

Utjecaj neinvazivne neurostimulacije na neke aspekte izvršnih funkcija

Šamal, Marija Magdalena

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Humanities and Social Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Filozofski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:131:857762>

Rights / Prava: [In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-05-03**



Repository / Repozitorij:

[ODRAZ - open repository of the University of Zagreb Faculty of Humanities and Social Sciences](#)



Sveučilište u Zagrebu

Filozofski fakultet

Odsjek za psihologiju

**UTJECAJ NEINVAZIVNE NEUROSTIMULACIJE NA NEKE ASPEKTE IZVRŠNIH
FUNKCIJA**

Diplomski rad

Marija Magdalena Šamal

Mentor: izv. prof. dr sc. Ivana Hromatko

Zagreb, 2022.

IZJAVA

Pod punom moralnom odgovornošću izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno te da u njemu nema kopiranih, prepisanih ili preuzetih dijelova teksta tuđih radova koji nisu propisno označeni kao citati s navedenim izvorom iz kojeg su preneseni.

U Zagrebu, 01.07.2022.

Marija Magdalena Šamal

ZAHVALA

Zahvaljujem istraživačima Instituta za medicinska istraživanja u Beogradu na gostoprimstvu i dijeljenju znanja bez kojeg bi ovaj rad bio teško ostvariv.

Hvala mojoj obitelji i Šimunu na ljubavi i podršci pruženoj tijekom cijelog mog studiranja.

UTJECAJ NEINVAZIVNE NEUROSTIMULACIJE NA NEKE ASPEKTE IZVRŠNIH FUNKCIJA

Sažetak

Transkranijalna stimulacija jednosmjernom strujom metoda je neinvazivne neuromodulacije kojom se nastoji poboljšati niz motornih i kognitivnih funkcija. Cilj ovog istraživanja bio je utvrditi može li jedna sesija anodalne transkranijalne stimulacije lijevog dorzolateralnog prefrontalnog korteksa jednosmjernom strujom od 1.5 mA poboljšati izvršne funkcije, specifično radno pamćenje i inhibiciju. Ovo je postignuto zavisnim mjerenjem utjecaja anodalne i *sham* stimulacije na poboljšanje izvedbe u *backward digit span*, *n-back* i Stroopovom zadatku na uzorku od 21 ispitanika mlađe odrasle dobi. Primijenjena je i kontrolna mjera perceptivne brzine kako bi se utvrdila specifičnost neuromodulacijskih efekata. Dobivena je značajna interakcija stimulacijskog uvjeta i točke mjerenja na izvedbu *backward digit span* zadatka, pri čemu su ispitanici nakon anodalne stimulacije demonstrirali povećanje opsega maksimalnog niza reproduciranog unazad u usporedbi s mjerenjem prije stimulacije, dok isto nije dobiveno u *sham* uvjetu. Nije dobivena značajna razlika u uspjehu na *n-back* zadatku između anodalne i *sham* sesije na grupnim podacima, no dobivena je interakcija stimulacijskog uvjeta i njihovog rasporeda zadavanja – pokazalo se da je kada je anodalna stimulacija primijenjena tek u drugoj sesiji došlo do značajno veće proporcije točnosti na *n-back* zadatku uslijed anodalne u usporedbi sa *sham* stimulacijom. Anodalna stimulacija nije proizvela značajnu razliku između pred- i post-mjerenja inhibicije na inkongruentnim podražajima u Stroopovom zadatku u usporedbi sa *sham* sesijom. Naposljetku, dobivena je značajna interakcija stimulacijskog uvjeta i točke mjerenja na korigiranoj mjeri perceptivne brzine, pri čemu je došlo do većeg pred-post ubrzanja prilikom primjene anodalne stimulacije, u usporedbi sa *sham* uvjetom. Navedeni nalazi upućuju na aktivnu ulogu DLPFC-a u procesima radnog pamćenja i perceptivne brzine te na potencijal atDCS-a u poboljšavanju ovih funkcija.

Ključne riječi: izvršne funkcije; radno pamćenje; inhibicija; transkranijalna stimulacija jednosmjernom strujom (tDCS); dorzolateralni prefrontalni korteks (DLPFC)

EFFECTS OF NON-INVASIVE NEUROSTIMULATION ON SOME ASPECTS OF EXECUTIVE FUNCTIONS

Abstract

Transcranial direct current stimulation is a non-invasive neuromodulation method aiming to improve a range of motor and cognitive functions. This study aimed to determine whether one session of anodal transcranial stimulation applied to the left dorsolateral prefrontal cortex with a direct current of 1.5 mA can improve executive functions, specifically working memory and inhibition. This was achieved by dependently measuring the effect of anodal and sham stimulation on performance improvement in the backward digit span, *n-back* and Stroop tasks on a sample of 21 young adult subjects. A control measure of perceptual speed was also applied to determine the specificity of neuromodulation effects. A significant interaction of the stimulation condition and the measurement point on the performance of the backward digit span task was obtained, whereby subjects demonstrated an increase in the extent of the maximum sequence reproduced backwards after anodal stimulation compared to the measurement before stimulation, while the same was not shown in the sham condition. There was no significant difference in the performance of the *n-back* task between the anodal and sham sessions, but the interaction of the stimulation condition and their assigned schedule was obtained - it was shown that when the anodal stimulation was applied in the second session, a significantly higher proportion of accuracy occurred on the *n-back* task due to anodal compared to sham stimulation. Anodal stimulation did not produce a significant difference between pre- and post-measures of inhibition on incongruent stimuli in the Stroop task compared to the sham session. Finally, there was a significant interaction of stimulation condition and measurement point on the adjusted measure of perceptual speed, indicating that there was a greater pre-post acceleration when anodal stimulation was applied, compared to the sham condition. The findings point to the active role of the DLPFC in the processes of working memory and perceptual speed, and to the potential of atDCS in improving these functions.

Keywords: executive functions; working memory; inhibition; transcranial direct current stimulation (tDCS); dorsolateral prefrontal cortex (DLPFC)

SADRŽAJ

UVOD	1
Radno pamćenje	1
Inhibicija.....	3
Transkranijska stimulacija jednosmjernom strujom (tDCS).....	5
Prethodna istraživanja: efekti tDCS-a na izvršne funkcije.....	8
Utjecaj na radno pamćenje	8
Utjecaj na inhibiciju	10
CILJ I PROBLEMI	11
METODA.....	12
Sudionici.....	12
Mjerni instrumenti.....	13
Postupak	15
Nacrt istraživanja.....	16
REZULTATI.....	17
Radno pamćenje	17
Inhibicija.....	19
Kontrolni zadatak – perceptivna brzina.....	21
RASPRAVA.....	23
Kritički osvrt na metodološke aspekte studije i preporuke za buduća istraživanja.....	27
ZAKLJUČAK	29
LITERATURA.....	31
PRILOZI.....	45
Prilog 1	45
Prilog 2	47
Prilog 3.....	50
Prilog 4	51
Prilog 5	52
Prilog 6.....	52

UVOD

Izvršne funkcije mogu se definirati kao kompleksni procesi kojima pojedinci optimiziraju svoju izvedbu u skladu sa ciljevima, u situaciji koja zahtjeva istovremenu angažiranost većeg broja bazičnih kognitivnih procesa (Baddeley, 1968; Miyake i sur., 2000). Stoga, izvršne funkcije nisu povezane s jednom specifičnom domenom kao što je npr. pamćenje ili jezik, već imaju metakognitivnu, nadgledajuću i kontrolirajuću ulogu (Ward, 2015). U skladu s tim nužne su za svakodnevno funkcioniranje (Diamond, 2013) te nije začuđujuće da je njihova razvijenost povezana s mnogim važnim životnim ishodima, poput uspjeha u školi (Borella i sur., 2011, Cragg i sur., 2017), zadržavanja posla (Bailey i sur., 2007), aspekata psihofizičkog zdravlja (Favieri, 2019; Verdejo-García, 2007) i subjektivne dobrobiti (Toh i sur., 2020). U kontekstu automatskog i kontroliranog ponašanja (Schenider i Shirrin, 1977), nužne su za kontrolirani način procesiranja koji je ograničenog kapaciteta te zahtjeva pozornost i trud, nasuprot automatskog procesiranja koje se temelji na uvjetovanom i refleksnom odgovaranju. Iako je drugom polovicom prošlog stoljeća dosta pisano o izvršnim funkcijama, formalna sistematizacija je uslijedila analizom Miyakea i suradnika (2000). U skladu s latentnim faktorima originalno dobivenima u njihovom istraživanju, generalno je prihvaćeno da postoje tri ključne izvršne funkcije. To su inhibicija (ili inhibitorna kontrola), ažuriranje (ili radno pamćenje) i premještanje (ili kognitivna fleksibilnost, mentalna fleksibilnost, mentalna izmjena setova) (Diamond, 2013). Integrirajući procese ovih osnovnih funkcija, izdižu se izvršne funkcije višeg reda, poput rasuđivanja, rješavanja problema i planiranja (Collins i Koechlin, 2012). U ovom radu, fokus će biti na funkcijama radnog pamćenja i inhibicije.

Radno pamćenje

Radno pamćenje je sustav privremenog spremišta i manipulacije informacija. Za razliku od kratkotrajnog pamćenja koje ima pasivnu ulogu u zadržavanju materijala, radno pamćenje zauzima širu kognitivnu ulogu, aktivno sudjelujući u procesima poput razumijevanja jezika, računanja, usvajanja informacija, rasuđivanja i kreativne produkcije (Diamond, 2013; Ward, 2015). Jedan od utjecajnijih modela kognitivne psihologije predstavljen od strane Baddeleya i Hitcha (1974) koncipira tri komponente radnog pamćenja. Pretpostavlja fonološku petlju koja je jezična komponenta ograničenog kapaciteta i usporedivi vidnoprstorni blok za skiciranje u vidnoj domeni, koji funkcioniraju u podređenoj ulozi komponenti centralnog izvršitelja. Centralni izvršitelj koordinira ove sustave i kogniciju općenito, specificirajući ciljeve, započinjući i završavajući rutinske kognitivne procese (Ward, 2015). Naknadno je modelu

dodan treći podređeni sustav, epizodički međuspremnik, koji je zadužen za održavanje i manipuliranje informacijama iz epizodičkog dugotrajnog pamćenja (Baddeley, 2000).

U kontekstu modela latentnih funkcija izvršnog sustava Miyakea i suradnika (2000), radno pamćenje je visoko povezano s konstruktom ažuriranja (Wilhelm i sur., 2013), koje je definirano kao kontinuirano nadgledanje i kodiranje informacija koje pristižu u pamćenje te istovremeno održavanje relevantnih spoznaja u pamćenju. Diamond (2013) poistovjećuje ove dvije funkcije, koristeći nazive radno pamćenje i ažuriranje kao sinonime. Ovo podupiru i nalazi koji pronalaze grupiranje pod istim faktorom za zadatke koji predstavljaju klasične operacionalizacije radnog pamćenja i ažuriranja (St Clair-Thompson i Gathercole, 2006; Wilhelm i sur., 2013) te oni koji upućuju da su zadatci ažuriranja podjednako dobra operacionalizacija radnog pamćenja (Miyake i Friedman, 2012; Wilhelm i sur., 2013), što ukazuje da je ono što razdvaja ova dva koncepta prije svega njihovo teorijsko porijeklo (Paunović, 2018).

Mjerenje. Uobičajeno, u eksperimentalnim uvjetima radno pamćenje ili ažuriranje najčešće se operacionalizira kao uspjeh na zadacima budi u toku (engl. *keep track*) (St Clair-Thompson i Gathercole, 2006; Yntema, 1963), n-unazad zadacima (engl. *n-back*) (Jaeggi i sur., 2010; Shipstead i sur., 2012), zadacima kompleksnih nizova (engl. *complex span*) (Shipstead i sur., 2012) i pamćenja slova (engl. *letter memory task*) (Morris i Jones, 1990; St Clair-Thompson i Gathercole, 2006). U kliničkoj neuropsihologiji, zadatak ponavljanja bročnanog niza unatrag (engl. *digit span backward task*) je najučestaliji pristup u procjeni kapaciteta radnog pamćenja (Ramsay i Reynolds, 1995) te je uključen u nekoliko baterija psihologijskih testova, poput Wechslerove skale inteligencije za odrasle (engl. *Wechsler Adult Intelligence Scales*, WAIS) (Wechsler, 2008).

Neuralna osnova. U Baddeleyevom modelu radnog pamćenja (1986), pojam centralnog izvršitelja sinoniman je s funkcijom prefrontalnog korteksa. Novija istraživanja ukazuju na širu neuralnu mrežu u osnovi viših kognitivnih funkcija, koja uz prefrontalni korteks naglašavaju važnost posteriornog parijetalnog korteksa (PPC) i aksonskih snopova koji povezuju ova područja (Jung i Haier, 2007). Pretpostavlja se da je glavno spremište informacija u posteriornom korteksu, dok je funkcija prefrontalnog korteksa ove informacije držati aktivnima i/ili manipulirati aktivne informacije u skladu s trenutnim ciljevima (Aben i sur., 2012). Također, neka istraživanja upućuju da navedene neuralne mreže mogu biti različito aktivne u procesima radnog pamćenja ovisno o modalitetu u kojem su prezentirani zadatci radnog

pamćenja. Primjerice, Crottaz-Herbette i suradnici (2004) upućuju na veći odgovor lijevog dorzolateralnog prefrontalnog korteksa (DLPFC) pri slušnoj prezentaciji podražaja te veći odgovor lijevog PPC-a tijekom procesiranja vidno zadanih podražaja.

Same prefrontalne regije također su različito angažirane u procesima radnog pamćenja. Prema Petridesovom (1996, 2000, 2005) hijerarhijskom modelu, ventrolateralni prefrontalni korteks (VLPFC) zadužen je za aktivaciju, vraćanje i zadržavanje informacija koje su spremljene u posteriornom korteksu, dok je DLPFC odgovoran za aktivnu manipulaciju tih informacija. U skladu s navedenim, nalazi Owena i suradnika (1996) sugeriraju na ventrolateralnu aktivaciju prilikom kratkotrajnog zadržavanja prostornih informacija i dorzolateralnu aktivaciju prilikom ažuriranja ovih informacija. Često je najveći naglasak u istraživanjima stavljen upravo na DLPFC, kao regiju čija se uloga u procesima radnog pamćenja očituje u lezijskim (Levy i Goldman-Rakic, 1999; Barbey i sur., 2012), neurofiziološkim (Funahashi i sur., 1989), psihopatološkim (Balderston i sur., 2020) studijama i studijama funkcionalnog neurooslikavanja (Carlson i sur., 1998; Owen i sur., 2005). Na temelju navedenog, moguće je zaključiti da je DLPFC centralna komponenta neuralnih sustava u pozadini manipulacije verbalnog i prostornog znanja (Barbey i sur., 2012).

Inhibicija

Inhibicija pojedincu omogućuje supresiju irelevantnih i interferirajućih podražaja te poriva (Garavan i sur., 1999). Bez inhibicije, ponašanjem bi vladali impulzivni i uvjetovani odgovori (Diamond, 2013). Inhibicija ima bogatu istraživačku povijest koja konceptu pristupa iz različitih perspektiva, zbog čega važni radovi u području uključuju mnoge termine, poput inhibitorne ili kognitivne kontrole, izvršne inhibicije, inhibicije ili selekcije odgovora i mnoge druge (Nigg, 2017). U skladu s velikim brojem termina i širokim implikacijama inhibicije na sveukupno funkcioniranje pojedinca, istraživači ju često ne konceptualiziraju kao jedinstven konstrukt, već kao obitelj povezanih funkcija (Dempster, 1993; Harnishfeger, 1995; Nigg, 2000) te pozivaju na njeno točnije određenje prilikom njenog istraživanja (Friedman i Miyake, 2004). Primjerice, Nigg (2000) izdvaja kontrolu interferencije (supresija distraktora i interferencije kojoj je izvor u načinu davanja odgovora), kognitivnu (suzbijanje irelevantnih sadržaja u radnom pamćenju), ponašajnu (suzbijanje dominantnih odgovora) te okulomotornu inhibiciju (sprječavanje refleksnih očnih pokreta). Barkley (1997) ne razdvaja tipove inhibicije, već opisuje tri procesa inhibicije: inhibicija inicijalnog prepotentnog odgovora, zaustavljanje aktivnog odgovora ili odgađanje odgovaranja te ograničavanje interferencije ili

distraktibilnosti. Diamond (2013) funkcioniranje inhibicije objašnjava na perceptivnoj, kognitivnoj i ponašajnoj razini. Na perceptivnoj razini, javlja se kontrola interferencije koja pojedincu omogućava selektivno usmjeravanje i održavanje fokusa na podražajima od interesa, uz potiskivanje usmjeravanja pažnje na druge podražaje. Na kognitivnoj razini, inhibicija podrazumijeva potiskivanje dominantne mentalne reprezentacije, što može uključivati namjerno zaboravljanje (Anderson i Levy, 2009), pružanje otpora proaktivnoj interferenciji ranije usvojenih informacija i retroaktivnoj interferenciji kasnije prisutnih podražaja. Naposljetku, samokontrola je onaj aspekt inhibicije koji uključuje kontrolu nad vlastitim ponašanjem. S jedne se strane očituje u odolijevanju iskušenjima, a s druge strane u disciplini potrebnoj za ustrajanje u određenim zadacima i njihovim završavanjem, unatoč porivu za odustajanjem i promjenom aktivnosti (Diamond, 2013).

Mjerenje. Prvi pokušaj mjerenja izvršnih funkcija očitovao se u primjeni Stroopovog testa koji je od svog prvog pojavljivanja (1935) dobio razne verzije, poput prostornog (Hilbert i sur., 2014) i numeričkog Stroopovog zadatka (Henik i Tzelgov, 1982). Ovaj zadatak od ispitanika zahtjeva brzo i selektivno reagiranje na relevantne karakteristike podražaja, prilikom čega ispitanik mora suzbiti interferenciju koja može proizlaziti iz obilježja podražaja ili načina davanja odgovora. Uz Stroopov zadatak, ovakav tip zadatka inhibicije nalazimo i u Eriksen Flanker zadatku (Eriksen i Eriksen, 1974), zadatku podudaranja oblika (engl. *shape matching task*) (Knorr i Neubauer, 1996) i Simonovom zadatku (Hommel, 2011). Drugi tip zadataka koji se često koristi u procjeni ponašajne inhibicije podrazumijeva paradigmu u kojoj se ispitanik treba suzdržati od davanja automatskog motornog odgovora. Zadatci ovog tipa uključuju zadatak antisakada (engl. *anti-sakade task*) (Munoz i Everling, 2004), stop-signal zadatke (Verbruggen i Logan, 2008), kreni-stani zadatke (engl. *go-no go task*) (Gomez i sur., 2007) i zadatke odgođene gratifikacije (Sethi i sur., 2000).

Neuralne osnove. Najveći značaj za funkcije inhibicije imaju frontalne regije korteksa (Diamond, 2013) - primjerice, ispitanici s frontalnim lezijama postižu značajno lošije rezultate na Stroopovom zadatku u usporedbi s kontrolnom skupinom (Stuss i sur., 2001; Vendrell i sur., 1995). Osim frontalnih regija, studije ukazuju na parijetalnu aktivaciju u procesima inhibicije (Garavan i sur., 1999; McNab i sur., 2008) koju neki autori interpretiraju kao aktivaciju skladišta reprezentacija podražaja i odgovarajućih reakcija, slično ulozi PPC-a u radnom pamćenju (Hester i sur., 2004).

U studijama neurooslikavanja, najrobusniji nalaz aktivacije tijekom izvedbe zadataka inhibicije pronalazi se u desnom inferiornom frontalnom girusu (engl. *right inferior frontal gyrus*, RIFG) (Bunge i sur., 2002; Hampshire i sur., 2010), koji je u literaturi identificiran kao centralna struktura inhibitorne kontrole (Aron i sur., 2004, 2014; Chambers i sur., 2006). Aron i suradnici (2004, 2014) opisuju neuralnu petlju procesa inhibicije – uloga DLPFC-a očituje se nadgledanju okoline u slučaju potrebe za stop odgovorom, od kojeg se ove informacije prenose RIFG-u koji se ponaša kao „kočnica“ koja zaustavlja akciju. Točnije, nakon dobivanja informacija od DLPFC-a, RIFG modulira aktivnost u pre-suplementarnom motornom korteksu (engl. *pre-supplementary motor cortex*, pre-SMA) te putem subtalamičke jezgre motornom korteksu signalizira zaustavljanje pokrenute naredbe (Depue i sur., 2016). Aktivacija DLPFC-a povezana je s nizom inhibitornih zadataka (Bellgrove i sur., 2004; Langenecker i Nielson, 2003; Sylvester i sur., 2003). Neki autori viđenja su da je aktivaciju DLPFC-a tijekom izvođenja zadataka kojima se tipično operacionalizira inhibicija u potpunosti moguće atribuirati zahtjevima radnog pamćenja (Mostofsky i suradnici, 2003). Ipak, određeni nalazi ukazuju na ulogu lijevog DLPFC-a u direktnoj implementaciji kontrole u Stroopovom zadatku (MacDonald i suradnici, 2000). Novija meta-analiza Huanga i suradnika (2020) kojoj je fokus bio na vjerojatnosti aktivacije određenih regija tijekom rješavanja Stroopovog zadatka daje uvid u neuralne osnove inhibicije, upućujući na primarni značaj cingulatnog korteksa, lijevog DLPFC-a te bilateralnog inferiornog girusa.

