

UNIVERZITET U BEOGRADU

FILOZOFSKI FAKULTET

Uroš D. Konstantinović

**EGZEKUTIVNA FUNKCIJA INHIBICIJE: OD
PSIHOMETRIJSKE STRUKTURE DO NEURALNIH
OSNOVA**

doktorska disertacija

Beograd, 2024

UNIVERSITY OF BELGRADE

FACULTY OF PHILOSOPHY

Uroš D. Konstantinović

**EXECUTIVE FUNCTION OF INHIBITION: FROM
PSYCHOMETRIC STRUCTURE TO NEURAL BASIS**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2024

Mentorka: dr Danka Purić, vanredna profesorka,
Univerzitet u Beogradu, Filozofski fakultet, Odeljenje za psihologiju
Komentor: dr Saša Filipović, naučni savetnik
Univerzitet u Beogradu, Institut za medicinska istraživanja

Članovi komisije:

dr Goran Opačić, vanredni profesor,
Univerzitet u Beogradu, Filozofski fakultet, Odeljenje za psihologiju
dr Marko Živanović, viši naučni saradnik,
Univerzitet u Beogradu, Institut za psihologiju
dr Jovana Bjekić, viša naučna saradnica,
Univerzitet u Beogradu, Institut za medicinska istraživanja

Datum odbrane:

Želeo bih da izrazim posebnu zahvalnost mentorki Danki Purić i komentoru Saši Filipoviću na strpljenju, velikoj i pravovremenoj podršci, slobodi i neprocenjivoj pomoći koju su mi davali u svim fazama ovog rada, bez čega bi ceo proces bio značajno teži.

Ogromnu zahvalnost bih izrazio i članovima komisije Jovani Bjekić, Marku Živanoviću i Goranu Opačiću za detaljnu analizu rada i veoma korisnim, pravovremenim i kreativnim sugestijama, od početnog koncipiranja teme do poznih faza samog procesa pisanja.

Neizmernu zahvalnost bih izrazio i svojim koleginicama iz laba, Grupe za neuronauke na Institutu za medicinska istraživanja, Dunji Paunović, Mariji Stanković, Bojani Đukić, Milici Manojlović i Katarini Vulić za ogromnu pomoć pri prikupljanju podataka, testiranju protokola i zadataka, domišljate sugestije i sveukupnu emotivnu podršku u svim fazama ovog procesa.

Takođe, zahvaljujem se i svim ispitanicima i učesnicima u prvoj i drugoj studiji, kao i svakoj osobi koja je prosledila poziv za učešće u istraživanju. Bez ove pomoći ne bih mogao da skupim toliko veliki uzorak koji mi je bio potreban, pogotovo u psihometrijskom delu rada.

Konačno, duboko bih se zahvalio svojim prijateljima i porodici na velikom i konstantnom strpljenju, podršci, ljubavi i razumevanju u situacijama kada sam bio manje responzivan usled velikog broja obaveza u vezi sa sprovođenjem ovog rada.

Značajno je napomenuti i da sam imao tu privilegiju da je sprovođenje ovog rada bilo podržano kroz projekat TWINNIBS (Twinning for excellence in non-invasive brain stimulation in Western Balkans" (broj projekta 101059369) i kroz institucionalno finansiranje Instituta za medicinska istraživanja od strane Ministarstva nauke (broj ugovora. 451-03-66/2024-03/200015) na čemu sam takođe veoma zahvalan.

Egzekutivna funkcija inhibicije: od psihometrijske strukture do neuralnih osnova

Egzekutivne funkcije predstavljaju heterogeni skup nadređenih kognitivnih mehanizama koji upravljaju drugim kognitivnim procesima. Inhibicija, kao jedna od tri egzekutivne funkcije po savremenim shvatanjima, se može definisati kao namerno i svesno suzbijanje automatskih i dominantnih odgovora i radnji. Inhibicija se ne konceptualizuje kao jedinstveni konstrukt, već kao porodica različitih, relativno međusobno povezanih funkcija. Postoji više različitih klasifikacija i empirijskih modela funkcija inhibicije i oni se mogu svesti na: 1) inhibiciju odgovaranja, kada je potrebno uzdržati se od davanja automatskog, dominantnog odgovora i ne odreagovati na određene stimulse; i 2) kontrolu interferencije, kada je potrebno dati tačan odgovor, uprkos interferenciji koje može poticati od distraktora (stimulus-stimulus konflikt) ili od drugog, dominantnog, a netačnog odgovora (stimulus-odgovor konflikt).

Studije neuroodslikavanja pokazuju značaj većeg broja moždanih struktura za funkcije inhibicije, ali se desni inferiorni frontalni girus (IFG) može izdvojiti kao najvažnija regija za inhibiciju odgovaranja, dok se aktivnost anteriornog cingulatnog korteksa (ACC) ističe u procesima kontrole interferencije. Za razliku od studija neuroodslikavanja koje su ograničene na podatke korelacionog tipa, tehnike neinvazivne stimulacije mozga pružaju mogućnost uticaja na neuralnu ekscitabilnost i aktivnost ciljanih kortikalnih regija, u kontrolisanim eksperimentalnim uslovima. Na taj način je, neuromodulacijom, omogućeno donošenje kauzalnih zaključaka o neuralnim osnovama ispitivanih kognitivnih funkcija. Transkranijalna stimulacija jednosmernom strujom (tDCS), je tehnika neinvazivne neuromodulacije koja u fokusu je u ovom radu.

Prvi cilj ovog rada je ispitivanje strukture različitih funkcija inhibitorne kontrole, odnosno jedinstvenosti nasuprot razdvojenosti inhibicije odgovaranja, kontrole distraktorske interferencije i kontrole interferencije odgovora. Drugi cilj se odnosio na ispitivanje strukture funkcija inhibicije na neuralnom planu. Specifično, ispitana je mogućnost egzogenog uticaja neuromodulacijom desnog IFG na inhibiciju odgovaranja kao i neuromodulacije ACC na kontrolu interferencije, čime bi se potencijalno utvrdila disocijacija funkcija inhibicije i preslikavanje njihove strukture sa psihometrijskog na neuralni nivo.

U prvom istraživanju, 250 ispitanika je radilo četiri zadatka inhibicije odgovaranja (dve verzije Stop-signal zadatka, Kreni-stani, i Semantički SART); tri zadatka kontrole distraktorske interferencije (Eriksen-Flanker, Flanker sa strelicama i Podudaranje oblika); i tri zadatka kontrole interferencije odgovora (Klasični Strupov, Spacijalni Strupov i Sajmonov zadatak). Rezultati konfirmatorne faktorske analize su pokazali najbolji fit trofaktorskog modela (Inhibicija odgovaranja, Kontrola distraktorske interferencije, Kontrola interferencije odgovora), ali ove rezultate treba uzeti sa dozom rezerve s obzirom na značajan broj niskih i neznačajnih korelacija između pojedinačnih mera inhibicije, pogotovo između mera kontrole interferencije odgovora, koja se pokazala kao najmanje robusna latentna funkcija, sa niskim zasićenjima.

U drugoj studiji je na uzorku od 36 ispitanika sproveden tDCS eksperiment. Svim ispitanicima je u tri sesije kontrabalansiranim redosledom primenjena stimulacija ACC, desnog IFG ili lažna stimulacija, kao kontrolna situacija. U okviru svake sesije, ispitanici su posle stimulacije radili Stop-signal zadatak, kao meru inhibicije odgovaranja, zadatak Podudaranja oblika, kao meru kontrole distraktorske interferencije i Klasičan Strupov zadatak, za procenu kontrole interferencije odgovora. Rezultati nisu pokazali značajne efekte neuromodulacije na glavne mere inhibitorne kontrole (diferencijalne skorove prosečnog vremena reakcije i Stop-signal vreme reakcije).

