershina, E., Sintsyn, V & Pechenkova, E. (2020). Modulation of intrinsic brain connectivity by implicit electroencephalographic neurofeedback. *Frontiers in human neuroscience* 14: 192. doi: 10.3389/fnhum.2020.00192

Dobrushina, O.R., Dobrynina, L.A., Galina, A.A., Kremneva, E.I., Novikova, E.S., Gubanova, M.V., Pechenkova, E.V., Suslina, A.D., Aristova, V.V., Trubitsyna, V.V., & Krotchenkova, M.V. (2022). Enhancing Brain Connectivity With Infr-Low Frequency Neurofeedback During Aging: a pilot study. *Frontiers in human neuroscience* 16, 1-12 doi: 10.3389/fnhum.2022.891547

Gevensleben, H., B., H., Auer, T., Dewiputri, W.I. Schweizer, R. Moll, G. Heinrich, H. & Rothenberger, A. (2014). Neurofeedback of slow cortical potentials: neural mechanisms and feasibility of a placebo-controlled design in healthy adults. *Frontiers in human neuroscience* 8: 990 doi: 10.3389/fnhum.2014.00990

Grin-Yatsenko, V.A., Ponomarev, V.A., Kara, O., Wandernoth, B., Gregory, M., Ilyukhina, V.A., & Kropotov, J.D. (2018). Effect of Infra- Low Frequency Neurofeedback on Infra – Slow EEG Fluctuations. In *Biofeedback*. IntechOpen. doi:10.5772/intechopen.77154

Knežević, B. (2021). Croatia. In Knežević, B., Katić, M., Miščin, Ž., Kovač Vrana, V. Graša, S. (Eds.), E- zbornik 3. stručni skup Ostvarimo potencijale knjižnica: Moderne tehnologije kao pomoć kod teškoća čitanja i pisanja: Neurofeedback tretman – kotačić koji čini razliku (pp 29–40). Malkoč Bišćan, A.

<https://gkka.hr/wp-content/uploads/2023/03/Ostvarimo-potencijala-knjiznica1.pdf>

Leong, S.L., Vanneste, S., Lim, J., Smith, M., Manning, P., & De Ridder, D. (2018). A randomised, double-blind, placebo-controlled parallel trial of closed-loop infralow brain training in food addiction. *Scientific reports*, 8(1), 1-9. doi: 10.1038/s41598-018-30181-7.

Marzbani, H, Marateb, H.R., Mansourian, M. (2016). Neurofeedback: A Comprehensive Review on System Design, Methodology and Clinical Applications. *Basic Clin Neurosci.* 2016 Apr; 7(2): 143–158. doi: 10.15412/J.BCN.03070208

Mayer K., Wyckoff S. N., Strehl U. (2013). One size fits all? Slow cortical potentials neurofeedback: a review. *J. Atten. Disord.* 17, 393–409. 10.1177/1087054712468053

doi: 10.1177/1087054712468053

Othmer, S., & Othmer, S.F. (2009). Post Traumatic Stress Disorder – The Neurofeedback remedy. *Biofeedback* 37,24–31. doi:10.5298/1081-5937-37.1.24

Othmer, S., & Othmer, S.F. (2016, November). *Development History of the Othmer Method: 1987 to 2016*. EEGInfo. <https://www.eeginfo.com/research/researchpapers/Research-w-Othmer-Method-2017.pdf> doi:10.13140/RG.2.2.31226.90562,

Othmer, S.F. (2014). *The Role of the Continuous Performance Test*, EEGInfo. https://www.eeginfo.com/qiktest/cpt_qiktest.pdf

Othmer, S.F. (2015). *Protocol guide for neurofeedback clinicians (fifth edition)*. EEG Info Press.

Othmer, S.F. (2019). United States. In Evans, J.R., Dellinger, M. B., & Russell, H. (Eds.), *Neurofeedback The First Fifty Years* :

History of the Othmer Method: An Evolving Clinical Model and Process (pp. 327-334), doi:10.1016/B978-0-12-817659-7.00043-9

Salem, S., & Habib, S.H. (2023). Neurofeedback Recuperates Cognitive Functions in Children with Autism Spectrum Disorders (ASD). *Journal of Autism and Developmental Disorders*. doi:10.1007/s10803-023-06037-7

Schmidt, C., & Laugsen, H. (2023). Infra-low frequency neurofeedback training in Darvet syndrome: A case study. *Epilepsy & Behavior Reports*. *Frontiers in human neuroscience* 16, doi: 10.1016/j.ebr.2023.100606

Schneider, H., Riederle, J. & Seuss, S. (2021). Therapeutic Effect of Infra-Low-Frequency Neurofeedback Training on Children and Adolescents with ADHD. In: *Brain-Computer Interface*, Vahid Asadpour ed., IntechOpen Limited, 2021:13, doi: 10.5772/intechopen.97938

Segler, K. (2021). *The development of the Othmer method – neurofeedback in its most advanced form*, BEEMedic. https://bee.sg/2020_DE_Whitepaper_FINAL.pdf

Solberg, B., & Solberg, E. (2022). Infra-low frequency neurofeedback in application to Tourette syndrome and other tic disorders : A clinical case series. *Frontiers in human neuroscience* 16 :891924. doi:10.3389/fnhum.2022.891924

Tan, G., Thornby, J., Corydon Hammond, D, Strehl, U., Canady, B., Arnemann, K., Kaiser, D. A., (2009). Meta-analysis of EEG biofeedback in treating epilepsy. *Clinical Eeg and Neuroscience*, 40, 173–179. doi: 10.1177/155005940904000310.