Transkranijalna stimulacija jednosmjernom strujom (tDCS)

Područje stimulacije mozga datira od vremena otkrića električnih fenomena, pri čemu je upravo odgovor životinja i ljudi na električne šokove jedan od najranijih dokaza za postojanje elektriciteta (Galvani i Aldini, 1792; Volta, 1800; svi prema Gebodh i sur., 2019). Tehnološki napredak znanosti facilitirao je napredak u razumijevanju fizioloških i patoloških neuralnih dinamika, koje reprezentiraju funkcionalne mete za stimulaciju mozga. Područje moderne stimulacije mozga razgranalo se i napredovalo kroz mnoge kategorije uređaja i tehnika, pri čemu njihovo zajedničko obilježje ostaje izmjena moždane funkcije ili specifične funkcije živčanog sustava putem elektriciteta ili magnetizma (Gebodh i sur., 2019). Jedna od tehnika koja je posljednjeg desetljeća široko rasprostranjena u eksperimentalnom, ali i kliničkom kontekstu, zbog svoje jednostavne primjene i ekonomičnosti te mogućnosti da proizvede značajan efekt na neuralnu plastičnost bez značajnih nuspojava je tDCS (Fregni i sur., 2015). Ovo je neinvazivna metoda stimulacije, odnosno podrazumijeva vanjsko postavljanje elektroda te je transkranijalna, što znači da je barem jedna od stimulacijskih elektroda postavljena na

područje glave pri čemu se strujom kroz lubanju ciljaju specifične kortikalne mete (Gebodh i sur., 2019). Upotrebom tDCS-a demonstrirani su mnogi pozitivni efekti u raznim neurološkim i psihijatrijskim stanjima. Neki od značajnih nalaza uključuju ubrzani oporavak od moždanog udara (Schlaug i sur., 2008), poboljšanje na neuropsihijatrijskim skalama frontotemporalne demencije (Ferrucci i sur., 2018) te smanjenje anomalije kod Alzheimerove i frontotemporalne demencije (Roncero i sur., 2017), smanjenje diskinezije u Parkinsonovoj bolesti (Ferrucci i sur., 2016), smanjenje kronične boli (Pinto i sur., 2018), ublažavanje depresivnih (Palm i sur., 2016) i anksioznih stanja (D'Urso i sur., 2018) te smanjenje halucinacija u shizofreniji (Brunelin i sur., 2012). U eksperimentalnim nacrtima, čest je nalaz poboljšanja šireg spektra motornih i kognitivnih funkcija kod zdravih ispitanika uslijed primjene tDCS-a, ovisno o odgovarajućoj montaži elektroda (Jacobson i sur., 2012). U navedenim provjerama, uspjeh tDCS-a u poboljšanju ciljnih ponašajnih ishoda se promatra nasuprot tzv. *sham* (lažnog) uvjeta u kojemu se simulira stvarna stimulacija, što omogućuje kontrolu placebo efekta te jasniji uvid u stvarne efekte stimulacije.

Fiziološke osnove tehnike. tDCS djeluje emitiranjem slabe jednosmjerne električne struje između dvije ili više elektroda koje formiraju električno polje. Najučestalija je bipolarna montaža tDCS-a, koja se sastoji od jedne pozitivne (anoda) i jedne negativne (katoda) elektrode (Moliadze i sur., 2010). Utjecaj tDCS-a na moždane funkcije često se promatra kroz prizmu anodalne (atDCS) ili katodalne (ctDCS) stimulacije, koja je definirana ovisno o polaritetu elektrode koja je u određenom ispitivanju postavljena iznad ciljane moždane regije. Efekti anodalne i katodalne stimulacije trebali bi biti suprotni, od stanične do ponašajne razine, iako meta-analički podatci ukazuju na nižu konzistentnost katodalnih ponašajnih efekata (Jacobson i sur., 2012). Ključni mehanizam stimulacije je u oba slučaja mijenjanje spremnosti neurona za generiranje akcijskog potencijala, što tDCS kvalitativno razlikuje od nekih drugih metoda neinvazivne neuromodulacije, poput TMS-a ili elektrokonvulzivne terapije koje induciraju akcijske potencijale. Drugim riječima, tDCS-om se utječe na spontani membranski potencijal mijenjajući raspored iona unutar i izvan neurona, posljedično mijenjajući potencijal mirovanja neuronske membrane za nekoliko milivolti. Na taj način anodalna stimulacija utječe na približavanje pragu depolarizacije, odnosno povećanjem ekscitabilnosti dovodi do češćeg okidanja neurona stimulirane regije, dok katodalna stimulacija utječe na udaljšavanje od praga depolarizacije, odnosno smanjenjem ekscitabilnosti vodi sniženom okidanju neurona stimulirane regije (Nitsche i sur., 2008; Stagg i Nitsche, 2011).

Uz kratkotrajne efekte tDCS-a, koji su često istraživani i pružaju uvide u kontekstu lokalizacije određenih funkcija, vrijedi razmatrati dugotrajne efekte koji su nužni za korištenje tDCS-a u svrhe kliničke neurorehabilitacije (Block i sur., 2012). Na životinjskim (Bindman i sur., 1962; Gartside, 1968) i ljudskim (Nitsche i Paulus, 2001) modelima potvrđeno je da dovoljno dugotrajna stimulacija može imati efekte na neuralnu ekscitabilnost u trajanju i do pet sati nakon tretmana. Moguće je da primjena tDCS-a potiče neuroplastičnost koja omogućuje produkciju dugotrajnih efekata. U skladu s ovim su pozitivni efekti atDCS-a u čijoj podlozi stoji modulacija glutamatergičnog sustava (Liebetanz i sur., 2002) za koju se pokazalo da može voditi otpuštanju moždanog neurotrofnog čimbenika (engl. *brain-derived neurotrophic factor*, BDNF) (Clarkson i sur., 2010). BDNF je ključna molekula u plastičnim promjenama koje su povezane s učenjem i pamćenjem te su promjene u BDNF ekspresiji, posebno u strukturama važnima za procese pamćenja, povezane s normalnim i patološkim starenjem, kao i s pojavom psihijatrijskih stanja (Miranda i sur., 2019). Fritsch i suradnici (2010) ukazuju na uzročno-posljedičnu vezu između primjene tDCS-a i promoviranja sinaptičke plastičnosti koja je ovisna o ekspresiji BDNF-a. Stoga, promjene u stopi otpuštanja akcijskih potencijala uslijed primjene tDCS-a se mogu povezati s dugotrajnom transformacijom snage sinaptičkih veza (Islam i sur., 1995), pri čemu tDCS može imati efekte u vidu dugotrajne potencijacije (engl. *long term potentiation* – LTP) ili dugotrajne depresije, ovisno o polaritetu stimulacije (engl. *long term depression* – LTD) (Stagg i Nitsche, 2011).

Parametri stimulacije. Osim polariteta, na efekte stimulacije utječu i drugi parametri, poput valnog oblika i trajanja stimulacije, gustoće struje koja je definirana jačinom struje i veličinom elektroda (Nitsche i sur., 2008), oblika, broja i pozicioniranja elektroda (Gebodh i sur., 2019). Ključna razlika između tDCS-a i drugih forma transkranijalne električne stimulacije leži u valnom obliku koji se isporučuje tijekom moždane stimulacije, pri čemu tDCS isporučivanjem struje konstantne jačine tijekom ukupnog trajanja stimulacije omogućuje formiranje homogenog električnog polja. Osim ove forme stimulacije, često su korištene i srodne tehnike čiji protokoli podrazumijevaju osciliranje u određenoj frekvenciji tijekom tretmana (Gebodh i sur., 2019; Woods i sur., 2016). U okviru tDCS-a, uspostavljeni su standardi sigurne stimulacije, u skladu s kojima je propisana maksimalna jačina struje od 2.5 mA koja je distribuirana elektrodama koje minimiziraju reakcije na koži, što uobičajeno uključuje njihovo pozicioniranje unutar spužvica koje su namočene u fiziološkoj otopini koja služi kao elektrolit te primjenu u trajanju od 20 do 60 minuta, maksimalno dvaput dnevno (Fregni i sur., 2016; Gebodh i sur., 2019). Najčešći parametri korišteni u istraživanjima podrazumijevaju trajanje

tretmana od 10 do 30 minuta, površinu elektroda od 25 do 35 cm² te jačinu struje od 1 do 2 mA (Woods i sur., 2016). Navedeni parametri značajno variraju između pojedinih tDCS studija, a doprinosi ovih varijacija u istraživanim efektima još nisu podrobno utvrđeni.

Prethodna istraživanja: efekti tDCS-a na izvršne funkcije

Izvršne funkcije opadaju pri starenju (Bopp i Verhaeghen, 2005; Clarys i sur., 2009; Fiore i sur., 2012, Fournet i sur., 2012) i odstupanju od optimalnog funkcioniranja, poput povišene razine psihičkog stresa (Shields i sur., 2016), promjena raspoloženja (Mitchell i Phillips, 2007) i umora (Skurvydas i sur., 2021). Također, zabilježeno je njihovo značajno opadanje u neurološkim (Filley, 2000) i psihijatrijskim stanjima (Malloy-Diniz i sur., 2017) zbog čega predstavljaju jedan od mnogih izazova neurorehabilitacije. Primjena tDCS tehnologije otvorila je mogućnost provjere lokalizacije pojedinih izvršnih funkcija te pokušaje poboljšanja izvršnih funkcija kod zdravih ljudi, kao i rehabilitacije izvršnih funkcija u neurološkim i psihijatrijskim stanjima. Uslijedila su razna istraživanja koja ispituju utjecaj primjene tDCS-a na izvršne funkcije, koja se značajno razlikuju po istraživačkom dizajnu, ispitivanoj populaciji, parametrima stimulacije i načinima mjerenja izvršnih funkcija (de Boer i sur., 2021; Brunoni i Vanderhasselt, 2014; Friebs i sur., 2021; Hill i sur., 2016, Mancuso i sur., 2016; Schroeder i sur., 2020; Wischniewski i sur., 2021). Provjeri navedenih efekata posvećen je i ovaj rad, koji nastoji potvrditi ulogu DLPFC-a u aktivaciji povezanih izvršnih funkcija radnog pamćenja i inhibicije, kao i ispitati mogućnost poboljšanja ovih funkcija kod zdravih ispitanika. S obzirom na istraživački problem rada, pri pregledu efekata tDCS-a u nastavku će naglasak biti na istraživanjima zdrave populacije i efektima stimulacije nakon jedne sesije atDCS-a.

Utjecaj na radno pamćenje

U pokušajima poboljšanja izvedbe na zadacima radnog pamćenja tDCS-om, prethodne su se studije fokusirale na frontalne regije mozga, primarno DLPFC. Mnoge su pojedinačne studije pokazale poboljšanje radnog pamćenja nakon jedne sesije anodalnog tDCS-a (a-tDCS) nad lijevom DLPFC-om (Baumert i sur., 2020; Fregni i sur., 2005; Friebs i Frings, 2019; Jeon i Han, 2012; Keeser i sur., 2011; Keshvari i sur., 2013; Ramaraju i sur., 2020; Zaehle i sur., 2011). Neke studije ukazuju na usporedne efekte stimulacije nad desnim DLPFC-om (Giglia i sur., 2014; Jeon i Han, 2012; Wu i sur., 2014). Ipak, mnoge studije nisu uspjele reproducirati navedeni efekt (Friebs i Frings, 2019; Gill i sur., 2015; Hill i sur., 2017, 2018; Hoy i sur., 2013; Lally i sur., 2013; Mylius i sur., 2012; Nilsson i sur., 2015; Paunović, 2018; Sellers i sur., 2015).

Moguće je uočiti da su navedena istraživanja uslijed kompleksnosti izvođenja i trajanja eksperimentalne procedure uglavnom provedena na malim uzorcima (<20) zbog čega su zasnovana na nižoj statističkoj snazi testiranja, što može voditi maskiranju efekata tDCS-a uslijed varijabilnosti neprovjerenih utjecaja ostalih varijabli ili registriranju slučajnih efekata zbog osjetljivosti na ekstremne rezultate (Berryhill, 2014). Meta-analitički podatci upućuju na pozitivne efekte tDCS-a za zdravu populaciju na Sternbergovom zadatku, *n-back* zadatku i zadacima broječnih nizova u njihovoj *offline* izvedbi (nakon stimulacije), ne i u *online* izvedbi (Hill i sur., 2016). Uspjeh u *offline* izvedbi potvrđuju i meta-analitički podatci Brunonia i Vanderhasselt (2014), koji upućuju na konzistentnost efekata poboljšanja brzine vremena reakcije, postotka točnih odgovora i smanjenja postotka grešaka za zadatke radnog pamćenja. Wischniewski i suradnici (2021) zauzimaju nešto drugačiju istraživačku perspektivu, povezujući veličine ponašajnih efekata sa snagom primjenjivanog električnog polja, kako bi identificirali regije mozga koje se nalaze u podlozi najvećeg poboljšanja radnog pamćenja. Na temelju 69 studija stimulacije lijevog prefrontalog korteksa, u skladu s dosadašnjim nalazima, zaključuju o najvećoj ulozi nižeg DLPFC-a (Brodmannovo područje 45/47), čija stimulacija producira srednju veličinu efekta na radno pamćenje. Do različitih zaključaka dolazi meta-analiza Mancuso i suradnika (2016) koja upućuje na malen značajan efekt stimulacije DLPFC-a na zadatke radnog pamćenja, koji je sveden na razinu neznačajnosti nakon korekcije pristranosti objavljivanja u korist radova u kojima su detektirani statistički značajni efekti. Autori potencijal tDCS-a uviđaju u kombinaciji s kognitivnim treningom, upućujući na povoljan efekt navedene kombinacije na izvedbu zadataka radnog pamćenja. Ipak, studije korištene u ovoj meta-analizi su naknadno analizirane metodom testiranja distribucije *p*-vrijednosti koja pretpostavlja da će se za stvarne efekte razlikovati učestalost prijavljenih *p*-vrijednosti, što bi trebalo producirati asimetričnu distribuciju u smjeru manjih *p*-vrijednosti (.00 i .01). Ova studija upućuje na njihovu nisku dokaznu vrijednost i statističku snagu (Medina i Cason, 2017). Također, meta-analitički podatci de Boer i suradnika (2021) upućuju na izostanak konzistentnosti efekata tDCS-a na učinak na zadacima radnog pamćenja.

Razlike u navedenim meta-analizama mogu proizlaziti iz mnogih i različitih kriterija za uključivanje studija u meta-analizu te oslikavaju nekonzistentnost područja. Postoje mnoge razlike u nacrtima navedenih studija, uključujući primjenu ponovljenog ili nezavisnog nacrta, parametre stimulacije te primijenjene operacionalizacije funkcija. Imburgio i Orr (2018) u svojoj meta-analizi pružaju uvid u neke od metodoloških parametara u kontekstu radnog pamćenja - upućuju na značajni efekt anodalne stimulacije na zadacima ažuriranja koji je

moderiran položajem i veličinom korištenih elektroda, pružajući potporu nacrtima koji uključuju montažu manje anode i ekstrakranijalnu montažu katode. Jedan od parametara čiji je utjecaj još uvijek nerazjašnjen je jačina primijenjene struje. Pojedine studije ne ukazuju na postojanje razlike u poboljšanju radnog pamćenja (Nikolin i sur., 2017) ili ukazuju na poboljšanje u nekim aspektima – pr. u brzini reakcije u zadacima radnog pamćenja pri jačini stimulacije od 1 mA, u usporedbi s 2 mA ili *sham* uvjetom, što se očituje i u neurofiziološkim parametrima (npr. promjena P3 amplitude mjerene EEG-om) (Hoy i sur., 2013). Osim navedenih varirajućih parametara, u ponovljenim je nacrtima primjenjivan različit razmak između aktivne i *sham* stimulacije, varirajući od sat vremena do dva tjedna razmaka. Meta-regresija Dedonckera i sur. (2016) ne upućuje na postojanje značajnog efekta razmaka sesija na poboljšanje radnog pamćenja. Također, neke studije tijekom stimulacije ne uključuju kognitivnu aktivnost ispitanika, a neke ispitanike angažiraju u različitim kognitivnim zadacima. Studija Andrews i sur. (2011) upućuje na veće poboljšanje na zadatku ponavljanja niza brojeva uslijed stimulacije koja je uključivala zadatke radnog pamćenja, u usporedbi s mirujućim tDCS-om i *sham* uvjetom u kojem su ispitanici rješavali iste zadatke. Moguće je zaključiti da su potrebni dodatni dokazi o efektivnosti tDCS-a na radno pamćenje s boljom kontrolom raznih parametara stimulacije, specifično nad DLPFC-om, s obzirom na to da provedene studije pružaju obećavajuće, ali nekonzistentne nalaze.

Utjecaj na inhibiciju

Efekti tDCS-a na funkciju inhibicije rjeđe su ispitivani u usporedbi s radnim pamćenjem te su stimulacijske zone u navedenim istraživanjima heterogenije. Uspoređujući vrste neinvazivne neuromodulacije i njihov efekt na tri osnovne izvršne funkcije (Miyake, 2000), meta-analiza de Boer i suradnika (2021) izvještava o postojanju efekta poboljšanja uslijed tDCS-a samo kod faktora inhibicije te upućuje na važnost vrste zadatka kojim se inhibicija ispituje, izvještavajući o malim pozitivnim efektima u učinku samo na zadacima Stop Signal i Kreni-stani. Osim vrste zadatka, koji može biti zasićen različitim procesima inhibicije (Barkley, 1997), od ključne važnosti za teorijske i praktične zaključke je stimulirana regija mozga. Najčešće stimulirana regija je RIFG, iza koje slijede desni i lijevi DLPFC. Meta-analitički podaci upućuju na poboljšanje izvedbe na Stop-Signal zadatku uslijed anodalne stimulacije desnog prefrontalnog korteksa (Friebs i sur., 2021) te specifičnije, na konzistentnost efekata stimulacije RIFG-a na izvedbu u zadacima Stop-signal i Kreni-stani pri čemu se izvedba na Stop-signal zadatku čini podložnija efektu stimulacije (Schroeder i sur., 2020). Ipak, nije moguće jednoznačno zaključiti o postojanju ovog efekta, ili ga generalizirati na opći koncept

inhibicije, s obzirom na pojedinačne nalaze koji ne upućuju na postojanje navedenog efekta (Perrotta i sur., 2021; Thunberg i sur., 2020). Meta-analiza Schroedera i sur. (2020) također izvještava o zanemarivoj ulozi desnog DLPFC-a, upućujući na nepostojanje efekta poboljšanja inhibicije. Ipak, Perrotta i sur. (2021) u svom istraživanju ukazuju kako bilateralna stimulacija DLPFC-a smanjuje broj grešaka u klasičnom Stroopovom zadatku. Također, pojedinačni nalazi ukazuju kako je stimulacija samo lijevog DLPFC-a efikasna u poboljšanju izvedbe na Stroopovom i Erikson Flanker zadatku (Angius i sur., 2019; Gbadeyan i sur., 2016; Jeon i Han, 2012; Dubreuil-Vall i sur., 2019; Karuza i sur., 2016; Loftus i sur., 2015), iako postoje i oni nalazi koji ne potvrđuju ovaj odnos (Baumert i sur., 2020; Živanović, 2019). Također, Dubreuil-Vall i suradnici (2019) uz ponašajne efekte ispituju i utjecaj tDCS-a nad lijevim DLPFC-om na neurofiziološke odgovore, bilježeći povećanje u P3 amplitudi i sniženje u N2 amplitudi, što autori tumače moduliranjem procesa selektivne pažnje, nadgledanja konflikta i inhibicije odgovora. Zanimljivi nalazi proizlaze i iz studija pojedinaca s narušenim izvršnim funkcijama. Primjerice, meta-analitički podatci temeljeni na 11 studija koje su ispitivale efekt tDCS-a na izvršne funkcije pojedinaca s poremećajem pozornosti s hiperaktivnošću (engl. *attention deficit hyperactivity disorder*, ADHD) upućuju na postojanje efekta poboljšanja inhibicije uslijed tDCS-a lijevog DLPFC-a, no ne i RIGF-a (Salehinejad i sur., 2019). Zaključno, s obzirom na to da je ovo jedno od novijih područja istraživanja efekata tDCS-a, potrebna su sustavna ispitivanja stimulacije područja od interesa i potencijalnih moderatora ovog odnosa, kao i njihova sinteza u formi meta-analitičkih istraživanja.

CILJ I PROBLEMI

Cilj ovog istraživanja bio je utvrditi utjecaj jedne sesije anodalne transkranijalne stimulacije lijevog DLPFC-a jednosmjernom strujom od 1.5 mA na izvedbu u zadacima radnog pamćenja i zadatku inhibicije, pri čemu je očekivano poboljšanje izvedbe na navedenim zadacima. Sukladno cilju istraživanja, postavljeni su sljedeći problemi:

P1: Utvrditi utjecaj sesije atDCS-a nad lijevim DLPFC-om na izvršnu funkciju radnog pamćenja.

H1a: Očekuje se statistički značajna interakcija stimulacije i točke mjerenja na izvedbu usmenog *backward digit span* zadatka, pri čemu će ispitanici u post-testu nakon anodalne stimulacije u usporedbi s pred-testom moći ponoviti unatrag značajno dulji niz brojeva, dok do navedenog poboljšanja neće doći nakon *sham* stimulacije. Također,

očekuje se da će ispitanici moći ponoviti unatrag značajno dulji niz brojeva nakon anodalne stimulacije u odnosu na mjerenje nakon *sham* stimulacije.