Iako nisu dobijeni značajni efekti stimulacije na inhibitornu kontrolu nije opravdano izvesti zaključak kako stimulisane regije nemaju ulogu u testiranim funkcijama inhibicije, kada se u obzir uzmu rezultati prethodnih studija neuroodslikavanja i neuromodulacije egzekutivne funkcije inhibicije. Dobijeni rezultati u ovom radu nisu konkluzivni u pogledu preslikavanja strukture funkcija inhibicije sa psihometrijskog na neuralni plan.

Kroz prizmu dobijenih rezultata, diskutovani su izazovi u oblasti istraživanja inhibitorne kontrole. U psihometrijskim studijama strukture funkcija inhibicije, kao jedan od razloga niskih korelacija između pojedinačnih mera se navodi neadekvatnost diferencijalnih skorova prosečnog vremena reakcije, u vezi čega se razmatraju novi načini skorovanja i konstruisanje adaptivnih zadataka inhibicije.

U vezi sa rezultatima na neuralnom planu, diskutovan je pravac daljeg razvoja i dodatne optimizacije protokola stimulacije za efikasniju neuromodulaciju inhibitorne kontrole. Takođe, dobijeni nulti efekti tDCS na inhibiciju nisu sasvim neočekivani, kada se uzmu u obzir problemi sa određivanjem jačine efekta i generalnom metodološkom heterogenošću studija. Stoga, javlja se potreba za resistematizacijom znanja u oblasti i sprovođenjem novih, fokusiranih meta-analiza koje bi rezultirale boljim smernicama za dalja istraživanja.

Ključne reči: egzekutivne funkcije, inhibitorna kontrola, inhibicija, neinvazivna stimulacija mozga, transkranijalna stimulacija jednosmernom strujom

Naučna oblast: Psihologija

Uža naučna oblast: Kognitivne neuronauke; Psihometrija

UDK broj:

Executive function of inhibition: from psychometric structure to neural basis

Executive functions represent heterogeneous higher-order cognitive mechanisms that regulate other cognitive processes. Inhibition, recognized as one of the three executive functions, involves the deliberate and conscious suppression of automatic and dominant responses and actions. Inhibition is conceptualized not as a singular construct but rather as a family of various, relatively correlated functions. Different classifications and empirical models of inhibition functions are present in the literature, which can be summed up to 1) response inhibition, requiring the withholding of automatic, dominant responses and non-reaction to certain stimuli; 2) interference control, requiring giving an accurate response, while controlling for the interference from distractors (stimulus-stimulus conflict) or another prepotent, yet incorrect response (stimulus-response conflict).

Neuroimaging studies emphasize the role of multiple brain regions in inhibitory control functions, with the right inferior frontal gyrus (IFG) prominently involved in response inhibition, while anterior cingulate cortex (ACC) is being related to interference control processes. Unlike correlational neuroimaging studies, non-invasive brain stimulation techniques give the possibility to modulate neural excitability and activity of targeted cortical regions under controlled experimental conditions. This enables causal conclusions about the neural underpinnings of studied cognitive functions through neuromodulation. The focus of this thesis is on transcranial direct current stimulation (tDCS), a non-invasive neuromodulation (NIBS) technique.

The first aim of this thesis is to examine the structure of the inhibitory control functions, specifically by testing unity versus diversity of response inhibition, distractor interference control, and response interference control. The second goal was to examine the structure of inhibitory control functions on the neural level. Specifically, the possibility of exogenous influence by neuromodulation of the right IFG on response inhibition as well as neuromodulation of the ACC on interference control was examined, which would potentially determine the dissociation of inhibition functions and the mapping of their structure from the psychometric to the neural level.

In the first study, 250 participants performed four response inhibition tasks (two versions of the Stop-signal task, Go/No-Go, and Semantic SART); three distractor interference control tasks (Eriksen-Flanker, Arrow Flanker and Shape Matching); and three response interference control tasks (Classical Stroop, Spatial Stroop, and Simon task). Confirmatory factor analysis revealed the best fit for the three-factor solution model (Inhibition of response, Control of distractor interference, and Control of response interference). However, these results should be taken with caution considering the significant number of low and non-significant correlations between individual measures of inhibition. This is especially referred to the response interference control, which proved to be the least robust latent dimension with the lowest factor loadings.

In the second study, a cross-over tDCS experiment was conducted on a sample of 36 participants. Each participant underwent stimulation of ACC, right IFG, or a control sham stimulation in a counterbalanced order. After the stimulation, participants were administered Stop-signal task, to tap response inhibition, Shape-matching task, to assess distractor interference control, and Classic Stroop task, to measure response interference control. Results

did not show significant effects of neuromodulation on main measures of inhibitory control (difference scores of average reaction times and Stop-signal reaction time).

While the results of this study did not show significant effects of stimulation on inhibitory control, it's important to note that this does not necessarily mean the stimulated regions are not involved in assessed inhibitory control functions. Solid previous neuroimaging and NIBS empirical evidence related to inhibitory control still suggest a pivotal role of stimulated regions. Thus, the results of this study, are not conclusive enough to provide valuable insights into the challenges of mapping the structure of inhibition functions from the psychometric to the neural level.

In light of the results obtained, challenges in the field of inhibitory control research are discussed. One of the reasons for low correlations between individual measures in psychometric studies of the structure of inhibitory control functions is the inadequacy of the reaction time difference scores. New scoring methods and the development of adaptive inhibition tasks are considered as an approach to the issue stated.

Regarding the neuromodulation results of this study, the discussion has been focused on further development and additional optimization of stimulation protocols towards more efficient neuromodulation of inhibitory control. The observed null effects of tDCS on inhibition are not entirely unexpected, considering issues with effect size determination and the general methodological heterogeneity across studies. Therefore, there is a need for a re-synthesis of knowledge in the field and the implementation of new, more focused meta-analyses that would result in better guidelines for future research.

Scientific field: Psychology

Subfield: Cognitive neuroscience; Psychometry

UDC number:

Sadržaj

1 UVOD	1
1.1 Egzekutivne funkcije	1
1.1.1 Inhibicija	2
1.1.2 Struktura funkcija inhibitorne kontrole – empirijske provere	3
1.1.3 Neuralne osnove inhibitorne kontrole	5
1.2 Neinvazivna neuromodulacija – transkranijalna stimulacija jednosmernom strujom (tDCS)	6
1.2.1 Fiziološki mehanizam delovanja tDCS	7
1.2.2 Parametri tDCS	7
1.2.3 Bezbednost i tolerabilnost tDCS	8
1.2.4 Osnovni dizajn tDCS studija	8
1.2.5 Ka optimizaciji protokola	9
1.3 Efekti tDCS-a na egzekutivnu funkciju inhibicije	10
1.3.1 Efekti tDCS na inhibiciju odgovaranja	11
1.3.2 Efekti tDCS na kontrolu interferencije	18
1.4 Problem, ciljevi i hipoteze	24
1.4.1 Ciljevi rada	25
1.4.2 Hipoteze	26
2 STRUKTURA FUNKCIJA INHIBITORNE KONTROLE	27
2.1 Uvodni okvir	27
2.2 Metod	27
2.2.1 Uzorak	27
2.2.2 Zadaci inhibicije odgovaranja	27
2.2.3 Zadaci kontrole distraktorske interferencije (SS konflikta)	33
2.2.4 Zadaci za merenje kontrole interferencije odgovora (SR konflikta)	38
2.2.5 Procedura	42
2.3 Rezultati	43
2.3.1 Transformacije podataka	43
2.3.2 Validnost zadataka inhibitorne kontrole	44
2.3.3 Deskriptivni statistički pokazatelji i korelacije zadataka inhibitorne kontrole	52
2.3.4 Struktura funkcija inhibitorne kontrole	55
2.4 Zaključna razmatranja	57
3 NEUROMODULACIJA EGZEKUTIVNE FUNKCIJE INHIBICIJE – tDCS EKSPERIMENT	58