H1b: Očekuje se statistički značajna razlika u izvedbi verbalnog *n-back* zadatka nakon primjene anodalne i *sham* stimulacije, pri čemu će proporcija točnih odgovora i brzina reakcije na točne odgovore biti veće nakon anodalne u usporedbi sa *sham* stimulacijom.

P2: Utvrditi utjecaj sesije atDCS-a nad lijevim DLPFC-om na izvršnu funkciju inhibicije.

H2: Očekuje se statistički značajna interakcija stimulacije i točke mjerenja na izvedbu u Stroopovom zadatku, pri čemu će ispitanici u post-testu nakon anodalne stimulacije u usporedbi s pred-testom imati značajno veću proporciju točnih odgovora za inkongruentne podražaje i manju razliku između neutralnih i inkongruentnih podražaja za prosječno vrijeme reakcije (engl. *reaction time*, RT) za točne odgovore, dok do navedenog poboljšanja neće doći nakon *sham* stimulacije. Također, očekuje se da će ispitanici imati značajno veću proporciju točnih odgovora i niži diferencijalni rezultat RT nakon anodalne stimulacije u odnosu na mjerenje nakon *sham* stimulacije.

P3: Utvrditi specifičnost neuromodulacijskih efekata na izvršne funkcije uslijed sesije atDCS-a nad lijevim DLPFC-om.

H3: Ne očekuje se statistički značajna interakcija stimulacije i točke mjerenja na izvedbu u kontrolnom zadatku perceptivne brzine, odnosno u broju prekriženih ciljnih podražaja i vremenu potrebnom za izvršavanje zadatka.

METODA

Sudionici

Neophodna veličina uzorka izračunata je pomoću programa G*Power (Erdfelder i sur., 2009) s postavkama za nacrt s ponovljenim mjerenjima s dva faktora na dvije razine te veličinom efekta $\eta^2 = .15$ po uzoru na efekte u sličnim tDCS istraživanjima. U skladu s rezultatima analize, u istraživanju je sudjelovao 21 sudionik u dobi od 19 do 28 godina ($M = 22.27$, $SD = 2.13$), 11 žena i 10 muškaraca. Svi su bili studenti te je 10 osoba imalo završen srednjoškolski, a 11 osoba preddiplomski stupanj obrazovanja. Svi su ispitanici istraživanju pristupili dobrovoljno, dok su studenti psihologije za svoje sudjelovanje dobivali eksperimentalne sate. Prilikom regrutacije ispitanika isključeni su oni s kontraindikacijama za primjenu tDCS-a, u skladu s propisanim kriterijima. Ove kontraindikacije uključuju povijest

epileptičnog napada, obiteljsku anamnezu epilepsije, povijest povrede glave koja je dovela do gubitka svijesti ili je uključivala daljnji tretman (uključujući operaciju mozga), migrene, metalne objekte u predjelu glave, ugrađene tjelesne uređaje (npr. *pacemaker*, stimulator mozga), kožna oboljenja na području glave, oštećenja ili rane koje još nisu u potpunosti zarasle, postojanje medicinske dijagnoze koja se odnosi na psihološko ili neurološko stanje, trenutno uzimanje psihofarmakoterapije te trudnoću (Fregni i sur., 2015; Nitsche i sur., 2008). Uz navedeno, niti jedan ispitanik dosad nije imao iskustva s tDCS-om ili TMS-om te ako su imali iskustva s drugom sličnom tehnikom stimulacije mozga, nitko na nju nije imao negativnu reakciju. Zbog lateralizacije ciljanih funkcija, u istraživanje su uključeni samo desnoruki ispitanici.

Mjerni instrumenti

U istraživanju je korišten program OpenSesame 3.3.11. (Mathôt i sur., 2012), besplatan alat koji omogućava provođenje eksperimenta i prikupljanje podataka putem računala. Za provođenje eksperimenta korišteno je stolno računalo s monitorom dijagonale 60 cm. Ispitanici su u programu rješavali tri zadatka koja su ispitivala procese radnog pamćenja i inhibicije. Uslijed tehničkih poteškoća s registracijom odgovora ispitanika, nisu prikupljeni odgovori prostornog *n-back* zadatka, zbog čega navedeni zadatak nije opisan ili analiziran.

Verbalni n-back zadatak. Zadatak ispitanika bio je pratiti niz slova koja se izlažu na centralnom dijelu ekrana i reagirati pritiskom na razmaknicu svaki put kad se na ekranu pojavi slovo koje je prikazano prije tri izlaganja (slovo meta). U slučaju kada prikazano slovo nije meta ispitanik ne treba reagirati. Procedura zadavanja podražaja uključuje sukcesivno izlaganje crnih suglasnika na računalnom ekranu bijele pozadine u intervalu od 1000ms s međupodražajnim intervalom od 500ms. Prvo se zadaje blok za vježbu koji ne ulazi u analizu rezultata, a tijekom kojeg ispitanici dobivaju povratnu informaciju o točnosti danog odgovora. Daljnja se procedura sastoji od izlaganja pet blokova po 32 suglasnika, sveukupno 160 slova tijekom kojih ispitanici ne dobivaju povratnu informaciju o točnosti svojih odgovora. Nakon svakog bloka slijedi pauza koju ispitanik može prekinuti pritiskom na bilo koju tipku na tipkovnici. Rezultat ispitanika podrazumijeva proporciju točnih odgovora i prosječnu brzinu reakcije na točne odgovore. Ovaj je zadatak primijenjen samo u post-testu.

Stroopov zadatak. Korišten je Stroopov zadatak (Stroop, 1935) adaptiran za računalno zadavanje. Zadatak ispitanika bio je pritiskom odgovarajuće tipke na tipkovnici čim brže i točnije odgovoriti koja je boja prikazanog podražaja. Pritom se zadaju tri kategorije podražaja:

neutralni, kongruentni i inkongruentni. Neutralni podražaj podrazumijeva niz zvjezdica u određenoj boji (pr. ***** u plavoj boji), kongruentni podražaj se sastoji od riječi koja označava neku boju te koja je napisana tom istom bojom (pr. riječ plavo u plavoj boji), dok inkongruentni podražaj predstavlja riječ koja označava neku boju koja je napisana drugom bojom (pr. riječ plavo u crvenoj boji). U ovom su zadatku varirane četiri boje (plava, crvena, žuta i zelena) na koje je ispitanik mogao odgovarati pritiskom četiri različite tipke. Procedura je započela blokom za vježbu s 15 podražaja koji ne ulaze u analizu podataka, nakon čega je uslijedio eksperimentalni blok koji se sastojao od 112 podražaja koji su prikazani na sredini računalnog ekrana bijele pozadine (48 neutralnih, 48 inkongruentnih i 16 kongruentnih). Legenda koja je objašnjavala koja tipka predstavlja koju boju je cijelo vrijeme bila prisutna pri dnu ekrana. U slučaju pogreške, ispitanik je dobio drugu priliku za rješavanje istog zadatka. Također, ako je ispitaniku za reakciju trebalo dulje od 3000 ms, na ekranu bi se pojavila obavijest koja ga je upućivala na brže reagiranje. Mjera inhibicije je proporcija točnih odgovora za inkongruentne podražaje i diferencijalni rezultat koji se dobije oduzimanjem prosječnog vremena reakcije za neutralne podražaje od prosječnog vremena reakcije za inkongruentne podražaje. Ovaj je rezultat uobičajeno pozitivan te veća razlika ukazuje na manju sposobnost inhibicije. Ovaj je zadatak primijenjen u pred- i post-testu.

Osim računalnih zadataka, primijenjen je usmeni *backward digit span* zadatak te kontrolni zadatak perceptivne brzine. Ovi su zadatci konstruirani za potrebe istraživanja, pri čemu se u oba slučaja forma A uvijek primjenjivala u pred-testu, a forma B u post-testu.

Usmeni backward digit span zadatak. Ispitaniku se usmeno zadaje brojčani niz kojeg treba ponoviti unazad. Pritom su brojevi u brojčanom nizu odabrani po slučaju, a započinje se s tri broja u nizu. Primjerice, ispitaniku se usmeno kaže niz *pet dva devet*, na što on/a treba naglas reći *devet dva pet*. Ispitaniku se dvaput zadaje niz iste duljine, nakon čega se nizovi produljuju za broj više (u ovom slučaju četiri broja). Uputa je ista u svakom bloku. Zadatak se ponavlja dok ispitanik dvaput ne pogriješi na nizu iste duljine. Rezultat je broj brojeva u najduljem nizu kojeg je ispitanik uspješno reproducirao unazad.

Zadatak perceptivne brzine. Zbog provjere specifičnosti efekata neuromodulacije na ispitivane funkcije zadan je i sljedeći kontrolni zadatak, za kojeg se očekuje da modulacija neće imati efekta na izvedbu ispitanika. U zadatku perceptivne brzine, ispitanik dobiva papir na kojem se nalazi 14 redova u kojima je nasumično poredano 15 ponavljajućih likova. Prvi prikazani lik je istaknut pravokutnikom te je zadatak ispitanika prekrižiti samo taj lik čim brže

i točnije. Konkretno, ispitanika se upućuje da ciljni lik kojeg treba prekrižiti mora biti identičan po izgledu i orijentaciji te da je vrijeme potrebno za obavljanje zadatka mjereno. Ciljni se oblik kroz test ponavlja 16 puta. Rezultat je broj prekriženih ciljnih oblika i vrijeme potrebno za ispunjavanje zadatka koje je korigirano u odnosu na broj prekriženih ciljnih likova. U [Prilogu 1](#) prikazane su A i B forma zadatka.

Postupak

Prvi korak bio je regrutiranje ispitanika, za čije je potrebe obavijest o istraživanju poslana u razne studentske grupe. Zainteresirane osobe su ispunile pristupni upitnik ([Prilog 2](#)), koji je ispitivao osnovne demografske varijable, kontraindikacije za tDCS istraživanja, iskustvo s tDCS-om ili sličnim metodama stimulacije mozga te desnorukost. Na kraju upitnika su ispitanici mogli otkriti svoj identitet upisivanjem svoje *e-mail* adrese i imena ako su htjeli biti kontaktirani vezano uz daljnje sudjelovanje u istraživanju. Na temelju upitničkih odgovora odabran je prikladan uzorak ispitanika koji su *e-mailom* upućeni u temu istraživanja, potencijalne rizike stimulacije i organizacijske detalje uključujući termin i mjesto provedbe ispitivanja. Sve osobe koje su ispunile upitnik dobile su informaciju temeljenu na njihovoj prikladnosti za sudjelovanje u ovom istraživanju.

Svi odabrani ispitanici su sudjelovali u dvije sesije koje su u skoro svim slučajevima međusobno bile odvojene točno tjedan dana te su provedene na istom mjestu. Obje su sesije imale dvije točke mjerenja - pred- i post-test. Navedene su sesije naizgled bile jednake, a ono po čemu su se razlikovale je primjena anodalne ili lažne (engl. *sham*) stimulacije u trajanju od 20 minuta između pred- i post-testa. Preciznije, na pola je sudionika u prvoj sesiji primijenjena *sham*, a u drugoj anodalna stimulacija, dok je druga polovica ispitanika u prvoj sesiji iskusila anodalnu, a u drugoj *sham* stimulaciju.

Prilikom prvog susreta, svi su ispitanici potpisali informirani pristanak. Obje su sesije započele ispunjavanjem prve kolone upitnika senzacija u kojem je ispitanik navedene simptome procjenjivao na skali od 1 (uopće ne osjećam navedene senzacije) do 10 (intenzivno osjećam navedene senzacije). U [Prilogu 3](#) nalaze se deskriptivni podatci prijavljenih simptoma prije i poslije intervencije u obje sesije. Nakon toga, u prvoj je sesiji ispitaniku izmjerena glava te su pismeno zabilježene dimenzije s obzirom na ciljano područje postavljanja anode. Detaljna procedura mjerenja i označavanja glave koja je korištena za ovu svrhu nalazi se u [Prilogu 4](#). Zatim su postavljene elektrode dimenzija 5x7 cm u spužvicama koje su zbog bolje provodljivosti i manje iritacije kože namočene fiziološkom otopinom, u skladu s prethodno

izmjerenim i označenim dimenzijama. Nakon ispunjavanja upitnika senzacija i postavljanja elektroda, u obje je sesije započeo pred-test. U ovom trenutku još nije zadavana anodalna ili *sham* stimulacija. Pred-test se sastojao od testa perceptivne brzine, pri čemu je eksperimentator štopericom mjerio vrijeme potrebno za obavljanje zadatka, računalnog prostornog *n-back* zadatka i Stroopovog zadatka te usmenog zadavanja brojčanog *backward span* zadatka. Sljedeća je bila intervencija, odnosno uvjet anodalne ili *sham* stimulacije koji je kontrabalansiran između ispitanika te je u oba slučaja sveukupno trajao 20 minuta, pri čemu je korišten uređaj NeuroConn DC-STIMULATOR PLUS. Procedura je započela objašnjavanjem senzacija koje bi ispitanik mogao osjetiti te su po potrebi spužvice s elektrodama dodatno namočene fiziološkom otopinom. U obje sesije, odnosno bez obzira na to je li ispitanik bio u situaciji stvarne ili *sham* stimulacije, rečeno mu je da će iskusiti pravu stimulaciju strujom. Tijekom stimulacije eksperimentator je nadgledao ispitanikovo stanje te ispitivao razinu neugode procjenom na ljestvici od 0 do 10. U situaciji anodalne stimulacije postavljeni parametri su bili sljedeći: *fade in* na početku u trajanju od 30 s, stimulacija u trajanju 1140 s jačine 1.5 mA te *fade out* 30 s. U situaciji *sham* stimulacije *blinding* je postignut postavljanjem perioda *fade in* (30 s) do 1.5 mA i *fade out* (30 s) do 0 mA na početku i na kraju sesije, dok u periodu između nije puštana struja. Otpor je u oba slučaja postavljen na 90 mΩ. Tijekom tretmana, ispitanici su računalno rješavali zadatak pamćenja kartica, pri čemu su mogli odabrati postavke težine zadatka (brzina izmjene i broj prikazanih kartica). Na kraju intervencije, ispitanici su ispunili drugu kolonu upitnika senzacija ([Prilog 3](#)). Nakon toga je u obje sesije napravljen post-test u kojem su rješavani: paralelna forma zadatka perceptivne brzine, računalni prostorni *n-back* i Stroopov zadatak, paralelna forma usmenog *backward span* zadatka i računalni verbalni *n-back* zadatak. Slikovni prikaz eksperimentalnog dijela procedure ispitivanja nalazi se u [Prilogu 5](#). Po završetku testiranja su ispitanicima skinute elektrode te je očišćeno područje koje je bilo označavano u svrhu njihovog preciznijeg postavljanja. Nakon završavanja obje sesije, ispitanicima je objašnjena razlika između sesija, odnosno da u jednoj sesiji jesu, a u drugoj nisu iskusili stvarnu stimulaciju u trajanju 20 minuta te kako im ova informacija nije otkrivena ranije zbog postizanja njihovog *blindinga*. Također, upitani su o redoslijedu sesija, pri čemu je 52% ispitanika pogodilo ispravan redoslijed zadavanja anodalne i *sham* stimulacije.

Nacrt istraživanja

U istraživanju je korišten faktorijski nacrt 2x2. Prva nezavisna varijabla je točka mjerenja (pred-test ili post-test, odnosno ponovljeno mjerenje), a druga stimulacija, odnosno je

li između pred-testa i post-testa primijenjena anodalna (eksperimentalni tretman) ili *sham* (kontrolni tretman) stimulacija.

REZULTATI

Podaci su analizirani u programu IBM SPSS Statistics 23. Normalnost distribucija zavisnih varijabli za pojedina mjerenja ispitana je Shapiro-Wilkovim testom te su u slučajevima odstupanja provjereni indeksi asimetričnosti i spljoštenosti. Kline (2010) tvrdi da je opravdano koristiti parametrijske postupke kada je indeks asimetričnosti $< +/-3$ te kada je indeks spljoštenosti $< +/-10$. Navedeni su parametri bili unutar definiranih graničnih vrijednosti za sva mjerenja. Također, provjerene su ekstremne vrijednosti unutar podataka te su analize provedene sa i bez njih. S obzirom na malen uzorak ispitanika i nepromjenjive rezultate neovisno o uključivanju ekstrema u analizu, navedeni su upisi zadržani u finalnom prikazu rezultata. U skladu sa svim navedenim i s obzirom na robusnost parametrijskih testova dvosmjerne analize varijance i *t*-testa (Kolesarić, 2006), navedeni su postupci prikladno korišteni pri analizi svih podataka. Rezultati testova kojima je provjereno jesu li zadovoljeni preduvjeti za provedbu navedenih testova su prikazani u [Prilogu 6](#).

Radno pamćenje

Usmeni backward digit span zadatak. Ovaj je zadatak primijenjen prije i poslije intervencije u obje sesije.

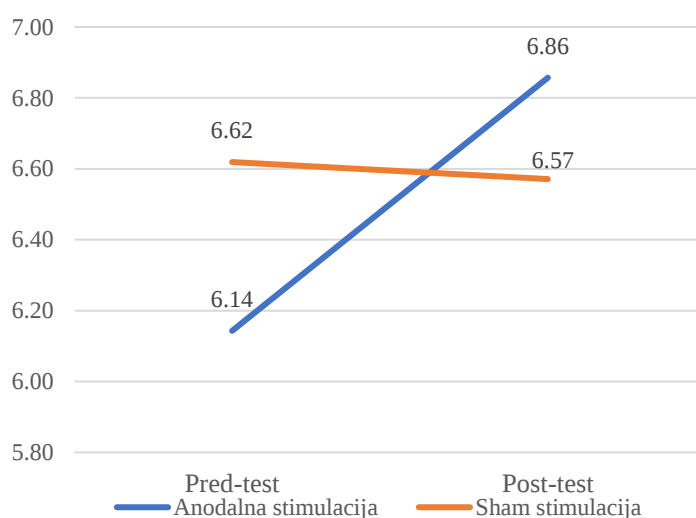
Provedena je ANOVA za ponovljena mjerenja s uvjetom stimulacije (stimulacija/*sham*) te točkom mjerenja (prije/poslije) kao izvorima varijance unutar ispitanika. Dobivena je statistički značajna interakcija točke mjerenja i stimulacije na maksimalnu duljinu niza reproduciranog unatrag ($F_{1,20} = 10.24$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .34$). Rezultati u četiri mjerenja su u parovima uspoređeni *t*-testom za zavisne uzorke te je dobiveno statistički značajno poboljšanje u maksimalnom nizu reproduciranom unatrag ($t_{20} = -3.63$, $p < .01$) nakon anodalne stimulacije ($M = 6.86$, $SD = 1.53$) u usporedbi s mjerenjem prije anodalne stimulacije ($M = 6.14$, $SD = 1.49$). Između ostalih parova mjerenja nije dobivena statistički značajna razlika. Također, po uzoru na Loftus (2015) izračunati su pojedinačni rezultati promjene u duljini maksimalnog niza koji su indikativni za pre-post povećanje niza. Primjenom *t*-testa za zavisne uzorke dobivena je statistički značajna razlika u pred-post test promjeni duljine maksimalnog niza unazad ($t_{20} =$

3.2, $p < .01$), pri čemu je veće poboljšanje opaženo u anodalnom ($M = .71$, $SD = .90$) nego u *sham* ($M = -.05$, $SD = .86$) uvjetu.

Dobiven je glavni efekt točke mjerenja ($F_{1,20} = 4.83$, $p < .05$, $\eta_p^2 = .19$), pri čemu su ispitanici reproducirali značajno dulji maksimalni niz unazad u post-testu ($M = 6.71$, $SD = 1.24$) u usporedbi s pred-testom ($M = 6.38$, $SD = 1.20$), što je rezultat poboljšanja uratka uslijed anodalne stimulacije i izostanka poboljšanja nakon *sham* stimulacije. Nije dobiven statistički značajan glavni efekt vrste stimulacije na maksimalnu duljinu niza reproduciranog unazad ($F_{1,20} = 10.24$, $p > .05$). Navedeni podaci grafički su prikazani na Slici 1.

Slika 1

Maksimalna duljina niza koje su ispitanici uspješno reproducirali unazad s obzirom na točku mjerenja i uvjet stimulacije ($N = 21$)



Verbalni 3-back zadatak. Zadatak je primijenjen računalno poslije intervencije u obje sesije. Ispitivana je proporcija točnih odgovora i RT na točne odgovore.

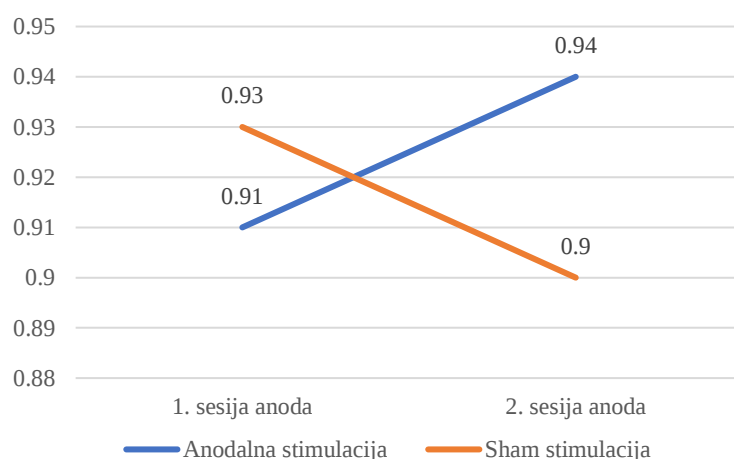
Provedena je ANOVA za ponovljena mjerenja s uvjetom stimulacije (stimulacija/*sham*) kao izvorom varijance unutar ispitanika te redoslijedom stimulacije (je li anodalna stimulacija primijenjena u prvoj ili drugoj sesiji) kao izvorom varijance između ispitanika. Prvo je navedena analiza prikazana na podacima proporcije točnih odgovora, pa na RT-u točnih odgovora.