3.1 Uvodni okvir.....	58
3.2 Metod	58
3.2.1 Određivanje veličine uzorka – analiza statističke snage	58
3.2.2 Uzorak	58
3.2.2 Dizajn eksperimenta	59
3.2.3 Aparatura za tDCS.....	59
3.2.4 Određivanje optimalnih parametara stimulacije i modelovanje električnog polja ..	59
3.2.5 Finalne pozicije elektroda.....	61
3.2.6 Finalni parametri tDCS.....	62
3.2.7 Bihevioralni zadaci.....	64
3.2.8 Upitnici	65
3.2.9 Procedura	66
3.3 Rezultati	68
3.3.1 Transformacija podataka	68
3.3.2 Provera uspešnosti identifikacije lažne stimulacije.....	68
3.3.3 Senzacije u toku tDCS i potencijalni nusefekti stimulacije.....	69
3.3.4 Validnost zadataka inhibitorne kontrole	72
3.3.5 Efekti uvežbavanja na mere inhibitorne kontrole	74
3.3.6 Efekti tDCS na glavne mere inhibitorne kontrole.....	76
3.3.7 Dodatne analize pojedinačnih kategorija stimulusa	79
3.3.8 Efekti tDCS na globalno vreme reakcije	82
3.3.9 Efekti na kontrolni zadatak implicitnog motornog učenja	82
3.3.10 Efekti na učinak u zadacima u toku stimulacije.....	83
3.3.11 Efekti tDCS na inhibitornu kontrolu – korekcija za početni učinak	84
4 DISKUSIJA	85
4.1 Struktura funkcija inhibitorne kontrole.....	85
4.1.1 Inhibicija odgovaranja	87
4.1.2 Kontrola distraktorske interferencije.....	88
4.1.3 Kontrola interferencije odgovora	89
4.1.4 Egzekutivna funkcija inhibicije kao konstrukt	91
4.1.5 Diferencijalni skorovi vremena reakcije kao bihevioralne mere	91
4.1.5 Uloga radne memorije u zadacima inhibitorne kontrole	93
4.2 Neuromodulacija funkcija inhibitorne kontrole	94
4.2.1 Metodološki izazovi	98
4.2.2 Ka dodatnoj optimizaciji protokola za modulaciju inhibitorne kontrole.....	99

4.3 Kritički osvrt.....	100
4.4 Ograničenja i sugestije za naredna istraživanja	101
5 ZAKLJUČAK.....	103
6. REFERENCE.....	105
7. PRILOZI.....	123
Prilog A.....	123
Prilog B.....	124
Prilog C.....	126
Prilog D.....	127
Prilog E	135
Prilog F	135

1 UVOD

1.1 Egzekutivne funkcije

Termin egzekutivne funkcije se u literaturi koristi za širi spektar heterogenih kognitivnih procesa (Diamond, 2013; Friedman & Miyake, 2017) koji se usko dovode u vezu sa funkcionisanjem prefrontalnog korteksa (Alvarez & Emory, 2006). Jedna od opšte prihvaćenih definicija je da su one „opšti mehanizmi koji upravljaju funkcionisanjem brojnih kognitivnih subprocesa i regulišu dinamiku ljudske kognicije“ (Miyake et al., 2000). Klasično, neuropsihološko određenje egzekutivnih funkcija se odnosi na mentalne kapacitete potrebne za formulisanje ciljeva, planiranje, sprovođenje i praćenje aktivnosti (Lezak, 1982). U skladu sa klasičnom definicijom, egzekutivne funkcije su se u 20. veku dominantno procenjivale kompleksnim kognitivnim zadacima (kao na primer: Viskonsin test sortiranja karata – engl. *Wisconsin Card Sorting Test*, WCST ili Hanojska kula – engl. *Tower of Hanoi*, TOH) čije izvođenje zahteva aktiviranje većeg broja različitih kognitivnih operacija. Ovakav vid merenja egzekutivnih funkcija je problematičan zbog nemogućnosti razdvajanja učešća različitih procesa koji mogu imati uticaj na krajnji učinak u zadatku i zbog razlika u stepenu poznavanja domena karakteristika samog zadatka. U literaturi (Miyake et al., 2000) se za navedeni problem koristi termin „nečistoće zadatka“ (engl. *task impurity*).

Osim navedenog problema, još neki od nedostataka kompleksnih zadataka su preširok predmet merenja, niska pouzdanost i validnost i nedovoljna teorijska zasnovanost (Pennington & Ozonoff, 1996; Stuss & Alexander, 2000). Zbog prevazilaženja navedenih nedostataka kompleksnih zadataka, u istraživanjima je preporučeno zadavanje jednostavnih kognitivnih zadataka u kojima se zahteva izvršavanje manjeg broja međusobno homogenih operacija (Miyake et al., 2000). Neki od najpoznatijih jednostavnih zadataka egzekutivnih funkcija su *Strupov zadatak*, *Zadatak Lokal-Global* i *zadatak N-unazad*¹. Korišćenje jednostavnih zadataka i statističkih metoda latentnih faktora je obeležilo savremena istraživanja egzekutivnih funkcija, s obzirom na mogućnost procene komunaliteta različitih zadataka i kontrolisanje specifične varijanse pojedinačnih zadataka čime se može izdvojiti čistija mera pretpostavljene egzekutivne funkcije merene grupom određenih zadataka.

Za aktuelno shvatanje egzekutivnih funkcija je ključan rad (Miyake et al., 2000) u kojem su autori zadavanjem većeg broja jednostavnih zadataka i pristupom latentnih varijabli izdvojili tri nezavisne ali i međusobno povezane egzekutivne funkcije: ažuriranje, premeštanje i inhibiciju. Egzekutivna funkcija *ažuriranja* podrazumeva kontinuirano nadgledanje nadolazećih informacija u radnoj memoriji i njihovo revidiranje u vidu eliminisanja irelevantnog, a održavanja relevantnog sadržaja radne memorije sa svrhom ispunjenja određenog cilja. Suština egzekutivne funkcije *premeštanja* je u premeštanju pažnje sa jednog na drugi mentalni set, sadržaj ili zadatak. Konačno, egzekutivna funkcija *inhibicije* se odnosi na namerno i svesno suzbijanje automatskih i dominantnih odgovora i radnji. Pošto je inhibicija jedna od centralnih tema ovog rada u daljem tekstu će biti detaljnije prikazana priroda i način merenja ovog konstrukta.

¹ Za detaljan pregled zadataka pogledati Diamond, 2013; Friedman & Miyake, 2004; Miyake et al., 2000; Purić, 2013)

1.1.1 Inhibicija

U literaturi postoji veći broj termina koji se konceptualno dovode u vezu sa inhibitornom kontrolom (Nigg, 2017), kao na primer: kognitivna inhibicija, egzekutivna inhibicija, inhibicija odgovora, selekcija odgovora, inhibicija dominantnih odgovora, kontrola interferencije, supresija interferencije, otpornost na interferenciju, inhibicija pažnje i tako dalje. Osim velikog broja termina, procesi u vezi sa inhibitornom kontrolom se konceptualizuju kao porodica funkcija pre nego kao jedinstveni konstrukt (Friedman & Miyake, 2004; Nigg, 2000). U teorijskoj građi je postavljeno nekoliko klasifikacija inhibitornih funkcija pa tako Nig (2000) izdvaja: 1) *kontrolu interferencije* (supresija distraktorskih efekata i interferencije koja potiče od načina davanja odgovora), 2) *kognitivnu inhibiciju* (suzbijanje irelevantnih sadržaja u radnoj memoriji), 3) *bihevioralnu inhibiciju* (suzbijanje dominantnih odgovora) 4) *okulmotorna inhibicija* (sprečavanje refleksnih očnih pokreta). Harnišfegerova (Harnishfeger, 1995) klasifikuje funkcije inhibicije na tri dimenzije: 1) namerna - nenamerna koja se tiče stepena svesnosti, 2) kognitivna - ponašajna, koja se odnosi na pitanje da li se kontroliše mentalna ili motorna aktivnost i 3) inhibicija - prevazilaženje interferencije, u zavisnosti od toga da li se odnosi na aktivne procese suzbijanja sadržaja u radnoj memoriji ili na selektivne mehanizme pažnje i kontrolisanje sadržaja koji uopšte ulazi u radnu memoriju. Aron (2007) diskutuje razliku između korišćenja pojma inhibicije u neuronaukama (u kojoj se koriste termini poput refleksne, descedentne, lateralne, postsinaptičke inhibicije) i eksperimentalne psihologije kod koje razlikuje: 1) aktivnu ili voljnu inhibiciju, 2) automatsku inhibiciju. Navedena voljna inhibicija najbolje korespondira onome što se po dominantnim shvatanjima podrazumeva kao egzekutivna funkcija inhibicije (Aron, 2007). Ovaj rad će biti fokusiran upravo na egzekutivne procese inhibitorne kontrole kojima u najvećoj meri pripadaju bihevioralna inhibicija i kontrola interferencije po Nigovoj klasifikaciji (2000), i dimenziji inhibicija – prevazilaženje interferencije, po klasifikaciji Harnišfegerove (1995).

Može se izdvojiti veći broj različitih jednostavnih zadataka koji se dominantno koriste pri merenju navedenih procesa inhibitorne kontrole. Procena bihevioralne inhibicije se svodi na paradigme u kojima se od ispitanika zahteva da u određenom kontekstu ne odreaguje, odnosno da se uzdrži od davanja automatskog motornog odgovora. Najprominentniji zadaci ovog tipa su: *Kreni-stani* (engl. *Go-No Go*) *Stop-Signal*, i *Anti-sakade* (Friedman & Miyake, 2004). Dizajn zadatka *Kreni-stani* je takav da u jednom bloku ispitanik automatizuje određeni odgovor, dok se u drugom, kritičnom bloku zahteva uzdržavanje od automatizovanog odgovora u slučaju izlaganja određenog znaka za inhibiciju. Slična je i paradigma zadatka *Stop-signal* u kojem ispitanik izvršava zadatak izbornog vremena reakcije (npr. reaguje na krug ili trougao). Povremeno, u nekim izlaganjima se u varijabilnom intervalu nakon prikazivanja stimulusa prikazuje stop signal koji ukazuje ispitaniku da u tom izlaganju treba da se uzdrži od davanja odgovora. U zavisnosti od dužine intervala odlaganja stop signala varira i težina zadatka. Učinak na ovom zadatku se može konceptualizovati kroz tzv. model „trke konja“ (engl. *horse race model*) (Verbruggen & Logan, 2009). Po tom modelu postoje dva nezavisna procesa, „kreni“ proces i „stani“ proces. Krajnji ishod zavisi od toga koji se proces prvi završi. Jedna od karakteristika ovog zadatka je i mogućnost indirektno procene latence „stani“ procesa, odnosno stop signal vremena reakcije (engl. *stop signal reaction time* - SSRT) što je i glavna zavisna varijabla ove paradigme.

Pri merenju procesa kontrole interferencije se koristi drugačiji tip zadataka u kojima se od ispitanika zahteva da brzo i selektivno reaguje na relevantne karakteristike stimulusa. Kako bi ispitanik uspešno odgovorio, potrebno je da kontroliše i suzbija interferenciju koja može da potiče od samog stimulusa ili od načina davanja odgovora. Tako se mogu javiti dva tipa konflikta: 1) stimulus-stimulus (SS) - koji reflektuje kompeticiju između relevantnih i

irelevantnih karakteristika stimulusa; i 2) stimulus-odgovor (engl. *stimulus-response* - SR) - koji predstavlja konflikt između tačnog, relevantnog odgovora i netačnog, dominantnog odgovora (Kornblum et al., 1990). Najprominentniji zadaci SS tipa konflikta su *Eriksen-flanker* zadatak i njegove različite modifikacije i *Zadatak podudaranja oblika* (engl. *Shape matching task*), dok se za procenu kontrole SR interferencije ekstenzivno koristi *Strupov zadatak* (engl. *Stroop task*) u različitim varijantama² kao i *Sajmonov zadatak* (engl. *Simon task*). Dizajn ovih zadataka je takav da se ispitaniku prikazuju stimulusi koji mogu biti: 1) neutralni (bez konflikta), 2) kongruentni (kada se karakteristike stimulusa i načina odgovora/distraktora poklapaju) i 3) nekongruentni (kada postoji navedeni konflikt). Na primer, u klasičnoj verziji Strupovog zadatka, ispitanicima se prikazuju reči koje označavaju različite boje ili nizovi neutralnih simbola ispisani u različitim bojama. Zadatak ispitanika je da reaguje na boju kojom je reč/simbol ispisan a ne na njeno značenje, odnosno da kontroliše interferenciju koja potiče od značenja reči. Na taj način, u ovom konkretnom zadatku, neutralnu kategoriju stimulusa predstavljaju nizovi simbola, s obzirom na to da nemaju značenje koje se može dovesti u vezu sa nekom bojom, kongruentnu kategoriju predstavljaju prikazane reči čija se boja slova i značenje poklapaju, dok se nekongruentnih stimulusa boja i značenje ne poklapaju. Kod zadatka Podudaranja oblika ispitanicima se prikazuju dva apstraktna geometrijska oblika i potrebno je da što brže odgovori da li su dva prikazana oblika identična. U polovini slučajeva su samo prikazana dva oblika (neutralna situacija), dok se u drugoj polovini izlaganja iznad jednog od oblika prikazuje i treći, irelevantni distraktorski oblik, koji time otežava zadatak verifikacije identičnosti oblika. Konačnu meru inhibicije opisanih paradigmi u najvećem broju slučajeva predstavlja diferencijalni skor u okviru koga se prosečno vreme reakcije neutralne eksperimentalne situacije u kojoj nije prisutan konflikt, oduzima od one sa kritičnim konfliktom, nekongruentne ili distraktorske situacije.