Dobivena je statistički značajna interakcija stimulacije i rasporeda stimulacije na proporciju točnih odgovora ($F_{1,19} = 15.40$, $p < .05$, $\eta_p^2 = .45$). *t*-testom za zavisne uzorke provjerena je razlika u proporciji točnih odgovora, zasebno za one ispitanike koji su anodalnu

stimulaciju iskusili u prvom mjerenju i za one u drugom mjerenju. Kada je anodalna stimulacija primijenjena u prvoj sesiji, nije došlo do značajne razlike u proporciji točnih odgovora između uvjeta *sham* i anodalne stimulacije ($t_9 = -2.09, p > .05$). Kada je anodalna stimulacija primijenjena u drugoj sesiji, dobivena je statistički značajna razlika u proporciji točnih odgovora između anodalne i *sham* stimulacije ($t_{10} = 3.84, p < .01$), pri čemu je nakon anodalne stimulacije ($M = .94, SD = .04$) došlo do veće proporcije točnih odgovora u odnosu na *sham* stimulaciju ($M = .91, SD = .05$). Nije dobiven statistički značajan glavni efekt stimulacije ($F_{1,19} = 0.13, p > .05, \eta_p^2 = .01$) ili rasporeda stimulacije ($F_{1,19} = 0.001, p > .05, \eta_p^2 = .01, \eta_p^2 = 0.01$) na proporciju točnih odgovora. Navedeni podaci grafički su prikazani na Slici 2.

Slika 2

Proporcija točnih odgovora s obzirom uvjet stimulacije i raspored sesija (N = 21)



Ista analiza ponovljena je na mjeri RT-a za točne odgovore. Nije dobiven statistički značajan glavni efekt stimulacije ($F_{1,19} = 0.12, p > .05$), rasporeda stimulacije ($F_{1,19} = 0.05, p > .05$) niti interakcija stimulacije i rasporeda stimulacije ($F_{1,19} = 3.40, p > .05$) na RT točnih odgovora (1. sesija anoda: $M = 925.94, SD = 29.30$; 2. sesija anoda: $M = 911.16, SD = 25.67$; 1. sesija *sham*: $M = 926.56, SD = 21.88$; 2. sesija *sham*: $M = 915.32, SD = 21.48$).

Inhibicija

Zadatak koji je primijenjen kao mjera inhibicije prije i poslije intervencije u obje sesije bio je Stroopov zadatak. Ispitivana je proporcija točnih odgovora za inkongruentne podražaje i RT za točne odgovore pri čemu je analiza usmjerena na razliku između neutralnih i inkongruentnih odgovora. Veća pozitivna razlika ukazuje na manju sposobnost inhibicije, s obzirom na to da je ispitaniku potrebno više vremena ili radi više grešaka pri inhibiciji jednog obilježja inkongruentnog podražaja kako bi uspješno reagirao na ciljano obilježje u usporedbi

s neutralnim uvjetom kada inhibicija obilježja nije potrebna kako bi uspješno odgovorio na zadatak. U nastavku slijedi prikaz deskriptivnih podataka zavisne varijable s obzirom na uvjet stimulacije i točku mjerenja.

Tablica 1

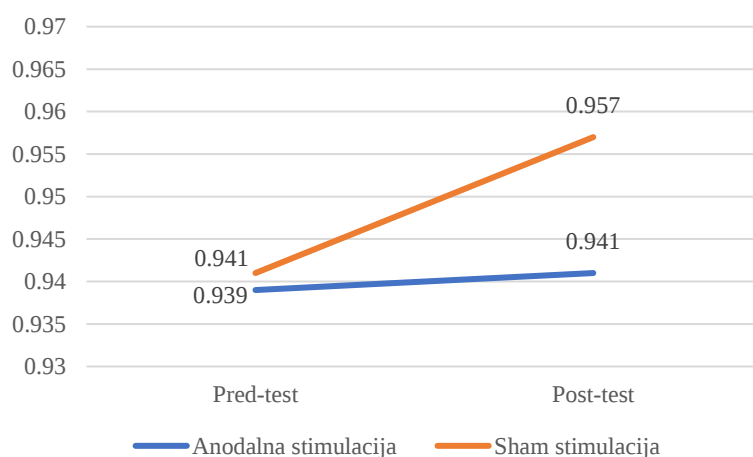
Deskriptivni podaci za mjere zavisne varijable s obzirom na uvjet stimulacije i točku mjerenja

	Anodalna stimulacija		Sham stimulacija	
	Pred-test <i>M (SD)</i>	Post-test <i>M (SD)</i>	Pred-test <i>M (SD)</i>	Post-test <i>M (SD)</i>
Proporcija točnih odgovora	.939 (.04)	.941 (.04)	.941 (.05)	.957 (.04)
Diferencijalni RT (ms) za točne odgovore	71.49 (39.23)	74.19 (52.76)	73.17 (79.63)	69.19 (45.05)

Provedena je ANOVA za ponovljena mjerenja s uvjetom stimulacije i točkom mjerenja kao izvorima varijance unutar ispitanika. Nije dobiven statistički značajan efekt točke mjerenja ($F_{1,20} = 1.5, p > .05$), stimulacije ($F_{1,20} = 2.3, p > .05$) ni interakcije ($F_{1,20} = 1.72, p > .05$) točke mjerenja i stimulacije na proporciju točnih odgovora za inkongruentne podražaja. Također, nije dobiven statistički značajan efekt točke mjerenja ($F_{1,20} = 0.004, p > .05$), stimulacije ($F_{1,20} = 0.02, p > .05$) ni interakcije ($F_{1,20} = 0.1, p > .05$) točke mjerenja i stimulacije na diferencijalni rezultat neutralnih i inkongruentnih podražaja vremena reakcije (ms) za točne odgovore. Navedeni podaci grafički su prikazani na Slici 3 i 4.

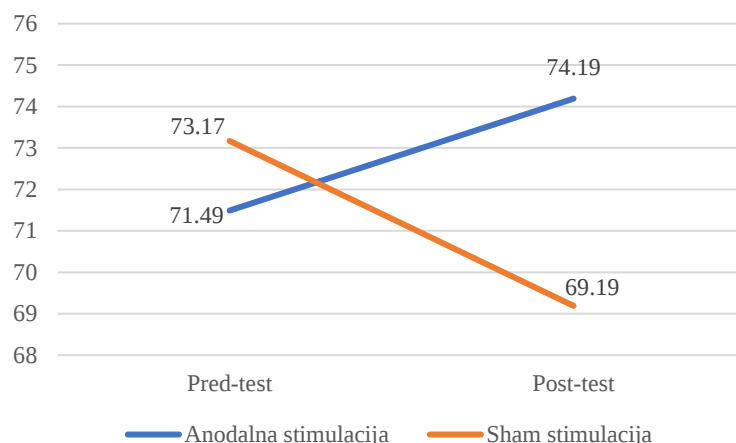
Slika 3

Proporcija točnih odgovora s obzirom na točku mjerenja i uvjet stimulacije ($N = 21$)



Slika 4

Diferencijalni RT (ms) za točne odgovore s obzirom na točku mjerenja i uvjet stimulacije ($N = 21$)



Kontrolni zadatak – perceptivna brzina

Zadatak je primijenjen prije i poslije intervencije u obje sesije. Mjereno je vrijeme potrebno za izvedbu zadataka, koje nije usporedivo između ispitanika s obzirom na različitu uspješnost u ispunjavanju zadatka (u većini mjerenja ispitanici nisu uspješno prekrili svih 16 ciljnih likova). Stoga, varijabla vremena potrebnog za ispunjavanje zadataka je transformirana tako da je u svakom mjerenju izračunato je prosječno vrijeme potrebno za ispunjavanje zadatka samo za one upise u kojima je uspješno prekriveno svih 16 zadanih podražaja. Zatim je mjera prosječnog vremena ispunjavanja zadatka podijeljena sa 16 te je dobiveni broj dodan početnoj mjeri svakog ispitanika, onoliko puta koliko je ciljnih podražaja ispitanik u tom testiranju propustio prekriti. U nastavku slijedi prikaz deskriptivnih podataka za broj prekrivenih ciljnih podražaja i transformirano vrijeme potrebno za ispunjavanje zadatka s obzirom na uvjet stimulacije i točku mjerenja.

Provedena je ANOVA za ponovljena mjerenja s uvjetom stimulacije i točkom mjerenja kao izvorima varijance unutar ispitanika. Prvo je prikazana analiza na broju prekrivenih ciljnih podražaja, pa na vremenu potrebnom za ispunjavanje zadatka.

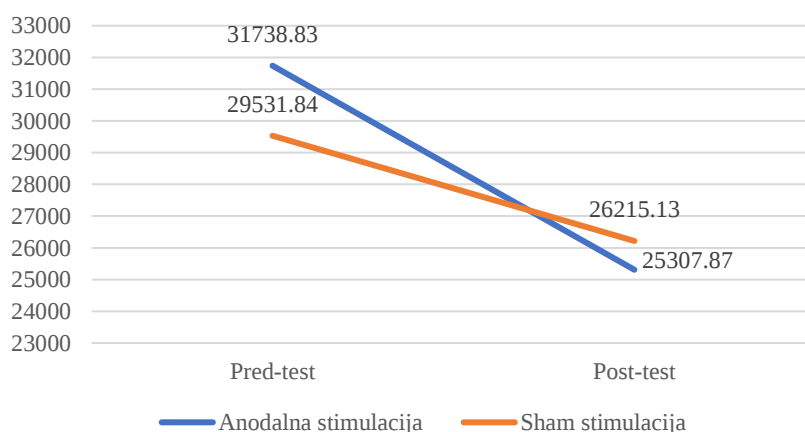
Dobiven je statistički značajan efekt točke mjerenja na broj prekrivenih ciljnih oblika ($F_{1,19} = 10.56, p < .01, \eta_p^2 = .36$), pri čemu su ispitanici uspjeli prekriti više likova u post- ($M = 14.91, SD = 1.08$) u usporedbi s pred-mjerenjem ($M = 15.46, SD = 0.88$). Nije dobiven statistički značajan efekt stimulacije na broj prekrivenih ciljnih oblika ($F_{1,19} = 0.001, p > .05, \eta_p^2 = .00$), niti statistički značajna interakcija točke mjerenja i stimulacije na broj prekrivenih ciljnih oblika ($F_{1,19} = 3, p > .05, \eta_p^2 = .14$) (pred-test anoda: $M = 14.71, SD = 1.19$; post-test

anoda: $M = 15.62$, $SD = 0.8$; pred-test *sham*: $M = 15.1$, $SD = 0.91$; post-test *sham*: $M = 15.29$, $SD = 0.96$).

Dobivena je statistički značajna interakcija točke mjerenja i stimulacije na korigirano vrijeme ispunjavanja zadatka ($F_{1,18} = 7.48$, $p < .04$, $\eta_p^2 = .29$). Dobiven je statistički značajan efekt točke mjerenja na korigirano vrijeme ispunjavanja zadatka ($F_{1,18} = 37.46$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .68$) koje je bilo kraće u post- ($M = 25761.50$, $SD = 5782.21$) u usporedbi s pred-mjerenjem ($M = 30635.34$, $SD = 5621.73$). Nije dobiven statistički značajan efekt stimulacije na korigirano vrijeme ispunjavanja zadatka ($F_{1,18} = 0.28$, $p > .05$, $\eta_p^2 = .02$). Da bismo objasnili interakciju, rezultati u četiri mjerenja su u parovima uspoređeni t-testom za zavisne uzorke te je dobiveno značajno kraće korigirano vrijeme izvedbe ($t_{19} = -7.59$, $p < .01$) nakon anodalne stimulacije ($M = 25307.87$, $SD = 5325.93$) u usporedbi s mjerenjem prije anodalne stimulacije ($M = 31738.83$, $SD = 5697.44$) te nakon *sham* stimulacije ($M = 26215.13$, $SD = 6238.48$) u usporedbi s prije *sham* stimulacije ($M = 29531.84$, $SD = 5546.02$) ($t_{19} = -3.20$, $p < .01$). Kao i u slučaju *backward span* zadatka, izračunati su pojedinačni rezultati promjene u brzini izvedbe zadatka koji su indikativni za pre-post perceptivno ubrzanje. Primjenom *t*-testa za zavisne uzorke dobivena je statistički značajna razlika u pred-post brzini izvedbe zadatka ($t_{18} = -2.74$, $p < .05$), pri čemu je veće ubrzanje opaženo pri anodaloj stimulaciji ($M = -6430.95$, $SD = 3495.60$) u usporedbi sa *sham* stimulacijom ($M = -3316.71$, $SD = 4918.06$). Navedeni podaci za grafički su prikazani na Slici 5.

Slika 5

Korigirano vrijeme izvedbe zadatka perceptivne brzine s obzirom na točku mjerenja i uvjet stimulacije ($N = 19$)



RASPRAVA

Glavni cilj ovog istraživanja bio je utvrditi hoće li primjena atDCS-a poboljšati neke aspekte izvršnog funkcioniranja, odnosno poboljšati izvedbu u zadacima radnog pamćenja i inhibicije. Rezultati su pokazali da je atDCS poboljšala izvedbu u *backward digit span* zadatku u usporedbi s mjerenjem prije stimulacije, no nije proizvela razliku između *sham* i anodalne stimulacije u mjerenju nakon stimulacije, zbog čega je H1a djelomično potvrđena. Veće predpost poboljšanje na mjerama radnog pamćenja u uvjetu anodalne u usporedbi sa *sham* stimulacijom je u skladu s istraživanjima Friebs i Fringsa (2019) te Jeona i Hana (2012). Ipak, nepostojanje razlike u mjerenju samo nakon stimulacijskog uvjeta ograničava zaključivanje o primjenjivosti ove metode. S obzirom na to da ovo poboljšanje dijelom počiva na *baseline* mjerama koje se razlikuju (iako ne značajno), na način da su ispitanici u pred-testu u anodalnom uvjetu postigli prosječno niže rezultate nego u *sham* uvjetu, postavlja se pitanje može li se navedeni nalaz uistinu atribuirati samo utjecaju atDCS-a, ili je posljedica variranja izvršne sposobnosti uslijed raznih okolinskih faktora.

Također je moguće da se efekt stimulacije prvenstveno očituje kod onih ispitanika koji imaju niže *baseline* radno pamćenje, kao što je primjerice pokazano u istraživanju Arciniege i suradnika (2018) ili u onim uvjetima kad je pojedincima radno pamćenje narušeno uslijed umora, stresa ili sličnih utjecaja. Kapacitet radnog pamćenja mjeren izvedbom na *backward* nizu opada i s dobi (Bopp i Verhaeghen, 2005) te bi ovi rezultati u tom slučaju mogli biti potpora istraživačkoj struji koja potiče korištenje tDCS-a u poboljšanju kognitivnog funkcioniranja u starijoj dobi (Indahlastari, i sur., 2021). Ono što u trenutnom istraživanju nije sustavno provjereno jesu strategije rješavanja ovog zadatka koje počivaju na različitim kognitivnim procesima radnog pamćenja. Dunn i suradnici (1990) navode kako prilikom usmenog ponavljanja bročnanog niza unazad ispitanik može verbalizirati percipirane brojke i ponavljati ih potihom ili ih internalno vizualizirati te ih „čitati“ unatrag. Ove dvije strategije odgovaraju podsustavima radnog pamćenja Baddeleya i Hitcha (1974) – vidnoprstornom bloku i fonološkoj petlji te su anegdotalno zabilježene i u našem ispitivanju. Kao što je opisano ranije, Crottaz-Herbette i suradnici (2004) izvijestili su o većoj aktivaciji lijevog DLPFC-a prilikom procesiranja auditorno prezentiranog materijala. Ipak, Hilbert i suradnici (2015) demonstriraju kako navedena razlika nije dobivena uslijed načina prezentacije materijala, već zbog internalne reprezentacije podražaja. U skladu s navedenim, moguće je da se odabrana strategija ispitanika odrazila na jačinu efekta stimulacije DLPFC-a, na način da su ispitanici sa strategijom koja počiva na fonološkoj petlji iskusili veće poboljšanje, ili nekontroliranom izmjenom varijance u

oba smjera u slučaju da su ispitanici između dva mjerenja mijenjali korištene strategije. Zaključno, ovo istraživanje upućuje na češće uključivanje mjere *backward digit span*-a u eksperimentalnim provjerama efekata radnog pamćenja te utvrđivanje faktora koji u odnosu sa stimulacijom utječu na njegovo poboljšanje, poput fluktuacije početne sposobnosti i izabrane kognitivne strategije rješavanja zadatka. Također, navedeni rezultat upućuje na važnost mjerenja prije i nakon stimulacijskog uvjeta, kako bi istraživač mogao s većom sigurnošću zaključiti o postojanju i veličini stimulacijskog efekta.

Zatim, pokazalo se da anodalna stimulacija nije proizvela razliku u proporciji točnosti i RT-u na točne odgovore u odnosu na *sham* stimulaciju u verbalnom *n-back* zadatku, zbog čega H1b nije potvrđena. Ovaj je nalaz u skladu s više istraživanja koja su usporediva s našim po primjeni ponovljenih mjerenja, bimodalne stimulacije i *offline* ispitivanja funkcije radnog pamćenja *n-back* zadatkom (Andrews i sur., 2011; Gill i sur., 2015; Hoy i sur., 2013; Paunović, 2018). Međutim, nije konzistentan s mnogim studijama koje izvještavaju o postojanju razlike između anodalne i *sham* stimulacije u izvedbi *n-back* zadataka radnog pamćenja, upućujući na povećanje točnosti (Keeser i sur. 2011; Keshvari i sur., 2013; Lally i sur., 2013; Ohn i sur., 2008; Ramaraju i sur., 2020) i brže vrijeme reakcije (Hoy i sur., 2013; Mulquiney i sur., 2011) uslijed anodalne stimulacije. Primjećuje se da je u mnogim od navedenih istraživanja katodalna elektroda postavljena na kontralateralno supraorbitalno područje (Andrews i sur., 2011; Gill i sur., 2015; Hoy i sur., 2013; Keeser i sur., 2011; Ohn i sur., 2008; Mulquiney i sur., 2011) ili kontralateralni DLPFC (Keshvari i sur., 2013), što omogućuje katodalu stimulaciju frontalnih regija te stoga predstavlja ograničavajući faktor pri zaključivanju o specifičnosti anodalne stimulacije. Također, vremenski interval između dvije sesije je u više studija bio kraći od preporučenog (Jones i Berryhill, 2012; Fregni i sur., 2005; Zaehle i sur., 2011), što narušava preduvjet nezavisnosti mjerenja pri zaključivanju o efektu stimulacije. Važna razlika između našeg i više istraživanja koja pronalaze pozitivni efekt stimulacije je i u obilježjima grupe – neki su zaključci o postojanju efekata zasnovani na nacrtima s nezavisnim grupama (Jeon i Han, 2012; Lally i sur., 2013) te na vrlo malim uzorcima (Andrews i sur., 2011; Hill i sur., 2018; Mylius i sur., 2012). Uzimanje ovih faktora u obzir u ovom istraživanju omogućuje veću sigurnost u dobiveni rezultat.

Zanimljivo, nakon uzimanja u obzir redoslijeda stimulacije, u ovom se istraživanju pokazalo da je u situaciji kada je anodalna stimulacija uvedena tek u drugom mjerenju dobiveno poboljšanje u točnosti na *n-back* zadatku u odnosu na *sham* stimulaciju. Drugim riječima, nakon

što su ispitanici dobili priliku upoznati se s ovom vrstom zadatka, anodalna je stimulacija bila uspješnija od *sham* uvjeta u moduliranju ciljane funkcije. Da se ovaj efekt ne može svesti samo na efekt učenja, ukazuje nam nepostojanje značajnog efekta poboljšanja proporcije točnih odgovora u *sham* situaciji u odnosu na anodalnu, u situaciji kada je *sham* uvjet uveden tek u drugoj sesiji. Ako situaciju prve *sham* sesije koncipiramo kao uvježbavanje radnog pamćenja na *n-back* zadatku, navedeni se nalaz može interpretirati u skladu sa zaključkom meta-analize Mancuso i suradnika (2016) koji potencijal tDCS-a uviđaju u kombinaciji s kognitivnim treningom. Također, ovaj je nalaz u skladu s istraživanjem Zeahle i suradnika (2011), koji zaključuju o pozitivnim efektima tDCS-a na osnovu nacrtu u kojem redosljed stimulacije nije kontrabalansiran, već je ispitivanje uvijek započinjalo *sham* sesijom. Ipak, naš nalaz nije moguće generalizirati s obzirom na mali uzorak ispitanika (10 osoba u jednoj i 11 u drugoj nezavisnoj skupini definiranom rasporedom stimulacijskog uvjeta), trend poboljšanja u 2. sesiji i u *sham* uvjetu iako ovo poboljšanje nije dostiglo razinu značajnosti te postojeće kontradiktorne nalaze, poput onog Fregni i suradnika (2005), u čijem je istraživanju došlo do poboljšanja uslijed anodalne stimulacije u usporedbi sa *sham*-om, koje je bilo usporedivo bez obzira je li ona primijenjena u 1. ili 2. sesiji. Ukratko, ovaj nalaz informira o važnosti kontrabalansiranja uvjeta stimulacije i provjeri efekata redoslijeda stimulacije pri zaključivanju o efektima jedne sesije tDCS-a. Uz dovoljan broj paralelnih formi, u budućim je istraživanjima također moguće uvesti kontrolu u obliku faze uvježbavanja radnog pamćenja koja prethodi stimulaciji te provjeri stimulacijskih efekata tek kad ispitanici dostignu svoju gornju granicu izvedbe.