1.1.2 Struktura funkcija inhibitorne kontrole – empirijske provere

Osvrtom na klasifikacije funkcija koje su u osnovi uspešnosti inhibitorne kontrole može se postaviti pitanje u kojoj meri se određene funkcije mogu manifestovati kao nezavisni konstrukti, kao i koje su relacije među njima. Nekoliko studija se fokusiralo na ova pitanja i metodom latentnih faktora ispitivalo faktorsku strukturu prethodno opisanih zadataka. Jedan od prvih i najznačajnijih modela (Friedman & Miyake, 2004) pretpostavlja tri faktora funkcija inhibicije i kontrole interferencije: 1) *inhibiciju dominantnih odgovora* koja je merena Strupovim zadatkom, Stop-Signal zadatkom i zadatkom Anti-sakada; 2) *otpornost na distraktorsku interferenciju* za koju je zadavan Eriksen flanker zadatak i dve verzije zadatka podudaranja oblika; 3) *otpornost na proaktivnu interferenciju*³ koja je merena modifikovanim Braun-Peterson zadatkom, zadatkom navođenog prisećanja i AB-AC-AD zadatkom. U ovoj studiji je dobijena visoka korelacija između faktora otpornosti na distraktorsku interferenciju i Inhibicije dominantnih odgovora, stoga autori predlažu da se dva navedena konstrukta mogu posmatrati kao jedan, što je replicirano i u jednoj kasnijoj studiji (Pettigrew & Martin, 2014). Slični rezultati (Kane et al., 2016) su dobijeni u studiji u kojoj su postulirani faktori: 1) *Zadržavanje pažnje* (engl. *Attention restraint*) koji je po načinu merenja analogan inhibiciji dominantnih odgovora iz modela Fridmanove i Mijakija i 2) *Ograničenje pažnje* (engl. *Attention constraint*) koji je bio analogan kontroli distraktorske interferencije. Navedeni faktori su bili značajno povezani sa merama kapaciteta radne memorije, ali i njihova međusobna korelacija je bila sličnog intenziteta prethodno dobijenoj. Međutim, fiksiranje korelacije

² Klasičan verbalni Strup, Numerički Strup, Spacijalni Strup

³ Obzirom da je zaboravljanje usled proaktivne interferencije nesvesan proces, ovaj tip inhibicije nije korespondentan sa onim što se smatra za egzekutivnu inhibiciju pa samim tim i neće biti detaljnije elaboriran u daljem tekstu.

između zadržavanja pažnje i ograničenja pažnje u modelu ukazuje na to da su dva konstrukta nezavisna ali međusobno korelirana.

U jednom drugom modelu (Bender et al., 2016a) su istaknute razlike između procesa supresovanja automatske tendencije odgovaranja i selektovanja relevantnog odgovora. Rezultati su pokazali da se dva navedena procesa izdvajaju kao zasebni konstrukti niske međusobne korelacije. Faktor inhibicije odgovora je bio zasićen zadacima Stop-signal i Kreni-stani, dok je faktor Selekcije odgovora bio zasićen Strupovim zadatkom kao i nekim drugim merama koje se ne koriste uobičajeno pri merenju u kontekstu egzekutivne inhibicije, kao što su *psihološko refrakorno vreme reakcije* i *zadatak treptaja pažnje* (engl. *attentional blink*). Neki autori (Tiego et al., 2018) su na uzorku dece testirali hijerarhijski model inhibitorne kontrole, sa pretpostavkom da je kapacitet radne memorije nadređen međusobno nezavisnim konstruktima funkcija inhibitorne kontrole: 1) inhibicije odgovora i 2) inhibicije pažnje. Ova hipoteza je i potvrđena njihovim rezultatima, a korelacija dva faktora inhibicije je, nakon korekcije za povezanost sa nadređenim kapacitetom radne memorije snižena ka nuli, ukazujući na međusobnu nezavisnost dva pretpostavljena tipa inhibicije. U ovoj studiji, faktor inhibicije odgovora meren je zadacima Stop-signal, Kreni-stani i Sajmonovim zadatkom, dok je faktor inhibicije pažnje bio zasićen zadacima Podudaranja oblika, Strupovim zadatkom i Eriksen-flanker zadatkom. Značajno je napomenuti i nalaze autora (Rey-Mermet et al., 2018) koji upućuju na razdvojenost inhibicije dominantnih odgovora i kontrole distraktorske interferencije ali i generalno niske interkorelacije najčešće korišćenih paradigmi za merenje inhibicije čime se problematizuje potencijalni konstrukt jednoobrazne opšte inhibitorne kontrole. Rezultati autora (Gartner & Strobel, 2020) takođe ukazuju na niske interkorelacije između zadataka inhibitorne kontrole. Korišćenjem skorova inverzne efikasnosti (engl. *inverse efficiency score*, IES⁴), koji predstavljaju RT skorove korigovane za tačnost, autori su dobili nešto više korelacije nego kada su se skorovi bazirali samo na vremenu reakcije. Rezultatei latentnih modela na IES merama, u ovoj studiji, ukazuju na dvofaktorski model funkcija inhibicije: 1) *inhibiciju dominantnih odgovora* i 2) *kontrolu distraktorske interferencije*.

Iako postoji veliki broj modela, ono što je zajedničko za sve jeste razdvajanje inhibicije dominantnih odgovora (koja korespondira bihejvioralnoj⁵ inhibiciji po Nigovoj klasifikaciji) i kontrole interferencije koja potiče od distraktora ili irelevantnih karakteristika samog stimulusa (što odgovara kontroli SS tipa interferencije). Značajno je napomenuti da se kontrola SR tipa interferencije u prethodnim modelima konceptualizovala u okvirima oba navedena tipa inhibicije (Bender et al., 2016; Friedman & Miyake, 2004; Kane et al., 2016). U samo jednoj studiji (Stahl et al., 2014) je ispitana potencijalna nezavisnost faktora inhibicije odgovaranja, kontrole SR interferencije i kontrole SS interferencije. Rezultati ove studije ukazuju na međusobnu nezavisnost pretpostavljena tri faktora, ali ove rezultate treba uzeti sa rezervom zbog neadekvatnog izbora zadataka kojima je izražen faktor kontrole SR interferencije. Naime, autori su kao mere kontrole SR interferencije koristili dva zadatka koji se generalno koriste za merenje egzekutivne funkcije premeštanja. Može se zaključiti da je, zarad što reprezentativnije procene psihometrijske strukture funkcija inhibitorne kontrole, potrebno na adekvatan način ispitati potencijalnu nezavisnost ili jedinstvenost faktora inhibicije dominantnih odgovora, kontrole SR interferencije i kontrole SS interferencije.

⁴ IES se obračunava tako što se prosečno vreme reakcije za tačne odgovore iz određene kategorije stimulusa podeli sa proporcijom tačnih odgovora u toj kategoriji

⁵ S obzirom na to da termin „bihejvioralno“ implicira znatno širi skup fenomena od onih koji su u fokusu ovog rada, u nastavku teksta će se umesto sintagme bihejvioralna inhibicija koristiti „inhibicija odgovaranja“ što više korespondira sa temom ovog rada.

1.1.3 Neuralne osnove inhibitorne kontrole

Dva najčešća tipa studija u kojima se ispituju neuralne osnove određenih kognitivnih funkcija su: 1) studije lezija i 2) studije u kojima je upotrebljena metodologija neuroodslikavanja, specifično funkcionalna magnetna rezonanca (engl. *functional magnetic resonance imaging* - fMRI) i pozitronska emisijna tomografija (PET). U vezi sa funkcijama inhibitorne kontrole najveći značaj imaju generalno frontalne regije korteksa (Alvarez & Emory, 2006; Botvinick et al., 2004; Diamond, 2013; Miller & Cohen, 2001; Munakata et al., 2011), specifično desni inferiorni frontalni girus (IFG) i dorzolateralni prefrontalni korteks (DLPFC). Takođe, u literaturi se i anteriorni cingulatni korteks (ACC) ističe kao jedan od najznačajnijih moždanih regiona u vezi sa egzekutivnom inhibicijom (Botvinick et al., 2001, 2004a; Huang et al., 2020; Yeung, 2015).

Studije lezija ukazuju na značajno lošije rezultate na Strupovom zadatku ispitanika sa frontalnim lezijama u odnosu na zdravu kontrolnu grupu (Stuss et al., 2001; Vendrell et al., 1995). Takođe, pacijenti sa bilateralnim medijalnim frontalnim lezijama imaju znatno produženo vreme reagovanja na nekongruentna izlaganja dok se kod levih frontalnih ali i u grupi pacijenata sa heterogenim, kombinovanim frontalnim i temporalnim lezijama, manifestuje niži učinak u svim eksperimentalnim nivoima Strupovog zadatka (Blenner, 1993). Ipak, autori ističu nedovoljnu konzistentnost rezultata o učinku na Strupovom zadatku u studijama različitih lezija, s obzirom na preveliku heterogenost uzoraka (Alvarez & Emory, 2006). Sa druge strane, učinak u zadacima koji zahtevaju inhibiciju odgovaranja je značajno pogoršan kod populacije pacijenata sa lezijama na IFG. Zanimljiv i značajan nalaz (Aron et al., 2003) je pokazao „ponišćavanje“ efekta lezija DLPFC na učinak u zadatku Stop-signal, kada se statistički kontroliše efekat IFG što ukazuje na veći značaj IFG u iniciranju inhibitorne kontrole. U skladu sa ovim nalazima, lošiji učinak na zadatku Kreni-stani se takođe dovodi u vezu sa lezijama IFG (Swick et al., 2008).

Rezultati studija neuroodslikavanja ističu aktivnost desnog inferiornog frontalnog girusa (IFG) pri izvršavanju zadataka tipa Stop-signal ili Kreni stani, u kojima se od ispitanika zahteva uzdržavanje od davanja odgovora (Aron et al., 2004, 2014). Neuralni put mehanizma „stopiranja“ se inicira aktivacijom desnog IFG-a ka subtalamičkom jedru bazalnih ganglija, preko globus palidusa do talamusa. Takođe, Aron i saradnici (2014) ističu aktivnost inferiornog frontalnog korteksa (IFC, regije oko IFG) u vezi sa više načina zaustavljanja, odnosno inhibiranja određenih reakcija. Tako se inferiorni frontalni korteks može konceptualizovati kao „kočnica“ kojom se neka akcija može u potpunosti zaustaviti, pauzirati ili usporiti (kod SSRT), što može biti izazvano spoljašnjim znakom (kao na primer u Stop-signal paradigmi), unutrašnjom kognitivnom reprezentacijom određenog cilja (kao na primer u slučaju proaktivne inhibicije). Međutim, sa druge strane, neki autori (Chatham et al., 2012) iznose podatke koji ukazuju na to da IFG nema ulogu u inicijaciji inhibicije već samo u nadgledanju informacija iz spoljne sredine i njihovo usklađivanje sa unutrašnjim reprezentacijama trenutnih ciljeva.

Osim desnog IFG, drugi region mozga čija je aktivnost značajno povezana sa inhibicijom odgovaranja jeste pre-suplementarna motorna regija (pre-SMA) (Li et al., 2006; Nachev et al., 2007). Neki autori (Duann et al., 2009; Rae et al., 2015; Sharp et al., 2010) ističu ulogu IFC/IFG u formiranju konteksta i pravila zadatka, dok smatraju da pre-SMA inicira samu inhibitornu aktivnost što je u suprotnosti sa zaključcima Arona (2004; 2014). Na osnovu ovih kontradiktornih tvrdnji se može postaviti pitanje temporalnog prvenstva u aktivaciji IFG i pre-SMA prilikom izvršavanja zadataka inhibicije odgovaranja. Rezultati jedne novije studije u kojoj je korišćena metodologija magnetne elektroencefalografije (Schaum et al., 2021) pokazuju da, tokom rešavanja zadataka inhibicije, desni IFG aktivira pre-SMA, a samim tim i inicira njenu aktivnost. Treba izdvojiti i to da neki nalazi (Braver et al., 2001; De Zubizaray et

al., 2000; Durston et al., 2002) ističu i ulogu anteriornog cingulatnog korteksa (ACC) za učinak u zadacima koji zahtevaju uzdržavanje od davanja odgovora kao što su na primer Stop-Signal ili Kreni-stani.

Za uspešnost u kontroli interferencije konflikta, ključna je aktivnost anteriornog cingulatnog korteksa (ACC) u vidu poboljšanja učinka na nekongruentnim izlaganjima (Botvinick et al., 2001, 2004a; Kerns et al., 2011). Autori ističu aktivnost ACC u vezi sa prevazilaženjem tri vrste konflikta: 1) dominantnog netačnog i konfliktnog tačnog odgovora; 2) između dva ili više nepredodređena odgovora; i 3) pri pogreškama u konkretnim izlaganjima, usled konflikta reprezentacija tačnog i netačnog, datog odgovora. Takođe, ACC pokazuje povišenu aktivnost u toku obrade nekongruentnih izlaganja na različitim verzijama Eriksen flanker zadatka (Durston et al., 2002; Hazeltine et al., 2003; Soares et al., 2019; Van Veen & Carter, 2002) i Sajmonovog zadatka (Peterson et al., 2002; Wang & Weekes, 2014). Nešto noviji podaci (Banich, 2019) ukazuju na nepostojanje preciznog lokusa aktivnosti za vreme izvršavanja Strupovog zadatka već na više mehanizama koji se u vidu kaskade mogu modulirati na više vremenskih i prostornih tačaka. Tako je pri detekciji za cilj relevantnih i nerelevantnih karakteristika zadataka značajna aktivnost DLPFC, dok je ACC aktivan u kasnijim fazama obrade, prilikom davanja samog odgovora. Takođe, meta-analički podaci (Huang et al., 2020) u kojima je procenjivana verovatnoća aktivacije različitih zona u toku Strupovog zadatka ukazuju na značaj cingulatnog korteksa, levog DLPFC kao i bilateralnog inferiornog frontalnog girusa. Autori ističu da za učinak na Strupovom zadatku levi i desni IFG imaju različite uloge. Aktivnost levog IFG ima ulogu u selektivnoj pažnji i održavanju reprezentacija u radnoj memoriji, dok desni ima značaj za samo suzbijanje dominantnog odgovora.

Konačno, rezultati prikazani u ovom odeljku jednoznačno ukazuju na specifičnost neuralnih osnova inhibicije odgovaranja nasuprot neuralnim osnovama kontrole interferencije konflikta. Kao najznačajniji region mozga za inhibiciju odgovaranja se može istaći desni IFG, međutim njegova aktivnost se pokazuje i u vezi sa zadacima koji mere kontrolu interferencije konflikta. Sa druge strane, kao najznačajniji moždani region za kontrolu interferencije konflikta se može izdvojiti ACC, koji takođe, u nekim studijama, pokazuje aktivnost i prilikom izvršavanja zadataka inhibicije odgovaranja. Značajno je napomenuti da rezultati studija neuroodslikavanja predstavljaju podatke na korelacionom nivou, i stoga se često odlikuju aktinvošću većeg broja regiona koja se može manje ili više specifično dovesti u vezu sa određenom kognitivnom funkcijom.