Također, rezultati su pokazali da atDCS nije poboljšala izvedbu u zadatku inhibicije zbog čega H2 nije potvrđena. Ovaj rezultat nije u skladu s nekoliko nalaza koji ukazuju na efekt stimulacije lijevog DLPFC-a na mjere inhibicije u Stroopovom zadatku, uključujući niži broj grešaka za inkongruentne podražaje (Angius i sur., 2019; Perrotta i sur., 2021), veću brzinu reakcije na neutralnim i inkongruentnim podražajima (Loftus i sur., 2005) i njihov sniženi diferencijalni rezultat (Jeon i Han, 2012) koji je korišten i u ovom istraživanju te opću veću brzinu reakcije na svim vrstama podražaja (Baumert i sur., 2020). Ipak, rezultati su u skladu s onim istraživanjima koja ne pronalaze navedeni efekt – npr. s istraživanjem Baumert i suradnika (2020) koji izvještavaju o izostanku efekta stimulacije za proporciju točnosti i Stroopovu interferenciju te istraživanjem Živanovića (2019) koji izvještava o nepromijenjenom diferencijalnom RT-u uslijed atDCS-a DLPFC-a. Što se tiče parametara i metodoloških postavki eksperimenata koji demonstriraju traženi efekt, moguće je uočiti više razlika u odnosu na naše istraživanje. Primjerice, u više studija u kojima je korištena bipolarna montaža je katoda

postavljena iznad desnog DLPFC-a, što podiže pitanje razdvajanja anodalnog i katodalnog efekta na zabilježeni ponašajni ishod (Angius i sur., 2019; Loftus i sur., 2015; Perrotta i sur., 2021). Također, u navedenim istraživanjima se po zadanim parametrima od ovdje prikazanog razlikuje i jačina stimulacije – primjenjuje se od 1 mA (Jeon i Han, 2012) do 2 mA (Angius i sur., 2019; Loftus i sur., 2015), te duljina stimulacije, koja varira od 10 (Loftus i sur., 2015), 20 (Jeon i Han, 2012) do 30 minuta (Angius i sur., 2019).

Određene studije tDCS-a nad motornim korteksom ukazuju da odnos između jačine primijenjene struje i dobivenih efekata stimulacije nije linearan (Ho i sur., 2016; Jamil i sur., 2017), što s obzirom na navedene razlike u parametrima može biti i slučaj pri moduliranju aktivnosti DLPFC-a. S obzirom na to da ne postoji sustavno ispitivanje navedenih parametara, zasad nije moguće zaključiti o njihovom odnosu i efektu tog odnosa na ponašajni ishod inhibicije. Osim parametara stimulacije, značajno se razlikuju i operacionalizacije inhibicije u Stroopovom zadatku u prikazanim istraživanjima, pri čemu neke studije izvještavaju o inhibicijskom efektu i kroz neutralne te kongruentne podražaje (Baumert i sur., 2020; Jeon i Han, 2012; Loftus i sur. 2015). S obzirom na to da u ovim podražajima ne postoji interferencija između više obilježja, zaključivanje o efektu na funkciju inhibicije je ograničeno. Čini se da se u situaciji kad postoji opće ubrzanje na svim vrstama podražaja vjerojatno prije može zaključivati o nekom jednostavnijem procesu u pozadini, poput brzine procesiranja čije je poboljšanje dobiveno u ovom istraživanju. Sam Stroopov zadatak vjerojatno obuhvaća više procesa, poput „zaštite“ pažnje od distraktora, inhibiranja prepotentnih odgovora, zadržavanja informacija koje su bitne za izvršavanje zadatka u radnom pamćenju te reguliranja inhibitorne kontrole (Baumert i sur., 2020). U tom kontekstu, vrijedi razmotriti i stimuliranu regiju, čija uloga u procesu inhibicije još uvijek nije sasvim jasna, s obzirom na različite konceptualizacije uloge lijevog DLPFC-a (Aron i sur., 2004, 2014; MacDonald i sur., 2000). Moguće je da lijevi DLPFC nije uključen u sve navedene procese (Vanderhasselt i sur., 2009), što se očituje u nemogućnosti produkcije značajnog pozitivnog efekta stimulacije. Moguće je da bi isti nacrt koji je usmjeren na RIFG, koji je u literaturi najkonzistentnije zastupljen kao centar inhibicije (Aron i sur., 2004, 2014; Chambers i sur., 2006) producirao značajne pozitivne efekte ili da bi se uključivanjem više mjera koje obuhvaćaju razne procese inhibicije otkrio utjecaj stimulacije na nekoj od faceta konstrukta inhibicije.

Većina operacionalizacija izvršnih funkcija osim onih ciljanih, često angažira više osnovnih kognitivnih procesa (Aben i sur., 2012). Stoga, prilikom istraživanja efekata tDCS-a

na navedene funkcije nužno je registrirati i efekte na mjerama osnovnih kognitivnih sposobnosti, kako bi mogli nedvosmisleno zaključivati u specifičnosti neuromodulacijskih efekata. Iz ovog je razloga uz navedene zadatke primijenjena i verzija zadatka perceptivne brzine. Neočekivano, dobivena je interakcija stimulacije i točke mjerenja, pri čemu je moguće uočiti veće ubrzanje u rješavanju zadatka između pred- i post-testa anodalne stimulacije, nego između pred- i post-testa *sham* stimulacije. Ovaj nalaz upućuje na mogućnost da su pojedini efekti tDCS-a na više kognitivne sposobnosti posredovani utjecajem stimulacije na osnovnije kognitivne procese. U skladu je s lezijskom studijom Barbey i suradnika (2013) koja upućuje kako su lezije DLPFC-a, uz deficite u općoj inteligenciji (g faktor) i radnom pamćenju, povezane i s brzinom procesiranja (mjereni WAIS-om). U skladu s dijeljenom lokalizacijom, Ackerman i suradnici (2002) ukazuju na značajno preklapanje varijance perceptivne brzine i radnog pamćenja, zbog čega je moguće da stimulacija djeluje na dijeljenu varijancu ovih mjera te proizvodi pozitivne efekte na obje mjere. Međuzavisnost ovih mjera ogleda se i u promjenama u centralnom izvršnom funkcioniranju uslijed starenja, koje se primarno mogu atribuirati općem usporavanju u aktivaciji informacija unutar radnog pamćenja, a ne specifičnim deficitima centralnog izvršitelja (Fisk i Warr, 1996). Moguće je uočiti da tDCS studije rijetko izvještavaju o potencijalnim efektima na niže kognitivne funkcije što podiže pitanje točnosti interpretacije njihovih rezultata. Također, u nekim studijama su zaključci o pozitivnim efektima atDCS-a DLPFC-a na radno pamćenje zasnovani isključivo na ubrzanju vremena reakcije, no ne i na porastu točnosti izvedbe (Hoy i sur., 2013; Mulquiney i sur., 2011). Iako se ovaj efekt u navedenim studijama interpretira u okviru djelovanja na ciljanu funkciju radnog pamćenja, Paunović (2018) upućuje da je efekt koji se manifestira samo na vremenu reakcije moguće interpretirati i kao posljedicu nespecifične facilitacije opće kognitivne pobuđenosti. U kontekstu ovog istraživanja, važno je napomenuti da je mjera korištena kao indikator brzine procesiranja morala biti korigirana s obzirom na uspješnost identificiranja ciljnih likova, zbog čega može sadržavati veći udio pogreške mjerenja. Stoga, u budućim istraživanjima viših kognitivnih funkcija važno je sustavno ispitati efekte stimulacije na bazičnije procese, poput brzine procesiranja, koji se mogu reflektirati u izvedbi zadataka kojima se mjere funkcije od interesa.

Kritički osvrt na metodološke aspekte studije i preporuke za buduća istraživanja

Ova studija ima više metodoloških ograničenja. Prvo je vezano uz veličinu uzorka – unaprijed je određena najmanja moguća veličina uzorka koja omogućuje registriranje efekata

za ovu vrstu nacрта. Ova odluka je motivirana vremenski zahtjevnim procesom prikupljanja podataka u „jedan na jedan“ sesijama i strogih zahtjeva za provođenje tDCS eksperimenata koji podrazumijevaju interval između eksperimentalnih sesija od barem tjedan dana. S obzirom na mali uzorak ispitanika, onemogućeno je zaključivanje o prijemljivosti pojedinca na tDCS i kako ovaj biološki utemeljen faktor utječe na poboljšanje u zavisnim mjerama ispitivanih izvršnih funkcija (Li i sur., 2015) te se u budućim ispitivanjima preporučuje regrutacija većeg uzorka ispitanika.

Zatim, pokazalo se da je pred-post primjenom *backward digit span* zadatka, *n-back* zadatka i zadatka perceptivne duljine dobiven efekt učenja, koji objašnjava veći dio varijance u postignuću ispitanika iz pred- u post-testiranje. Iako su dva od navedenih testova primijenjena u paralelnim formama, *n-back* zadatak je dvaput primijenjen u istoj verziji, što je smatrano opravdanim s obzirom na vremenski razmak sesija i težinu ovog zadatka. U budućim ispitivanjima, potrebno je razviti psihometrijski valjane paralelne forme svih zadataka te kontrabalansirati njihovo zadavanje. Također, moguće je primijetiti da su pred-post efekti poboljšanja dobiveni na onim mjerama koje nisu zadane računalno. Moguće je da je u navedenim zadacima eksperimentator povećao pogrešku mjerenja, s obzirom na usmeno zadavanje *backward span* zadatka, pri čemu se moglo razlikovati vrijeme auditorne prezentacije brojeva, ili u zadatku perceptivne brzine gdje je vrijeme ispunjavanja zadatka ručno mjereno štopericom. U budućim ispitivanjima, preporučuje se digitalizacija navedenih zadataka zbog ujednačenja uvjeta za sve ispitanike.

Nadalje, potrebno je osvrnuti se na zadane parametre stimulacije. Jedan od velikih nedostataka tDCS literature je nepostojanje sustavnog ispitivanja utjecaja pojedinih parametara i njihovog odnosa na očekivane ponašajne efekte. Ono što je nedostatak trenutnog ispitivanja je gustoća primijenjene struje, na koju osim jačine stimulacije utječe i veličina elektroda koja je u ovoj studiji bila 5x7 cm. Veličina ovih elektroda ostavlja mogućnost formiranja preširokog električnog polja koje može stimulirati šire regije mozga od onih koje su ciljane predviđenim protokolom (Datta i sur., 2009). Neki autori navode da i oblik spužvica može utjecati na neravnomjernu raspodjelu gustoće primijenjene struje, kritizirajući četvrtaste spužvice koje su korištene i u ovom istraživanju (Miranda i sur., 2006). Moguće je pronaći pojedine nalaze izmjene funkcije radnog pamćenja (Hoy i sur., 2018) i inhibicije (Jeon i Han, 2012) uslijed korištenja hd-tDCS-a koji potencijalno omogućuje veću fokálnost stimulacije (Datta i sur.,

2009). U budućim ispitivanjima, bilo bi zanimljivo uz trenutnu montažu uvesti hd-tDCS uvjete provjeriti postoji li razlika u poboljšanju ciljnih funkcija.

Također, u trenutnoj je studiji kao međuaktivnost tijekom stimulacije korišten zadatak pamćenja kartica. S obzirom na fiziološke aspekte djelovanja atDCS-a, koji ne inducira akcijske potencijale nego neuronsku membranu približava pragu depolarizacije (Nitsche i sur., 2008), navedena je aktivnost primijenjena kako bi povećala kortikalnu ekscitabilnost stimuliranog područja. Ipak, u budućim primjenama, preporučuje se primjena zadatka čija se izvedba može bliže prevesti na izvedbu u zadatcima radnog pamćenja i/ili inhibicije te uvođenje faktora aktivnosti tijekom stimulacije u nacrt, pri čemu bi se navedena aktivnost mogla varirati od *resting state* tDCS-a do različitih načina aktivacije tijekom stimulacije, što bi omogućilo sustavno ispitivanje efekta ovog faktora na krajnji ponašajni ishod.

Naposljetku, s obzirom na trajanje sesije i kognitivni napor, moguće je zaključiti da je zamor ispitanika utjecao na navedene rezultate. Uvidom u [Prilog 3](#), moguće je primijetiti kako ispitanici nisu potpuno odmorni pristupili istraživanju te da se njihov umor povećao u post-testu u odnosu na pred-test. S obzirom na to da umor narušava izvedbu na zadatcima izvršnih funkcija, postavlja se pitanje kako se ovaj utjecaj manifestirao na efektima trenutnog istraživanja te je li mogao maskirati efekte tDCS-a.

ZAKLJUČAK

U ovom istraživanju, dobivena je interakcija stimulacijskog uvjeta i točke mjerenja na izvedbu *backward digit span* zadatka, pri čemu je dobiveno veće pred-post poboljšanje na mjeri maksimalnog reproduciranog niza prilikom primjene anodalne stimulacije, u usporedbi sa *sham* uvjetom. Nije dobivena značajna razlika u uspjehu na *n-back* zadatku između anodalne i *sham* sesije, no nakon uvođenja faktora rasporeda stimulacije u analizu, pokazalo se da u uvjetu kada se anodalna stimulacija primjenjuje tek u drugoj sesiji dolazi do značajno veće proporcije točnosti na *n-back* zadatku uslijed anodalne stimulacije u usporedbi sa *sham* stimulacijom. Anodalna stimulacija nije proizvela značajnu razliku između pred- i post-mjerenja inhibicije Stroopovim zadatkom u usporedbi sa *sham* sesijom. Naposljetku, dobivena je značajna interakcija stimulacijskog uvjeta i točke mjerenja, pri čemu je došlo do većeg pred-post ubrzanja na korigiranoj mjeri perceptivne brzine prilikom primjene anodalne stimulacije, u usporedbi sa *sham* uvjetom. Ovi nalazi upućuju na aktivnu ulogu DLPFC-a u procesima radnog

pamćenja i perceptivne brzine. Također, ukazuju na potencijal atDCS-a u poboljšavanju ovih funkcija, no ne pružaju potporu primjenjivosti neuromodulacije na izvršnu funkciju inhibicije. Zaključno, ovi nalazi informiraju o važnosti pred- i post-mjerenja, uzimanja u obzir parametara poput redoslijeda stimulacije i jednostavnijih procesa poput perceptivne brzine koji mogu stajati u pozadini efekata kompleksnijih funkcija prilikom zaključivanja o utjecaju tDCS-a na ponašajne ishode.

LITERATURA

- Aben, B., Stapert, S. i Blokland, A. (2012). About the distinction between working memory and short-term memory. *Frontiers in psychology*, 3, 301. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00301>
- Anderson, M. C. i Levy, B. J. (2009). Suppressing unwanted memories. *Current Directions in Psychological Science*, 18(4), 189-194. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2009.01634.x>
- Angius, L., Santarnecchi, E., Pascual-Leone, A. i Marcora, S. M. (2019). Transcranial direct current stimulation over the left dorsolateral prefrontal cortex improves inhibitory control and endurance performance in healthy individuals. *Neuroscience*, 419, 34-45. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2019.08.052>
- Andrews, S. C., Hoy, K. E., Enticott, P. G., Daskalakis, Z. J. i Fitzgerald, P. B. (2011). Improving working memory: the effect of combining cognitive activity and anodal transcranial direct current stimulation to the left dorsolateral prefrontal cortex. *Brain stimulation*, 4(2), 84-89. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2010.06.004>
- Arciniega, H., Gözenman, F., Jones, K. T., Stephens, J. A. i Berryhill, M. E. (2018). Frontoparietal tDCS benefits visual working memory in older adults with low working memory capacity. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 10, 57. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2018.00057>
- Aron, A. R., Robbins, T. W. i Poldrack, R. A. (2004). Inhibition and the right inferior frontal cortex. *Trends in Cognitive Science*, 8(4), 170-177. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2004.02.010>
- Aron, A. R., Robbins, T. W. i Poldrack, R. A. (2014). Inhibition and the right inferior frontal cortex: One decade on. *Trends in Cognitive Sciences*, 18(4), 177-185. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2013.12.003>
- Baddeley, A.D. (1986). *Working memory*. Oxford University Press.
- Baddeley, A. D. i Hitch, G. (1974). Working memory. *Psychology of learning and motivation*, 8, 47-89. [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60452-1](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60452-1)
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory?. *Trends in cognitive sciences*, 4(11), 417-423. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01538-2](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01538-2)
- Bailey, C. E. (2007). Cognitive accuracy and intelligent executive function in the brain and in business. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1118(1), 122-141. <https://doi.org/10.1196/annals.1412.011>
- Balderston, N. L., Flook, E., Hsiung, A., Liu, J., Thongarong, A., Stahl, S., ... i Grillon, C. (2020). Patients with anxiety disorders rely on bilateral dlPFC activation during verbal working memory. *Social cognitive and affective neuroscience*, 15(12), 1288-1298. <https://doi.org/10.1093/scan/nsaa146>
- Barbey, A. K., Colom, R. i Grafman, J. (2013). Dorsolateral prefrontal contributions to human intelligence. *Neuropsychologia*, 51(7), 1361-1369. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2012.05.017>

- Barbey, A. K., Colom, R., Solomon, J., Krueger, F., Forbes, C. i Grafman, J. (2012). An integrative architecture for general intelligence and executive function revealed by lesion mapping. *Brain*, 135(4), 1154-1164. <https://doi.org/10.1093/brain/aws021>
- Barkley, R. A. (1997). Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functions: constructing a unifying theory of ADHD. *Psychological bulletin*, 121(1), 65.
- Barroso, F. (1983). An approach to the study of attentional components in auditory tasks. *Journal of Auditory Research*, 23(3), 157–180.
- Baumert, A., Buchholz, N., Zinkernagel, A., Clarke, P., MacLeod, C., Osinsky, R. i Schmitt, M. (2020). Causal underpinnings of working memory and Stroop interference control: testing the effects of anodal and cathodal tDCS over the left DLPFC. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 20(1), 34-48. <https://doi.org/10.3758/s13415-019-00726-y>
- Bellgrove, M. A., Hester, R. i Garavan, H. (2004). The functional neuroanatomical correlates of response variability: evidence from a response inhibition task. *Neuropsychologia*, 42, 1910–1916. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2004.05.007>
- Berryhill, M. E. (2014). Hits and misses: leveraging tDCS to advance cognitive research. *Frontiers in Psychology*, 5, 800. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00800>
- Bindman, L. J., Lippold, O. C. J. i Redfearn, J. W. T. (1962). Long-lasting changes in the level of the electrical activity of the cerebral cortex produced by polarizing currents. *Nature*, 196(4854), 584-585. <https://doi.org/10.1038/196584a0>
- Block, H. J. i Celnik, P. (2012). Can cerebellar transcranial direct current stimulation become a valuable neurorehabilitation intervention?. *Expert review of neurotherapeutics*, 12(11), 1275–1277. <https://doi.org/10.1586/ern.12.121>
- Bopp, K. L. i Verhaeghen, P. (2005). Aging and verbal memory span: A meta-analysis. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 60(5), P223-P233. <https://doi.org/10.1093/geronb/60.5.P223>
- Borella, E., Carretti, B. i Pelegrina, S. (2010). The specific role of inhibition in reading comprehension in good and poor comprehenders. *Journal of Learning disabilities*, 43(6), 541-552. <https://doi.org/10.1177/0022219410371676>
- Braver, T. S., Barch, D. M., Gray, J. R., Molfese, D. L. i Snyder, A. (2001). Anterior cingulate cortex and response conflict: effects of frequency, inhibition and errors. *Cerebral cortex*, 11(9), 825-836. <https://doi.org/10.1093/cercor/11.9.825>
- Brunelin, J., Mondino, M., Gassab, L., Haesebaert, F., Gaha, L., Suaud-Chagny, M. F., ... i Poulet, E. (2012). Examining transcranial direct-current stimulation (tDCS) as a treatment for hallucinations in schizophrenia. *American Journal of Psychiatry*, 169(7), 719-724. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.2012.11071091>
- Brunoni, A. R. i Vanderhasselt, M. A. (2014). Working memory improvement with non-invasive brain stimulation of the dorsolateral prefrontal cortex: a systematic review and meta-analysis. *Brain and cognition*, 86, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2014.01.008>
- Bunge, S. A., Dudukovic, N. M., Thomason, M. E., Vaidya, C. J. i Gabrieli, J. D. E. (2002). Immature frontal lobe contributions to cognitive control in children: Evidence from fMRI. *Neuron*, 33, 301–311. [https://doi.org/10.1016/S0896-6273\(01\)00583-9](https://doi.org/10.1016/S0896-6273(01)00583-9)