1.2 Neinvazivna neuromodulacija – transkranijalna stimulacija jednosmernom strujom (tDCS)

U prethodne dve decenije dolazi do razvoja tehnika neinvazivne neuromodulacije koje omogućavaju modulaciju kortikalne aktivnosti određenih regiona mozga u eksperimentalnim uslovima. Tehnike neuromodulacije imaju značajan doprinos neuropsihološkim istraživanjima jer omogućavaju donošenje kauzalnih zaključaka o neuralnim osnovama ispitivanih kognitivnih funkcija, pomoću strogo kontrolisanih eksperimentalnih protokola. Ovim putem, tehnike neinvazivne neuromodulacije imaju prednost u odnosu na tehnike neuroodslikavanja koje su ograničene na korelacioni tip podataka. Sa druge strane, problemi sa neujednačenim uzorcima pacijenata u pogledu heterogenosti moždanih lezija se korišćenjem tehnika neinvazivne neuromodulacije mogu prevazići, usled strogo kontrolisanih eksperimentalnih uslova i protokola stimulacije koji se koriste u ovim studijama. Transkranijalna električna stimulacija (tES) predstavlja jednu od dve najčešće korišćene tehnike neuromodulacije (uz

transkranijalnu magnetnu stimulaciju, TMS). Transkranijalna stimulacija jednosmernom strujom (engl. *transcranial direct current stimulation*, tDCS⁶) predstavlja posebnu tehniku u okviru tES-a kod koje se intenzitet stimulacije primenjuje konstantno, bez oscilacija.

1.2.1 Fiziološki mehanizam delovanja tDCS

Sušтина primene tDCS je uticaj na kortikalnu ekscitabilnost neurona targetirane regije mozga emitovanjem slabe jednosmerne električne struje između dve elektrode koje formiraju električno polje. Jedna elektroda je pozitivna (anoda), a druga negativna (katoda), pa se na osnovu polariteta elektrode koja je postavljena na ciljani region mogu odrediti dva tipa stimulacije: anodalna i katodalna. Efekti stimulacije se na ćelijskom nivou postižu uticajem na spontani membranski potencijal i raspored jona unutar i izvan ćelije. Na taj način, anodalna stimulacija dovodi do depolarizacije, odnosno povećane ekscitabilnosti i posledično frekventnijeg „okidanja“ neurona regije koja je zahvaćena indukovanim električnim poljem, a katodalna ima suprotni efekat - dovodi do hiperpolarizacije, smanjenja kortikalne ekscitabilnosti i smanjenja verovatnoće „okidanja“ neurona stimulisane oblasti (Nitsche et al., 2008; Stagg & Nitsche, 2011). Značajno je napomenuti da primenom tDCS-a ne postoji mogućnost da se direktno izazovu akcioni potencijali (za razliku od upotrebe određenih protokola TMS-a), već se efekti stimulacije odražavaju na membranski potencijal i tipičan nivo aktivnosti neurona. Efekti stimulacije ne traju samo neposredno tokom, već mogu biti i naknadni i uticati na sinaptički plasticitet u vidu jačanja ili slabljenja veza između sinapsi. Ovakav uticaj na plasticitet se u literaturi drugačije naziva efektima dugoročne potencijacije (engl. *long-term potentiation*, LTP) i dugoročne depresije (engl. *long-term depression*, LTD). Pretpostavlja se da su navedeni efekti posledica modulacije aktivnosti N-metil-D-aspartat (NMDA) receptora i uticaja na glutamatergički, odnosno GABAergički neurotransmiterski sistem (Stagg & Nitsche, 2011). Takođe, povećanje nasuprot smanjenju ekscitabilnosti se može dovesti u vezu sa količinom jona kalcijuma u ćeliji, ali ova veza nije linearna, pa se efekti poništavaju kada koncentracija Ca u ćeliji postane previsoka.

1.2.2 Parametri tDCS

Prilikom dizajniranja istraživanja u kojima se upotrebljava tDCS radi modulacije aktivnosti određenog regiona mozga, potrebno je doneti niz metodoloških odluka u vezi sa tipom protokola, lokalizacijom i parametrima stimulacije. Prvobitno treba odrediti polaritet elektrode koja će biti pozicionirana tako da stimuliše moždani region od interesa. Elektroda pozitivnog polariteta, anoda, utiče na povećanje ekscitabilnosti stimulisane regije, dok elektroda negativnog polariteta, katoda, ima suprotno dejstvo. U literaturi se često mogu naći i alternativni termini: aktivna elektroda za anodu, odnosno referentna (povratna) za katodu. Distribucija električnog polja kroz glavu, u velikoj meri zavisi od pozicioniranja elektroda na glavi. Ono je najintenzivnije direktno ispod aktivne elektrode te se ona najčešće pozicionira iznad regije od interesa. Pozicioniranje referentne elektrode takođe značajno utiče na distribuciju električnog polja pa njena pozicija varira od studije do studije čak i za stimulisanje istih regiona. Ukoliko je za potrebe istraživačkih ciljeva potrebno da se specifično ispita samo efekat anodalne stimulacije određene zone mozga, a da se izbegne potencijalni inhibitorski efekat koji potiče od katode, istraživači često odlučuju da referentnu elektrodu postavljaju na određenim pozicijama koje nisu direktno iznad moždanog tkiva, kao što je npr. mastoid ili

⁶ Navedena skraćenica se dominantno koristi u literaturi, stoga će se u daljem tekstu ovog rada na transkranijalnu stimulaciju jednosmernom strujom referirati skraćenicom „tDCS“

obraz, mada se u nekim istraživanjima koriste i montaže izvan predela glave, (npr. deltoidni mišić ili trapezijus).

Osim protokola i montaže elektroda na efekte tDCS-a utiču i različiti parametri stimulacije kao što su veličina elektrode, jačina primenjene električne struje, odnosno intenzitet stimulacije i trajanje tretmana. U konvencionalnim, bipolarnim montažama⁷ elektrode su u najvećem slučaju površine 25 cm² (5x5 cm) ili 35 cm² (5x7 cm), ali u literaturi se često mogu naći i montaže sa manjim elektrodama koje mogu biti i prečnika 1 cm. Intenzitet primenjene električne struje je kod tDCS protokola najveći deo vremena konstantan, osim na samom početku, kada se intenzitet postepeno podiže (engl. ramp up), do vrednosti koja je konstantna do samog kraja, kada se postepeno spušta ka nuli (engl. ramp down). U istraživanjima se najčešće primenjuje intenzitet od 1 do 2 mA, (Antal et al., 2017) ali neki autori koriste protokole u kojima je intenzitet stimulacije i do 4 mA (Bikson et al., 2016). Stimulacija najčešće traje između 10 i 20 minuta, dok se, u nekim slučajevima primenjuje do 60 minuta (Antal et al., 2017).