- Carlson, S., Martinkauppi, S., Rämä, P., Salli, E., Korvenoja, A. i Aronen, H. J. (1998). Distribution of cortical activation during visuospatial n-back tasks as revealed by functional magnetic resonance imaging. *Cerebral cortex*, 8(8), 743-752. <https://doi.org/10.1093/cercor/8.8.743>
- Chambers, C. D., Bellgrove, M. A., Stokes, M. G., Henderson, T. R., Garavan, H., Robertson, I. H., Morris, A. P. i Mattingley, J.B. (2006). Executive “brake failure” following deactivation of human frontal lobe. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18, 444–455. <https://doi.org/10.1162/jocn.2006.18.3.444>
- Chan, A. S., Han, Y. M., Leung, W. W. M., Leung, C., Wong, V. C. i Cheung, M. C. (2011). Abnormalities in the anterior cingulate cortex associated with attentional and inhibitory control deficits: a neurophysiological study on children with autism spectrum disorders. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 5(1), 254-266. <https://doi.org/10.1016/j.rasd.2010.04.007>
- Clarkson, A. N., Huang, B. S., MacIsaac, S. E., Mody, I. i Carmichael, S. T. (2010). Reducing excessive GABA-mediated tonic inhibition promotes functional recovery after stroke. *Nature*, 468(7321), 305-309. <https://doi.org/10.1038/nature09511>
- Clarys, D., Bugaiska, A., Tapia, G. i Alexia Baudouin, A. (2009). Ageing, remembering, and executive function. *Memory*, 17(2), 158-168. <https://doi.org/10.1080/09658210802188301>
- Collins, A. i Koechlin, E. (2012). Reasoning, learning, and creativity: frontal lobe function and human decision-making. *PLoS biology*, 10(3), e1001293. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001293>
- Cragg, L., Keeble, S., Richardson, S., Roome, H. E. i Gilmore, C. (2017). Direct and indirect influences of executive functions on mathematics achievement. *Cognition*, 162, 12-26. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2017.01.014>
- Datta, A., Bansal, V., Diaz, J., Patel, J., Reato, D. i Bikson, M. (2009). Gyri-precise head model of transcranial direct current stimulation: Improved spatial focality using a ring electrode versus conventional rectangular pad. *Brain Stimulation*, 2(4), 201–207. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2009.03.005>
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual review of psychology*, 64, 135-168. [10.1146/annurev-psych-113011-143750](https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750)
- Dempster, F.N. (1993). Resistance to Interference: Developmental Changes in a Basic Processing Mechanism. U: Howe, M.L., Pasnak, R. (Ur.), *Emerging Themes in Cognitive Development* (str. 3-27). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-9220-0_1
- Dedoncker, J., Brunoni, A. R., Baeken, C. i Vanderhasselt, M. A. (2016). The effect of the interval-between-sessions on prefrontal transcranial direct current stimulation (tDCS) on cognitive outcomes: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Neural Transmission*, 123(10), 1159-1172. <https://doi.org/10.1007/s00702-016-1558-x>
- Depue, B.E., Orr, J.M., Smolker, H.R., Naaz, F. i Banich, M.T. (2016). The organization of right prefrontal networks reveals common mechanisms of inhibitory regulation across cognitive, emotional, and motor processes. *Cerebral Cortex*, 26(4), 1634-1646. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhu324>

- Dubreuil-Vall, L., Chau, P., Ruffini, G., Widge, A. S. i Camprodon, J. A. (2019). tDCS to the left DLPFC modulates cognitive and physiological correlates of executive function in a state-dependent manner. *Brain stimulation*, 12(6), 1456-1463. 10.1016/j.brs.2019.06.006
- D'Urso, G., Mantovani, A., Patti, S., Toscano, E., i de Bartolomeis, A. (2018). Transcranial direct current stimulation in obsessive-compulsive disorder, posttraumatic stress disorder, and anxiety disorders. *The Journal of ECT*, 34(3), 172-181. 10.1097/YCT.0000000000000538
- Erdfelder, E., Faul, F., Buchner, A. i Lang, A. G. (2009). Statistical power analyses *Behavior Research Methods*, 41 using G*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. (4), 1149–1160. <https://doi.org/10.3758/BRM.41.4.1149>
- Eriksen, B. A. i Eriksen, C. W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception & psychophysics*, 16(1), 143-149. <https://doi.org/10.3758/BF03203267>
- Favieri, F., Forte, G. i Casagrande, M. (2019). The executive functions in overweight and obesity: A systematic review of neuropsychological cross-sectional and longitudinal studies. *Frontiers in psychology*, 10, 2126. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02126>
- Ferrucci, R., Cortese, F., Bianchi, M., Pittera, D., Turrone, R., Bocci, T., ... i Priori, A. (2016). Cerebellar and motor cortical transcranial stimulation decrease levodopa-induced dyskinesias in Parkinson's disease. *The Cerebellum*, 15(1), 43-47. <https://doi.org/10.1007/s12311-015-0737-x>
- Ferrucci, R., Mrakic-Spota, S., Gardini, S., Ruggiero, F., Vergari, M., Mameli, F., ... i Marceglia, S. (2018). Behavioral and neurophysiological effects of transcranial direct current stimulation (tDCS) in fronto-temporal dementia. *Frontiers in behavioral neuroscience*, 235. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2018.00235>
- Filley, C.M. (2000). Clinical neurology and executive dysfunction. *Seminars in speech and language*, 21(2), 95-108. 10.1055/s-2000-7558
- Fitzgerald, K. D., Zbrozek, C. D., Welsh, R. C., Britton, J. C., Liberzon, I. i Taylor, S. F. (2008). Pilot study of response inhibition and error processing in the posterior medial prefrontal cortex in healthy youth. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 49(9), 986-994. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2008.01906.x>
- Fiore, F., Borella, E., Mammarella, I. C. i De Beni, R. (2012). Age differences in verbal and visuo-spatial working memory updating: Evidence from analysis of serial position curves. *Memory*, 20(1), 14-27. <https://doi.org/10.1080/09658211.2011.628320>
- Fisk, J. E. i Warr, P. (1996). Age and working memory: the role of perceptual speed, the central executive, and the phonological loop. *Psychology and aging*, 11(2), 316.
- Fregni, F., Boggio, P. S., Nitsche, M., Bermanpohl, F., Antal, A., Feredoes, E., ... i Pascual-Leone, A. (2005). Anodal transcranial direct current stimulation of prefrontal cortex enhances working memory. *Experimental brain research*, 166(1), 23-30. <https://doi.org/10.1007/s00221-005-2334-6>
- Fregni, F., Nitsche, M., Loo, C., Brunoni, A., Marangolo, P., Leite, J.,... i Bikson, M. (2015). Regulatory Considerations for the Clinical and Research Use of Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS): review and recommendations from an expert panel. *Clinical*

- Research and Regulatory Affairs*, 32(1), 22–35.
<https://doi.org/10.3109/10601333.2015.980944>
- Friebs, M. A. i Frings, C. (2019). Offline beats online: transcranial direct current stimulation timing influences on working memory. *Neuroreport*, 30(12), 795–799.
<https://doi.org/10.1097/WNR.0000000000001272>
- Friebs, M. A., Frings, C. i Hartwigsen, G. (2021). Effects of single-session transcranial direct current stimulation on reactive response inhibition. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 128, 749–765. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2021.07.013>
- Fritsch, B., Reis, J., Martinowich, K., Schambra, H. M., Ji, Y., Cohen, L. G. i Lu, B. (2010). Direct current stimulation promotes BDNF-dependent synaptic plasticity: potential implications for motor learning. *Neuron*, 66(2), 198–204.
<https://doi.org/10.1016/j.neuron.2010.03.035>
- Funahashi, S., Bruce, C. J. i Goldman-Rakic, P. S. (1989). Mnemonic coding of visual space in the monkey's dorsolateral prefrontal cortex. *Journal of neurophysiology*, 61(2), 331–349.
<https://doi.org/10.1152/jn.1989.61.2.331>
- Garavan, H., Ross, T. J. i Stein, E. A. (1999). Right hemispheric dominance of inhibitory control: an event-related functional MRI study. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96(14), 8301–8306. <https://doi.org/10.1073/pnas.96.14.8301>
- Garavan, H., Hester, R., Murphy, K., Fassbender, C. i Kelly, C. (2006). Individual differences in the functional neuroanatomy of inhibitory control. *Brain research*, 1105(1), 130–142.
<https://doi.org/10.1016/j.brainres.2006.03.029>
- Gartside, I. B. (1968). Mechanisms of sustained increases of firing rate of neurones in the rat cerebral cortex after polarization: role of protein synthesis. *Nature*, 220(5165), 383–384.
<https://doi.org/10.1038/220383a0>
- Gbadeyan, O., McMahon, K., Steinhauser, M. i Meinzer, M. (2016). Stimulation of dorsolateral prefrontal cortex enhances adaptive cognitive control: A high-definition transcranial direct current stimulation study. *Journal of Neuroscience*, 36(50), 12530– 12536.
<https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2450-16.2016>
- Gebodh, N., Esmaeilpour, Z., Adair, D., Schestattsky, P., Fregni, F. i Bikson, M. (2019). Transcranial Direct Current Stimulation Among Technologies for Low-Intensity Transcranial Electrical Stimulation: Classification, History, and Terminology. U: H. Knotkova, M.A. Nitsche, M. Bikson, A.J. Woods (Ur.), *Practical Guide to Transcranial Direct Current Stimulation* (str. 3–45). Springer International Publishing.
- Giglia, G., Brighina, F., Rizzo, S., Puma, A., Indovino, S., Maccora, S., ...i Fierro, B. (2014). Anodal transcranial direct current stimulation of the right dorsolateral prefrontal cortex enhances memory-guided responses in a visuospatial working memory task. *Functional Neurology*, 29(3), 189–193.
- Gill, J., Shah-Basak, P. P. i Hamilton, R. (2015). It's the thought that counts: examining the task-dependent effects of transcranial direct current stimulation on executive function. *Brain Stimulation*, 8(2), 253–259. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2014.10.018>
- Gomez, P., Ratcliff, R., & Perea, M. (2007). A model of the go/no-go task. *Journal of Experimental Psychology: General*, 136(3), 389–413. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.136.3.389>

- Hampshire, A., Chamberlain, S. R., Monti, M. M., Duncan, J. i Owen, A. M. (2010). The role of the right inferior frontal gyrus: inhibition and attentional control. *Neuroimage*, 50(3), 1313-1319. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.12.109>
- Harnishfeger, K. K. (1995). The development of cognitive inhibition: Theories, definitions, and research evidence. U *Interference and inhibition in cognition* (str. 175-204). Academic Press.
- Henik, A., i Tzelgov, J. (1982). Is three greater than five: The relation between physical and semantic size in comparison tasks. *Memory & Cognition*, 10, 389–395. <https://doi.org/10.3758/BF03202431>
- Hester, R., Murphy, K. i Garavan, H. (2004). Beyond common resources: The cortical basis for resolving task interference. *NeuroImage*, 23, 202–212. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.05.024>
- Hilbert, S., Nakagawa, T. T., Bindl, M. i Bühner, M. (2014). The spatial Stroop effect: A comparison of color-word and position-word interference. *Psychonomic bulletin & review*, 21(6), 1509-1515. <https://doi.org/10.3758/s13423-014-0631-4>
- Hill, A. T., Fitzgerald, P. B. i Hoy, K. E. (2016). Effects of anodal transcranial direct current stimulation on working memory: a systematic review and meta-analysis of findings from healthy and neuropsychiatric populations. *Brain stimulation*, 9(2), 197-208. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2015.10.006>
- Hill, A. T., Rogasch, N. C., Fitzgerald, P. B. i Hoy, K. E. (2017). Effects of prefrontal bipolar and high-definition transcranial direct current stimulation on cortical reactivity and working memory in healthy adults. *NeuroImage*, 152, 142–157. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.03.001>
- Hill, A. T., Rogasch, N. C., Fitzgerald, P. B. i Hoy, K. E. (2018). Effects of single versus dual-site High-Definition transcranial direct current stimulation (HD-tDCS) on cortical reactivity and working memory performance in healthy subjects. *Brain Stimulation*, 11(5), 1033–1043. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2018.06.005>
- Hilbert, S., Nakagawa, T.T., Puci, P., Zech, A. i Bühner, M. (2015). The digit span backwards task: Verbal and visual cognitive strategies in working memory assessment. *European Journal of Psychological Assessment*, 31(3), 174–180. <https://doi.org/10.1027/1015/5759/a000223>
- Ho, K. A., Taylor, J. L., Chew, T., Gálvez, V., Alonzo, A., Bai, S., ... i Loo, C. K. (2016). The effect of transcranial direct current stimulation (tDCS) electrode size and current intensity on motor cortical excitability: evidence from single and repeated sessions. *Brain stimulation*, 9(1), 1-7.
- Hommel, B. (2011). The Simon effect as tool and heuristic. *Acta psychologica*, 136(2), 189-202. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2010.04.011>
- Hoy, K. E., Emonson, M. R. L., Arnold, S. L., Thomson, R. H., Daskalakis, Z. J. i Fitzgerald, P. B. (2013). Testing the limits: Investigating the effect of tDCS dose on working memory enhancement in healthy controls. *Neuropsychologia*, 51(9), 1777–1784. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2013.05.018>

- Huang, Y., Su, L. i Ma, Q. (2020). The Stroop effect: An activation likelihood estimation meta-analysis in healthy young adults. *Neuroscience Letters*, 716. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2019.134683>
- Imburgio, M. J. i Orr, J. M. (2018). Effects of prefrontal tDCS on executive function: Methodological considerations revealed by meta-analysis. *Neuropsychologia*, 117, 156-166. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2018.04.022>
- Indahlastari, A., Hardcastle, C., Albizu, A., Alvarez-Alvarado, S., Boutzoukas, E. M., Evangelista, N. D., ... i Woods, A. J. (2021). A systematic review and meta-analysis of transcranial direct current stimulation to remediate age-related cognitive decline in healthy older adults. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*, 17, 971. 10.2147/NDT.S259499
- Islam, N., Aftabuddin, M., Moriwaki, A., Hattori, Y. i Hori, Y. (1995). Increase in the calcium level following anodal polarization in the rat brain. *Brain research*, 684(2), 206-208. [https://doi.org/10.1016/0006-8993\(95\)00434-R](https://doi.org/10.1016/0006-8993(95)00434-R)
- Jamil, A., Batsikadze, G., Kuo, H. I., Labruna, L., Hasan, A., Paulus, W. i Nitsche, M. A. (2017). Systematic evaluation of the impact of stimulation intensity on neuroplastic after-effects induced by transcranial direct current stimulation. *The Journal of physiology*, 595(4), 1273-1288. <https://doi.org/10.1113/JP272738>
- Jacobson, L., Koslowsky, M. i Lavidor, M. (2012). tDCS polarity effects in motor and cognitive domains: a meta-analytical review. *Experimental Brain Research*, 216, 1–10. <https://doi.org/10.1007/s00221-011-2891-9>
- Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Perrig, W. J. i Meier, B. (2010). The concurrent validity of the N-back task as a working memory measure. *Memory*, 18(4), 394-412. <https://doi.org/10.1080/09658211003702171>
- Jeon, S. Y. i Han, S. J. (2012). Improvement of the working memory and naming by transcranial direct current stimulation. *Annals of Rehabilitation Medicine*, 36(5), 585–595. <https://doi.org/10.5535/arm.2012.36.5.585>
- Jones, K. T. i Berryhill, M. E. (2012). Parietal contributions to visual working memory depend on task difficulty. *Frontiers in Psychiatry*, 3, 81. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2012.00081>
- Jung, R. E. i Haier, R. J. (2007). The Parieto-Frontal Integration Theory (P-FIT) of intelligence: converging neuroimaging evidence. *Behavioral and brain sciences*, 30(2), 135-154. <https://doi.org/10.1017/S0140525X0700118>
- Karuza, E. A., Balewski, Z. Z., Hamilton, R. H., Medaglia, J. D., Tardiff, N. i Thompson-Schill, S. L. (2016). Mapping the parameter space of tDCS and cognitive control via manipulation of current polarity and intensity. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10, 1–9. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00665>
- Keeser, D., Padberg, F., Reisinger, E., Pogarell, O., Kirsch, V., Palm, U., ...i Mulert, C. (2011). Prefrontal direct current stimulation modulates resting EEG and event-related potentials in healthy subjects: a standardized low resolution tomography (sLORETA) study. *NeuroImage*, 55(2), 644–657. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.12.004>

- Keshvari, F., Pouretmad, H. R. i Ekhtiari, H. (2013). The polarity-dependent effects of the bilateral brain stimulation on working memory. *Basic and Clinical Neuroscience*, 4(3), 224–231.
- Knorr, E. i Neubauer, A. C. (1996). Speed of information processing in an inductive reasoning task and its relationship to psychometric intelligence. *Personality and Individual Differences*, 20, 653–660. [https://doi.org/10.1016/0191-8869\(96\)00020-7](https://doi.org/10.1016/0191-8869(96)00020-7)
- Kolesarić, V. (2006). *Analiza varijance u psihologijskim istraživanjima*. Tiskara i knjigovežnica Filozofskog fakulteta u Osijeku.
- Lally, N., Nord, C. L., Walsh, V. i Roiser, J. P. (2013). Does excitatory fronto-extracerebral tDCS lead to improved working memory performance? *F1000Research*, 2, 219. <https://doi.org/10.12688/f1000research.2-219.v2>
- Langenecker, S. A. i Nielson, K. A. (2003). Frontal recruitment during response inhibition in older adults replicated with fMRI. *NeuroImage*, 20, 1384–1392. [https://doi.org/10.1016/S1053-8119\(03\)00372-0](https://doi.org/10.1016/S1053-8119(03)00372-0)
- Li, L. M., Uehara, K. i Hanakawa, T. (2015). The contribution of interindividual factors to variability of response in transcranial direct current stimulation studies. *Frontiers in Cellular Neuroscience*, 9, 181. <https://doi.org/10.3389/fncel.2015.00181>
- Liebetanz, D., Nitsche, M. A., Tergau, F. i Paulus, W. (2002). Pharmacological approach to the mechanisms of transcranial DC-stimulation-induced after-effects of human motor cortex excitability. *Brain*, 125(10), 2238–2247. <https://doi.org/10.1093/brain/awf238>
- Levy, R. i Goldman-Rakic, P. S. (1999). Association of storage and processing functions in the dorsolateral prefrontal cortex of the nonhuman primate. *Journal of Neuroscience*, 19(12), 5149–5158. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.19-12-05149.1999>
- Loftus, A. M., Yalcin, O., Baughman, F. D., Vanman, E. J. i Hagger, M. S. (2015). The impact of transcranial direct current stimulation on inhibitory control in young adults. *Brain and Behavior*, 5(5), 1–9. <https://doi.org/10.1002/brb3.332>
- MacDonald, A. W., Cohen, J. D., Stenger, V. A. i Carter, C. S. (2000). Dissociating the role of the dorsolateral prefrontal and anterior cingulate cortex in cognitive control. *Science*, 288(5472), 1835–1838. [10.1126/science.288.5472.1835](https://doi.org/10.1126/science.288.5472.1835)
- Malloy-Diniz, L. F., Miranda, D. M. i Grassi-Oliveira, R. (2017). Executive functions in psychiatric disorders. *Frontiers in psychology*, 8, 1461. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01461>
- Mancuso, L. E., Ilieva, I. P., Hamilton, R. H. i Farah, M. J. (2016). Does transcranial direct current stimulation improve healthy working memory?: a meta-analytic review. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 28(8), 1063–1089. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00956
- Mathôt, S., Schreij, D. i Theeuwes, J. (2012). OpenSesame: An open-source, graphical experiment builder for the social sciences. *Behavior Research Methods*, 44(2), 314–324. <https://doi.org/10.3758/s13428-011-0168-7>
- McNab, F., Leroux, G., Strand, F., Thorell, L., Bergman, S. i Klingberg, T. (2008). Common and unique components of inhibition and working memory: an fMRI, within-subjects investigation. *Neuropsychologia*, 46(11), 2668–2682. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2008.04.023>

- Medina, J. i Cason, S. (2017). No evidential value in samples of transcranial direct current stimulation (tDCS) studies of cognition and working memory in healthy populations. *Cortex*, 94, 131-141. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2017.06.021>
- Migliorini, R., Moore, E. M., Glass, L., Infante, M. A., Tapert, S. F., Jones, K. L., ... i Riley, E. P. (2015). Anterior cingulate cortex surface area relates to behavioral inhibition in adolescents with and without heavy prenatal alcohol exposure. *Behavioural brain research*, 292, 26-35. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2015.05.037>
- Miranda, P. C., Lomarev, M. i Hallett, M. (2006). Modeling the current distribution during transcranial direct current stimulation. *Clinical Neurophysiology*, 117(7), 1623–1629. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2006.04.009>
- Miranda, M., Morici, J. F., Zanoni, M. B. i Bekinschtein, P. (2019). Brain-derived neurotrophic factor: a key molecule for memory in the healthy and the pathological brain. *Frontiers in cellular neuroscience*, 363. <https://doi.org/10.3389/fncel.2019.00363>
- Mitchell, R. L. i Phillips, L. H. (2007). The psychological, neurochemical and functional neuroanatomical mediators of the effects of positive and negative mood on executive functions. *Neuropsychologia*, 45(4), 617-629. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.06.030>
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A. i Wager, T. D. (2000). The Unity and Diversity of Executive Functions and Their Contributions to Complex “Frontal Lobe” Tasks: A Latent Variable Analysis. *Cognitive Psychology*, 41(1), 49–100. <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.073>
- Miyake, A. i Friedman, N. P. (2012). The nature and organization of individual differences in executive functions: Four general conclusions. *Current Directions in Psychological Science*, 21(1), 8–14. <https://doi.org/10.1177/0963721411429458>
- Moliadze, V., Antal, A. i Paulus, W. (2010). Electrode-distance dependent after-effects of transcranial direct and random noise stimulation with extracephalic reference electrodes. *Clinical Neurophysiology*, 121(12), 2165-2171. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2010.04.033>
- Morris, N. i Jones, D. M. (1990). Memory updating in working memory: The role of the central executive. *British Journal of Psychology*, 81, 111– 121. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1990.tb02349.x>
- Morrison, F. J., Ponitz, C. C. i McClelland, M. M. (2010). Self-regulation and academic achievement in the transition to school. U S. D. Calkins i M. A. Bell (Ur.), *Child development at the intersection of emotion and cognition* (str. 203–224). American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/12059-011>
- Mostofsky, S. H., Schafer, J. G., Abrams, M. T., Goldberg, M. C., Flower, A. A., Boyce, A., ... i Pekar, J. J. (2003). fMRI evidence that the neural basis of response inhibition is task-dependent. *Cognitive brain research*, 17(2), 419-430. [https://doi.org/10.1016/S0926-6410\(03\)00144-7](https://doi.org/10.1016/S0926-6410(03)00144-7)
- Mulquiney, P. G., Hoy, K. E., Daskalakis, Z. J. i Fitzgerald, P. B. (2011). Improving working memory: Exploring the effect of transcranial random noise stimulation and transcranial direct current stimulation on the dorsolateral prefrontal cortex. *Clinical Neurophysiology*, 122(12), 2384–2389. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2011.05.009>

- Munoz, D. P. i Everling, S. (2004). Look away: the anti-saccade task and the voluntary control of eye movement. *Nature Reviews Neuroscience*, 5(3), 218-228. <https://doi.org/10.1038/nrn1345>
- Mylius, V., Jung, M., Menzler, K., Haag, A., Khader, P. H., Oertel, W. H., ... i Lefaucheur, J.-P. (2012). Effects of transcranial direct current stimulation on pain perception and working memory. *European Journal of Pain*, 16(7), 974-982. <https://doi.org/10.1002/j.1532-2149.2011.00105.x>
- Nigg, J. T. (2000). On inhibition/disinhibition in developmental psychopathology: views from cognitive and personality psychology and a working inhibition taxonomy. *Psychological bulletin*, 126(2), 220. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.126.2.220>
- Nigg, J. T. (2017). Annual Research Review: On the relations among self-regulation, self-control, executive functioning, effortful control, cognitive control, impulsivity, risk-taking, and inhibition for developmental psychopathology. *Journal of child psychology and psychiatry*, 58(4), 361-383. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12675>
- Nikolin, S., Martin, D., Loo, C. K. i Boonstra, T. W. (2018). Effects of TDCS dosage on working memory in healthy participants. *Brain stimulation*, 11(3), 518-527. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2018.01.003>
- Nilsson, J., Lebedev, A. V. i Lovden, M. (2015). No significant effect of prefrontal tdc on working memory performance in older adults. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 7, 230. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2015.00230>
- Nitsche, M. A. i Paulus, W. (2001). Sustained excitability elevations induced by transcranial DC motor cortex stimulation in humans. *Neurology*, 57(10), 1899-1901. <https://doi.org/10.1212/WNL.57.10.1899>
- Nitsche, M. A., Cohen, L. G., Wassermann, E. M., Priori, A., Lang, N., Antal, A., ... i Pascual-Leone, A. (2008). Transcranial direct current stimulation: State of the art 2008. *Brain Stimulation*, 1(3), 206-223. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2008.06.004>
- Norman, D.A. i Shallice, T. (1986). Attention to Action. U: Davidson, R.J., Schwartz, G.E., Shapiro, D. (Ur.), *Consciousness and Self-Regulation* (str. 1-18). Springer, https://doi.org/10.1007/978-1-4757-0629-1_1
- Ohn, S. H., Park, C.-I., Yoo, W.-K., Ko, M.-H., Choi, K. P., Kim, G.-M., ... i Kim, Y.-H. (2008). Time-dependent effect of transcranial direct current stimulation on the enhancement of working memory. *NeuroReport*, 19(1), 43-47. <https://doi.org/10.1097/WNR.0b013e3282f2adfd>
- Ouellet, J., McGirr, A., Van den Eynde, F., Jollant, F., Lepage, M., & Berlim, M. T. (2015). Enhancing decision-making and cognitive impulse control with transcranial direct current stimulation (tDCS) applied over the orbitofrontal cortex (OFC): A randomized and sham-controlled exploratory study. *Journal of Psychiatric Research*, 69, 27-34. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2015.07.018>
- Owen, A. M., Doyon, J., Petrides, M. i Evans, A. C. (1996). Planning and spatial working memory: a positron emission tomography study in humans. *European Journal of Neuroscience*, 8(2), 353-364. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.1996.tb01219.x>

- Owen, A. M., McMillan, K. M., Laird, A. R i Bullmore, E. (2005). N-back working memory paradigm: A meta-analysis of normative functional neuroimaging studies. *Human brain mapping*, 25(1), 46-59. <https://doi.org/10.1002/hbm.20131>
- Palm, U., Hasan, A., Strube, W. i Padberg, F. (2016). tDCS for the treatment of depression: a comprehensive review. *European archives of psychiatry and clinical neuroscience*, 266(8), 681-694. <https://doi.org/10.1007/s00406-016-0674-9>
- Paunović, D. (2018). *Efekti neuromodulacije posteriorne parijetalne kore na egzekutivnu funkciju ažuriranja*. [Neobjavljeni magistarski rad]. Odsjek za psihologiju Filozofskog fakulteta u Beogradu.
- Perrotta, D., Bianco, V., Berchicci, M., Quinzi, F. i Perri, R. L. (2021). Anodal tDCS over the dorsolateral prefrontal cortex reduces Stroop errors. A comparison of different tasks and designs. *Behavioural Brain Research*, 405, 113215. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2021.113215>
- Petrides, M. (1996). Specialized systems for the processing of mnemonic information within the primate frontal cortex. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 351(1346), 1455-1462. <https://doi.org/10.1098/rstb.1996.0130>
- Petrides, M. (2000). The role of the mid-dorsolateral prefrontal cortex in working memory. *Experimental brain research*, 133(1), 44-54. <https://doi.org/10.1007/s002210000399>
- Petrides, M. (2005). Lateral prefrontal cortex: architectonic and functional organization. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 360(1456), 781-795. <https://doi.org/10.1098/rstb.2005.1631>
- Pinto, C. B., Costa, B. T., Duarte, D. i Fregni, F. (2018). Transcranial direct current stimulation as a therapeutic tool for chronic pain. *The journal of ECT*, 34(3), e36. 10.1097/YCT.0000000000000518
- Ramaraju, S., Roula, M. A. i McCarthy, P. W. (2020). Transcranial direct current stimulation and working memory: Comparison of effect on learning shapes and English letters. *PLoS ONE*, 15(7), 1–12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222688>
- Ramsay, M. C. i Reynolds, C. R. (1995). Separate digits tests: A brief history, a literature review, and a reexamination of the factor structure of the Test of Memory and Learning (TOMAL). *Neuropsychology review*, 5(3), 151–171. <https://doi.org/10.1007/BF02214760>
- Rao, S. C., Rainer, G. i Miller, E. K. (1997). Integration of what and where in the primate prefrontal cortex. *Science*, 276(5313), 821-824. 10.1126/science.276.5313.821
- Roncero, C., Kniefel, H., Service, E., Thiel, A., Probst, S. i Chertkow, H. (2017). Inferior parietal transcranial direct current stimulation with training improves cognition in amoxic Alzheimer's disease and frontotemporal dementia. *Alzheimer's & Dementia: Translational Research & Clinical Interventions*, 3(2), 247-253. <https://doi.org/10.1016/j.trci.2017.03.003>
- Salehinejad, M. A., Wischnewski, M., Nejati, V., Vicario, C. M. i Nitsche, M. A. (2019). Transcranial direct current stimulation in attention-deficit hyperactivity disorder: a meta-

- analysis of neuropsychological deficits. *PloS one*, 14(4), e0215095. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0221613>
- Shields, G. S., Sazma, M. A. i Yonelinas, A. P. (2016). The effects of acute stress on core executive functions: A meta-analysis and comparison with cortisol. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 68, 651-668. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.06.038>
- Shipstead, Z., Redick, T. S. i Engle, R. W. (2012). Is working memory training effective?. *Psychological bulletin*, 138(4), 628. <https://doi.org/10.1037/a0027473>
- Schneider, W. i Shiffrin, R. M. (1977). Controlled and automatic human information processing: I. Detection, search, and attention. *Psychological review*, 84(1), 1-66. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.84.1.1>
- Schlaug, G., Renga, V. i Nair, D. (2008). Transcranial direct current stimulation in stroke recovery. *Archives of neurology*, 65(12), 1571-1576. 10.1001/archneur.65.12.1571
- Schroeder, P. A., Schwippel, T., Wolz, I. i Svaldi, J. (2020). Meta-analysis of the effects of transcranial direct current stimulation on inhibitory control. *Brain Stimulation*, 13(5), 1159-1167. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215095>
- Sellers, K. K., Mellin, J. M., Lustenberger, C. M., Boyle, M. R., Lee, W. H., Peterchev, A. V, i Frohlich, F. (2015). Transcranial direct current stimulation (tDCS) of frontal cortex decreases performance on the WAIS-IV intelligence test. *Behavioural Brain Research*, 290, 32–44. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2015.04.031>
- Sethi, A., Mischel, W., Aber, J. L., Shoda, Y. i Rodriguez, M. L. (2000). The role of strategic attention deployment in development of self-regulation: Predicting preschoolers' delay of gratification from mother–toddler interactions. *Developmental Psychology*, 36(6), 767. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.36.6.767>
- Skurvydas, A., Kazlauskaitė, D., Zlibinaite, L., Cekanauskaitė, A., Valanciene, D., Karanauskiene, D., ... i Satas, A. (2021). Effects of two nights of sleep deprivation on executive function and central and peripheral fatigue during maximal voluntary contraction lasting 60s. *Physiology & Behavior*, 229, 113226. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2020.113226>
- St Clair-Thompson, H. L. i Gathercole, S. E. (2006). Executive functions and achievements in school: Shifting, updating, inhibition, and working memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59(4), 745–759. <https://doi.org/10.1080/17470210500162854>
- Stagg, C. J. i Nitsche, M. A. (2011). Physiological basis of transcranial direct current stimulation. *Neuroscientist*, 17(1), 37–53. <https://doi.org/10.1177/1073858410386614>
- Steele, V. R., Aharoni, E., Munro, G. E., Calhoun, V. D., Nyalakanti, P., Stevens, M. C., ... i Kiehl, K. A. (2013). A large scale (N= 102) functional neuroimaging study of response inhibition in a Go/NoGo task. *Behavioural Brain Research*, 256, 529-536. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2013.06.001>
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18(6), 643–662. <https://doi.org/10.1037/h0054651>
- Stuss, D. T., Floden, D., Alexander, M. P., Levine, B. i Katz, D. (2001). Stroop performance in focal lesion patients: Dissociation of processes and frontal lobe lesion location. *Neuropsychologia*, 39(8), 771–786. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(01\)00013-6](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(01)00013-6)

- Sylvester, C. Y. C., Wager, T. D., Lacey, S. C., Hernandez, L., Nichols, T. E., Smith, E. E., i Jonides, J. (2003). Switching attention and resolving interference: fMRI measures of executive functions. *Neuropsychologia*, 41(3), 357-370. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(02\)00167-7](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(02)00167-7)
- Swick, D., Ashley, V. i Turken, A. U. (2008). Left inferior frontal gyrus is critical for response inhibition. *BMC Neuroscience*, 9, 1–11. <https://doi.org/10.1186/1471-2202-9-102>
- Takeuchi, H., Taki, Y., Sassa, Y., Hashizume, H., Sekiguchi, A., Nagase, T., ... i Kawashima, R. (2012). Regional gray and white matter volume associated with Stroop interference: evidence from voxel-based morphometry. *Neuroimage*, 59(3), 2899-2907. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.09.064>
- Thunberg, C., Messel, M. S., Raud, L. i Huster, R. J. (2020). tDCS over the inferior frontal gyri and visual cortices did not improve response inhibition. *Scientific Reports*, 10(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62921-z>
- Toh, W. X., Yang, H. i Hartanto, A. (2020). Executive function and subjective well-being in middle and late adulthood. *The Journals of Gerontology: Series B*, 75(6), e69-e77. <https://doi.org/10.1093/geronb/gbz006>
- Vanderhasselt, M. A., De Raedt, R. i Baeken, C. (2009). Dorsolateral prefrontal cortex and Stroop performance: Tackling the lateralization. *Psychonomic Bulletin & Review*, 16(3), 609–612. <https://doi.org/10.3758/PBR.16.3.609>
- Vendrell, P., Junqué, C., Pujol, J., Jurado, M. A., Molet, J. i Grafman, J. (1995). The role of prefrontal regions in the Stroop task. *Neuropsychologia*, 33(3), 341–352. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(94\)00116-7](https://doi.org/10.1016/0028-3932(94)00116-7)
- Verdejo-García, A. i Pérez-García, M. (2007). Ecological assessment of executive functions in substance dependent individuals. *Drug and alcohol dependence*, 90(1), 48-55. <https://doi.org/10.1016/j.drugalcdep.2007.02.010>
- Ward, J. (2015). *The Student's Guide to Cognitive Neuroscience, Third Edition*. Psychology Press.
- Wechsler, D. (2008). *Wechsler Adult Intelligence Scale: Technical and interpretive manual (4th ed.)*. Pearson.
- Wischnewski, M., Mantell, K. E. i Opitz, A. (2021). Identifying regions in prefrontal cortex related to working memory improvement: A novel meta-analytic method using electric field modeling. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 130, 147-161. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2021.08.017>
- Wilhelm, O., Hildebrandt, A., i Oberauer, K. (2013). What is working memory capacity, and how can we measure it? *Frontiers in Psychology*, 4, 433. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00433>
- Woods, A. J., Antal, A., Bikson, M., Boggio, P. S., Brunoni, A. R., Celnik, P., ... i Nitsche, M. A. (2016). A technical guide to tDCS, and related non-invasive brain stimulation tools. *Clinical Neurophysiology*, 127(2), 1031–1048. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2015.11.012>
- Wu, Y.-J., Tseng, P., Chang, C.-F., Pai, M.-C., Hsu, K.-S., Lin, C.-C. i Juan, C.-H. (2014). Modulating the interference effect on spatial working memory by applying transcranial

direct current stimulation over the right dorsolateral prefrontal cortex. *Brain and Cognition*, 91, 87–94. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2014.09.002>

Zaehle, T., Sandmann, P., Thorne, J. D., Jancke, L. i Herrmann, C. S. (2011). Transcranial direct current stimulation of the prefrontal cortex modulates working memory performance: combined behavioural and electrophysiological evidence. *BMC Neuroscience*, 12, 2. <https://doi.org/10.1186/1471-2202-12-2>

Živanović, M. (2019). *Efekti transkranijalne neuromodulacije fronto-parijetalne funkcionalne mreže na više kognitivne funkcije*. [Neobjavljeni doktorski rad]. Odsjek za psihologiju Filozofskog fakulteta u Beogradu.

PRILOZI

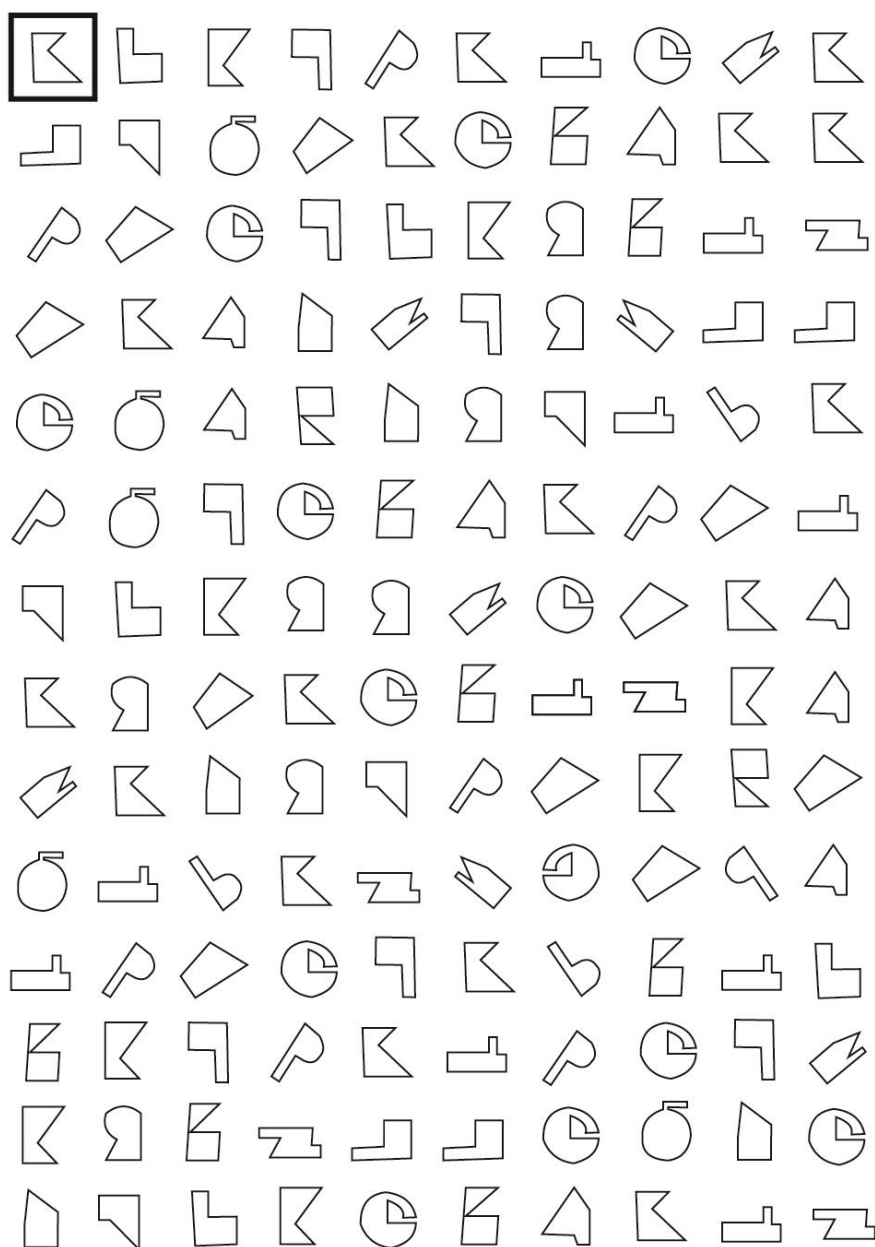
Prilog 1

Zadatak perceptivne brzine

Forma A – primijenjena u obje sesije u pred-testu

TEST A1

Ispred Vas se nalaze različiti oblici. Vaš je zadatak prekrížiti one oblike koji su jednaki obliku koji je označen podebljanim pravokutnikom. Prekrížite samo oblike identične istaknutom obliku po obliku i orijentaciji. Vrijeme potrebno za obavljanje zadatka će biti mjereno.

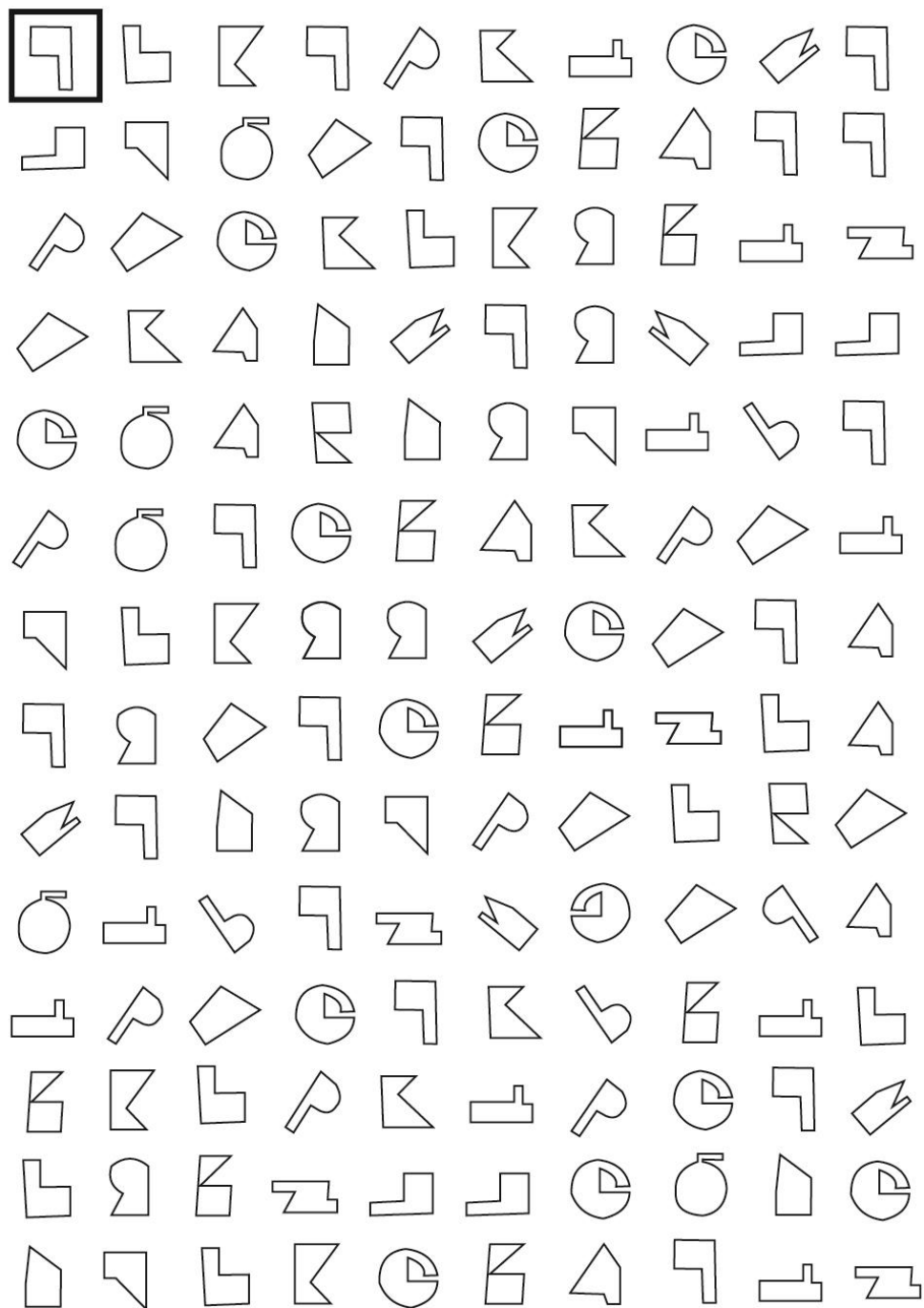


Ispitanik/ca: _____

Forma B – primijenjena u obje sesije u post-testu

TEST B1

Ispred Vas se nalaze različiti oblici. Vaš je zadatak prekriziti one oblike koji su jednaki obliku koji je označen podebljanim pravokutnikom. Prekrižite samo oblike identične istaknutom obliku po obliku i orijentaciji. Vrijeme potrebno za obavljanje zadatka će biti mjereno.



Ispitanik/ca: _____

Prilog 2

Pristupni upitnik

Pristupni upitnik objavljen je *online* te je uključivao ispitivanje postojanja kontraindikacija za tDCS eksperiment, dosadašnje iskustvo s tDCS-om ili sličnim oblikom neuromodulacije te upitnik dominantnosti ruke. U nastavku slijedi prikaz navedenog sadržaja.

Poštovani,

Pred Vama se nalazi upitnik kojim želimo ispitati neke faktore podobnosti za sudjelovanje u studiji neinvazivne transkranijalne stimulacije izravnom strujom, a namijenjen je punoljetnim osobama do 30 godina. Ovi faktori uključuju ispitivanje dosadašnjeg iskustva s navedenim tipom istraživanja, potencijalne kontraindikacije za ovaj tip stimulacije te dominantnost ruke. Vaše je sudjelovanje dobrovoljno, a na kraju upitnika ćemo Vas zamoliti za Vaš kontakt kako bismo Vas po ispunjavanju kontaktirali vezano uz potencijalni nastavak sudjelovanja u studiji. Ispunjavanje kontakta nije obavezno no ako želite dobiti povratnu informaciju o sudjelovanju u studiji te potencijalno nastaviti istraživanje u ulozi ispitanika, molimo Vas da ispunite polja vezana uz Vaš kontakt. Uvid u ove podatke imat će isključivo istraživač.

Molimo Vas da na pitanja odgovarate iskreno. U bilo kojem trenu možete odustati od ispunjavanja upitnika.

Podaci se prikupljaju u svrhu selekcije ispitanika za sudjelovanje u eksperimentalnom dijelu istraživanja u svrhu izrade diplomskog rada studentice Marije Magdalene Šamal na Odsjeku za psihologiju Filozofskog fakulteta u Zagrebu pod mentorstvom dr.sc. Ivane Hromatko.

Predviđeno trajanje ispunjavanja upitnika je oko 7 minuta.

Ako imate pitanja, pozivamo Vas da se slobodno javite na samal.marija@gmail.com.

Pritiskom na tipku „Sljedeće“ dajete svoj pristanak za prikupljanje opisanih podataka u svrhu selekcije ispitanika za eksperimentalni dio istraživanja.

Hvala Vam na sudjelovanju i izdvojenom vremenu!

1/ Demografski podaci

Molimo Vas da ispunite tražene podatke.

1. Vi ste:

- Žena

- Muškarac
 - Imam drugi rodni identitet
2. Koliko imate godina?
3. Koji je najviši stupanj obrazovanja koji ste završili?
- Osnovna škola
 - Srednja škola
 - Preddiplomski studij / viša škola (VŠS)
 - Diplomski studij
 - Poslijediplomski studij/ doktorski studij

2/ Kontraindikacije za sudjelovanje u istraživanju

Molim Vas da na sva pitanja koja slijede odgovorite iskreno zbog njihove vlastite sigurnosti/dobrobiti . Ako Vam bilo koje pitanje ili pojam u ovom upitniku nije dovoljno jasan, ili niste sigurni kako da odgovorite, molimo Vas da se ne oklijevate javiti se sa svojim upitom na samal.marija@gmail.com.

	Da	Ne
1. Jeste li ikad doživjeli epileptični napad?		
2. Postoji li u Vašoj obitelji povijest epilepsije?		
3. Jeste li imali povredu glave koja je dovela do gubitka svijesti?		
4. Jeste li imali povredu glave koja je uključivala daljnji tretman (uključujući operaciju mozga)?		
5. Imate li migrene?		
6. Imate li trenutno medicinsku dijagnozu koja se odnosi na psihološko ili neurološko stanje?		
7. Izuzimajući usnu šupljinu, imate li trenutno metalni objekt u predjelu glave (pr. kirurške spojnice)?		
8. Imate li u tijelo ugrađen neki uređaj (pr. <i>pacemaker</i> , stimulator mozga)?		
9. Imate li kožno oboljenje na području glave (pr. psorijaza)?		

10. Imate li oštećenja ili rane na području glave koje još nisu potpuno zarasle?		
11. Uzimate li trenutno psihofarmake (lijekovi koji utječu na psihičke procese, a obuhvaćaju psiholeptike, psihoanaleptike i ostale lijekove koji djeluju na središnji živčani sustav poput lijekova za liječenje ovisnosti o alkoholu i opioidima, te lijekova za liječenje vrtoglavice)?		
12. Za ispitanice: Postoji li mogućnost da ste trenutno trudni?		

3/ Iskustvo s neuromodulacijom

1. Imate li iskustva s transkranijalnom direktnom stimulacijom strujom (tDCS)?		
2. Imate li iskustvo s transkranijalnom magnetnom stimulacijom?		
3. Jeste li ikada imali negativnu reakciju na tDCS ili bilo koju sličnu tehniku stimulacije mozga (npr. transkranijalna magnetska stimulacija (TMS), transkranijalna slučajna stimulacija bukom (tRNS))?		

4/ Upitnik dominantnosti ruke

U sljedećem će se upitniku ispitivati dominantnost ruke. Molimo Vas da za svako pitanje označite a) lijeva ili b) desna ako Vam je ta ruka izrazito dominantna. Ako se ne možete odlučiti koju ruku češće koristite za ispunjavanje određene aktivnosti, označite c) podjednako lijeva i desna.

	Lijeva	Desna	Podjednako lijeva i desna
1. Pisanje			
2. Crtanje			
3. Bacanje			
4. Korištenje škara			
5. Pranje zubi			

6. Korištenje noža (bez vilice)			
7. Korištenje žlice			
8. Korištenje metle (gornja ruka)			
9. Paljenje šibice			
10. Otvaranje kutije/staklenke (držanje poklopca)			

5/ Vaš kontakt

Ispunjavanje kontakta nije obavezno no ako želite dobiti povratnu informaciju o sudjelovanju u studiji te potencijalno nastaviti istraživanje u ulozi ispitanika, molimo Vas da ispunite sljedeća polja.

Ime i prezime:

E-mail na kojeg Vas se može kontaktirati:

Po završetku upitnika ispitanik dobiva sljedeću poruku:

Zahvaljujemo na Vašem sudjelovanju. Ako ste podijelili svoju e-mail adresu, istraživač će Vas kontaktirati u roku od dva tjedna od Vašeg ispunjavanja upitnika.

Prilog 3

Tablica 2

Rezultati upitnika senzacija za eksperimente sa tDCS-om

	Anodalna stimulacija		Sham stimulacija	
	Pred-test	Post-test	Pred-test	Post-test
	<i>M (SD)</i>	<i>M (SD)</i>	<i>M (SD)</i>	<i>M (SD)</i>
Glavobolja	1.24 (0.54)	1.43 (0.60)	1.20 (0.41)	1.65 (0.81)
Bol u vratu	1.81 (1.08)	1.67 (0.86)	1.55 (0.76)	1.5 (0.76)
Bol u leđima	1.67 (0.97)	1.76 (1.09)	1.6 (0.68)	1.55 (0.76)
Zamagljen vid	1.14 (0.36)	1.38 (0.67)	1.4 (0.82)	1.25 (0.44)
Iritacija područja glave	1.05 (0.22)	1.91 (1.04)	1.05 (0.22)	2.15 (1.14)
Peckanje	1 (0)	1.38 (0.59)	1 (0)	1.8 (1)
Svrbež	1.19 (0.68)	1.95 (1.20)	1.15 (0.37)	2.6 (1.6)
Ubrzan rad srca	1.62 (0.86)	1.14 (0.36)	2 (0.97)	1.3 (0.57)
Valunzi vrućine	1.14 (0.36)	1.10 (0.30)	1.3 (0.57)	1 (0)
Vrtoglavica	1.05 (0.22)	1.29 (0.56)	1 (0)	1.2 (0.41)

Akutna promjena raspoloženja	1.10 (0.3)	1.19 (0.68)	1.25 (0.91)	1.4 (1.1)
Umor	3.29 (1.49)	3.86 (1.56)	3.1 (1.45)	3.55 (1.31)
Anksioznost	1.62 (1.02)	1.24 (0.54)	1.7 (0.80)	1.4 (0.68)

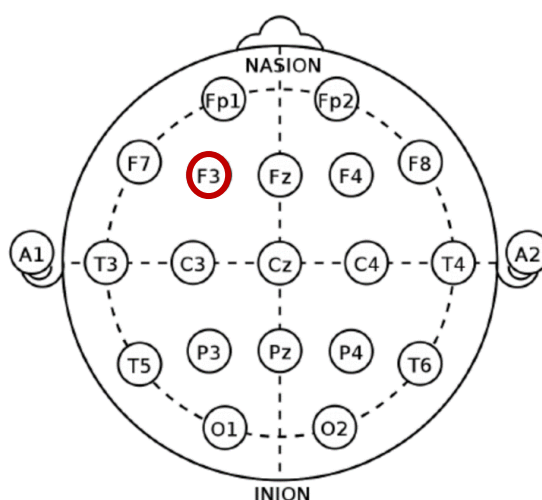
Prilog 4

Protokol postavljanja elektroda

Za transkranijalnu stimulaciju koristi se uređaj NeuroConn DC- STIMULATOR PLUS, u vlasništvu Odsjeka za psihologiju Filozofskog fakulteta u Zagrebu. Ispitaniku će na glavu biti postavljene dvije elektrode – anoda i katoda. Anoda će biti postavljena iznad PFC-a (F3 prema Međunarodnom 10-20 EEG sustavu), a katoda na desni obraz zbog potencijalnih interferirajućih efekata katodne stimulacije. Na Slici 6 prikazana je željena lokacija anode.

Slika 6

Mapa glave po EEG sustavu 10-20 s crveno obilježenom pozicijom anode



Važno je imati na umu da se svi daljnji koraci usmeno prenose ispitaniku. Da bi se elektrode postavile iznad željenih regija, potrebno je izmjeriti glavu ispitanika i razdijeliti kosu kako bi se osigurao čim bolji kontakt elektrode i kože glave. Prije montiranja, obje će se elektrode obložiti spužvicama natopljenima fiziološkom otopinom kako bi se povećala provodljivost i smanjila iritacija kože ispitanika, a zatim će se pomoću trake fiksirati iznad željenih regija. U istraživanju će biti korištene kvadratne elektrode veličine 5x7cm.

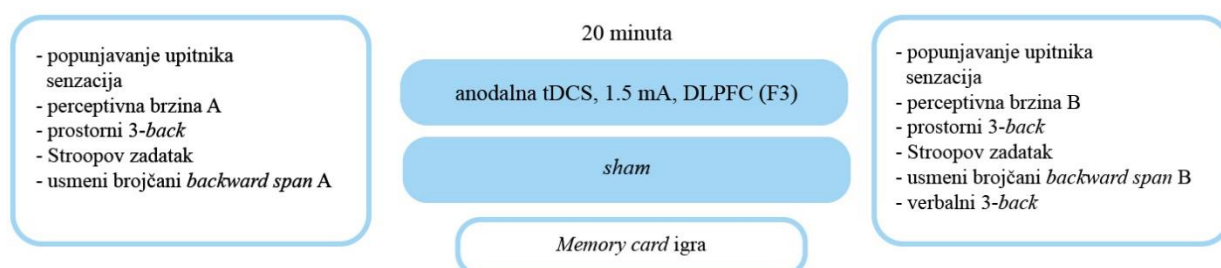
Kako bi se pronašla zona F3, neophodno je utvrditi dimenziju glave od korijena kosa do potiljka, kao i poprečnu dimenziju koja predstavlja razmak između lijevog i desnog korijena vilične kosti. Polovine ovih dimenzija preklapaju se u točki Cz. Eksperimentator metrom uzima ove mjere te se koristi olovku za oči kako bi obilježio točku Cz. Nakon obilježavanja točke Cz, obilježava se pomoćna točka Fz koja se nalazi na 20% uzdužne dimenzije od točke Cz. Pored ove dvije točke, obilježava se točka C3 koja se nalazi na 20% poprečne dimenzije od točke Cz s lijeve strane. Paralelnim povezivanjem točaka Fz i C3 pronalazi se pozicija F3. Elektrode se pomoću trake fiksiraju na željenu lokaciju.

Po završetku eksperimenta, eksperimentator nježno skida elektrode s ispitanikove glave. Koristi se micelarnom vodom kako bi uklonio točke koje je označio prilikom montiranja elektroda. Nakon upotrebe, eksperimentator detaljno dezinficira sve korištene materijale i mijenja spužvice za drugog ispitanika.

Prilog 5

Slika 7

Prikaz eksperimentalnog dijela istraživanja



Objašnjenje: Na Slici 7 je prikazan tok anodalne i sham sesije. Neispunjena polja plavog obruba su provedena bez razlike u obje sesije. Ispunjena plava polja su ono što je razlikovalo dvije sesije – u jednoj je primijenjena anodalna stimulacija, a u drugoj sham stimulacija.

Prilog 6

Provjera statističkih preduvjeta za provedbu primjenjenih parametrijskih testova

Usmeni backward digit span zadatak

Prikupljeni podaci analizirani su Shapiro-Wilkovim testom koji je pokazao distribuciju rezultata koja se statistički značajno razlikuje od normalne za uvjet prije anodalne stimulacije

($W_{21} = .87, p < .01$) te normalnu distribuciju rezultata za uvjet poslije anodalne ($W_{21} = .97, p > .05$) te prije ($W_{21} = .92, p > .05$) i poslije *sham* stimulacije ($W_{21} = .93, p > .05$). Uslijed navedenog, za uvjet koji iznose 0.03 i -1.52.

Također, izračunati su pojedinačni rezultati promjene u duljini maksimalnog niza koji su indikativni za pre-post povećanje niza čija je normalnost distribucije testirana Shapiro-Wilkovim testom. Utvrđeno je da se distribucije promjene u duljini niza za anodalnu ($W_{21} = .88, p < .05$) i *sham* ($W_{21} = .86, p < .01$) stimulaciju značajno razlikuju od normalne, zbog čega su provjereni indeksi asimetričnosti i spljoštenosti za anodalnu (0.64, 0.93) i *sham* (-0.42, -0.38) stimulaciju.

Verbalni 3-back zadatak

Proporcija točnih odgovora. Pri analizi proporcije točnih odgovora, Shapiro-Wilkov test je ukazao na distribuciju rezultata koja se statistički značajno ne razlikuje od normalne za uvjet anodalne stimulacije ($W_{21} = .95, p > .05$) i na granično odstupanje od normalne distribucije za uvjet *sham* stimulacije ($W_{21} = .91, p = .052$) čiji indeksi asimetričnosti i spljoštenosti iznose -.69 i -.45.

Pretpostavka jednakosti kovarijanci u proporciji točnih odgovora u oba mjerenja kroz skupine je zadovoljena ($F_{6,10991.08} = 0.41, p > .05$). Levenov test jednakosti varijanci pogrešaka ukazuje da u mjerenju nakon anodalne ($F_{1,19} = 0.16, p > .05$) i nakon *sham* ($F_{1,19} = 0.01, p > .05$) stimulacije ne postoji statistički značajna razlika u varijancama između različitih redoslijeda zadavanja stimulacije, uslijed čega je moguće zaključiti da je zadovoljena pretpostavka homogenosti varijanci.

RT za točne odgovore. Pri analizi RT za točne odgovore, Shapiro-Wilkov test je ukazao na distribuciju rezultata koja se statistički značajno ne razlikuje od normalne za uvjet anodalne ($W_{21} = .93, p > .05$) i *sham* ($W_{21} = .96, p > .05$) stimulacije.

Pretpostavka jednakosti kovarijanci u proporciji točnih odgovora u oba mjerenja kroz skupine je zadovoljena ($F_{3,99783.92} = 0.44, p > .05$). Levenov test jednakosti varijanci pogrešaka ukazuje da u mjerenju nakon anodalne ($F_{1,19} = 0.23, p > .05$) i nakon *sham* ($F_{1,19} = 0.001, p > .05$) stimulacije ne postoji značajna razlika u varijancama između različitih redoslijeda zadavanja stimulacije.

Stroopov zadatak

Proporcija točnih odgovora. Pri analizi proporcije točnih odgovora, Shapiro-Wilkov test je ukazao na distribuciju rezultata koja se statistički značajno razlikuje od normalne za uvjet prije anodalne ($W_{21} = .85, p > .01$) i poslije anodalne stimulacije ($W_{21} = .90, p > .01$) te prije sham ($W_{21} = .90, p > .01$) i poslije sham stimulacije ($W_{21} = .88, p > .01$), uslijed čega su provjereni indeksi asimetričnosti ($Skw.$) i spljoštenosti (K) koji se nalaze u Tablici 3.

Tablica 3

Indikatori normalnosti distribucije proporcije točnih odgovora s obzirom na uvjet stimulacije i točku mjerenja

	Anodalna stimulacija				Sham stimulacija			
	Pred-test		Post-test		Pred-test		Post-test	
	$Skw.$	K	$Skw.$	K	$Skw.$	K	$Skw.$	K
Proporcija točnih odgovora	-1.17	1.39	-0.97	0.46	-0.91	0.10	-1.23	2.09

Diferencijalno RT za točne odgovore. Pri analizi diferencijalnog rezultata vremena reakcije za točne odgovore, Shapiro-Wilkov test ukazuje na distribuciju rezultata koja se statistički značajno ne razlikuje od normalne za uvjet prije ($W_{21} = .98, p > .05$) i poslije anodalne stimulacije ($W_{21} = .97, p > .05$) te poslije sham stimulacije ($W_{21} = .99, p > .05$). Također, ukazuje da se distribucija rezultata za uvjet prije sham stimulacije statistički značajno razlikuje od normalne ($W_{21} = .88, p > .05$) zbog čega su provjereni indeksi asimetričnosti i spljoštenosti, koji iznose 1.53 i 3.09.

Kontrolni zadatak perceptivne brzine

Broj prekriženih ciljnih odgovora. Pri analizi broja prekriženih ciljnih odgovora, Shapiro-Wilkov test je ukazao na distribuciju rezultata koja se statistički značajno ne razlikuje od normalne za uvjet poslije anodalne stimulacije ($W_{19} = .95, p > .05$) te prije ($W_{19} = .94, p > .05$) i poslije ($W_{19} = .98, p > .05$) sham stimulacije. Također, ukazao je da se distribucija za uvjet prije anodalne stimulacije značajno razlikuje od normalne distribucije poslije ($W_{19} = .91, p < .05$), uslijed čega su provjereni indeksi asimetričnosti i spljoštenosti, koji iznose 1.21 i 2.41.

Korigirano vrijeme potrebno za izvedbu zadatka. Pri analizi korigiranog vremena potrebnog za izvedbu zadatka, Shapiro-Wilkov test je ukazao na distribuciju rezultata koja se

statistički značajno razlikuje od normalne za uvjet prije anodalne ($W_{18} = .88, p < .05$) ($Skw = 1.27, K = 1.58$) i prije *sham* ($W_{18} = .88, p < .05$) ($Skw = 1.46, K = 4.24$) stimulacije. Za uvjet poslije anodalne ($W_{18} = .94, p > .05$) i *sham* ($W_{18} = .96, p > .05$) stimulacije dobivena je normalna distribucija rezultata mjerenja.