1.2.3 Bezbednost i tolerabilnost tDCS

Važno je napomenuti da je bezbednost primene tDCS je ispitana i potvrđena na zdravim odraslim ispitanicima na ispitanicima sa različitim neurološkim ili psihijatrijskim problemima, kao i na deci i adolescentima (Buchanan et al., 2021; Poreisz et al., 2007; Saleem et al., 2019). Takođe, rezultati meta-analize, sa uzorkom od preko 33200 sesija, navode na zaključak da tDCS ne indukuje ozbiljna neželjena dejstva (Bikson et al., 2016). Neke od konkretnih i standardnih smernica za bezbednu upotrebu tDCS nalažu da intenzitet treba da bude niži od 4 mA, a trajanje tretmana ne duže od 60 minuta (u jednom danu). Još jedan parametar koji se uzima u obzir kada se razmatra bezbednost tDCS protokola je gustina primenjene struje ispod svake od elektroda (intenzitet / površina elektrode). Animalni modeli su pokazali da je kako bi se stvorile lezije potrebna struja gustine 6.3 A/m² – 13.3 A/m², što je u poređenju sa uobičajenim protokolima koji se koriste na ljudima višestruko veća gustina (Antal et al., 2017). Pored toga što je tDCS potvrđeno bezbedna tehnika neinvazivne stimulacije mozga, ona je i tolerabilna za ispitanike u toku same primene i ne proizvodi značajnu neprijatnost osim blagih senzacija peckanja ili svraba na koži, koje prestaju neposredno nakon završetka stimulacije (Bikson et al., 2016; Brunoni et al., 2011; Fertonani et al., 2015; Woods et al., 2016).

1.2.4 Osnovni dizajn tDCS studija

Kako bi se doneo zaključak o efektima tDCS na konkretnu kognitivnu funkciju, potrebno je imati i eksperimentalnu i kontrolnu situaciju. U većini studija se za kontrolu koristi protokol lažne stimulacije (engl. *sham*⁸), mada dve navedene opcije nisu međusobno isključive. Sesije u kojima se primenjuje lažna stimulacija su praktično identične kao one sa pravom tDCS, elektrode se montiraju na iste pozicije, trajanje sesije je isto, itd. Postoji nekoliko različitih vrsta protokola lažne stimulacije od kojih se najčešće upotrebljava protokol postepenog pojačavanja i smanjivanja (engl. „ramp up / ramp down“) u kojem se u prvih 30 sekundi stimulacije intenzitet postepeno povećava do intenziteta koji se koristi u sesiji prave stimulacije, a nakon toga, u narednih 30 sekundi, spušta na nulu. Intenzitet stimulacije ostaje konstantno na nuli do pred sam kraj protokola, odnosno poslednjih 60 sekundi, kada se

⁷ Za detaljan prikaz konvencionalne, bipolarne montaže u primeru istraživanja iz oblasti kognitivnih neuronauka pogledati video [link](#) iz rada (Bjekić et al., 2021).

⁸ U literaturi se za lažnu stimulaciju široko upotrebljava engleski izraz *sham* stoga će, iz pragmatičkih razloga, u određenim odeljcima u nastavku rada navedena reč biti korišćena kao sinonim za lažnu stimulaciju.

ponavlja *ramp up / ramp down* obrazac sa početka. Ovakav protokol lažne stimulacije se pokazao kao ispitanicima subjektivno najbližiji pravoj tDCS jer izaziva slične senzacije na koži na početku i kraju stimulacije (Nitsche & Paulus, 2011; Živanović & Bjekić, 2023). Upotreba lažne stimulacije je stoga metodološki zlatni standard studija u kojima se upotrebljava tDCS.

U nekim studijama se kao kontrolna situacija koristi stimulacija kontrolne zone mozga, na kojoj se teorijski ne očekuju efekti na funkciju od interesa (Woods et al., 2016). Ovakav vid kontrole ima prednost u odnosu na lažnu stimulaciju u pogledu istovetnosti intenziteta i trajanja senzacija pri eksperimentalnoj i aktivnoj situaciji. Međutim, kako su kognitivne funkcije široko rasporstranjene po različitim zonama korteksa, a indukovano električno polje u klasičnim tDCS montažama takođe široko, postavlja se pitanje koliko je aktivna kontrolna situacija zaista kontrolna.

Pri osmišljavanju tDCS eksperimenta, najčešće se koriste dva tipa dizajna studije, jedan je sa paralelnim grupama, kada se ispitanici nasumično ili pseudorandomizovano raspoređuju u grupu sa pravom ili lažnom stimulacijom. Drugi tip nacrtu su potpuno ponovljene studije, koje se drugačije nazivaju kros-over dizajnom (engl. *cross-over*), u kojem svi ispitanici dobijaju i lažnu i pravu stimulaciju. Takođe, tDCS protokoli se mogu razvrstati po vremenskom odnosu stimulacije i testiranja ishodišne bihevioralne mere (npr. nekog kognitivnog zadatka) u odnosu na koju ispitujemo potencijal neuromodulacije. Tom podelom se mogu izdvojiti protokoli u kojima se npr. kognitivni zadatak zadaje u toku stimulacije, odnosno onlajn (engl. *online*) protokoli, i oni u kojima se kognitivna funkcija procenjuje nakon stimulacije, odnosno oflajn (engl. *offline*) protokoli. Mehanizmi dejstva oflajn protokola potiču od naknadnih efekata stimulacije, dok se onlajn protokoli odražavaju na osnovu pretpostavljenih trenutnih neurofizioloških promena u aktivnosti. Postoje nalazi o većoj efikasnosti tDCS-a na kognitivne funkcije zdravih ljudi, kada se upotrebljavaju oflajn protokoli, u odnosu na onlajn (Hill et al., 2016; Živanović et al., 2021).

1.2.5 Ka optimizaciji protokola

Jedna od mana konvencionalne, bipolarne tDCS procedure je u tome što postoji mogućnost formiranja preširokog električnog polja čime se efekti stimulacije mogu preneti i na regione mozga koji nisu od specifične važnosti za ispitivanu funkciju, odnosno njena nespecifična fokalnost (Datta et al., 2009; Faria et al., 2011). U protekloj deceniji došlo je do razvitka tDCS visoke rezolucije (engl. *high definition tDCS*, HD-tDCS) kojim se pomoću većeg broja malih elektroda (uglavnom kružnih, površine oko 1 cm²), višekanalnim stimulatorima, omogućava veća fokalnost stimulacije, najčešće u 4x1 konfiguraciji elektroda, sa 1 anodom i 4 katode raspoređene oko nje u formi prstena (Datta et al., 2009; Kuo et al., 2013).

Sa druge strane, neki od regiona mozga su zbog svoje anatomske pozicije⁹ koja nije na samoj površini korteksa ograničeno zahvaćeni formiranim električnim poljem kada se koristi neoptimizovana bipolarna montaža ili površinski fokalna 4x1 HD-tDCS prstenasta montaža. Razvojem i upotrebom višekanalnih stimulatora se ova ograničenja mogu prevazići variranjem parametara stimulacije kao što su: 1) broj aktivnih i referentnih elektroda; 2) intenzitet stimulacije koju generiše svaka od elektroda; 3) pozicije elektroda i njihova međusobna udaljenost; 4) veličina elektrode. Adekvatnom kombinacijom navedenih parametara, moguće je kreirati matematički optimizovane protokole za stimulaciju navedenih, manje dostupnih

⁹ Kao na primer, ACC koji se nalazi u longitudinalnoj fisuri, između prefrontale kore i korpus kalosuma, ili posteriorna insula, koja se nalazi u u lateralnoj Silvijevoj brazdi, između parijetalnog, temporalnog i frontalnog režnja.

regiona. Na primer, postoje nalazi o uspešnoj stimulaciji ACC-a sa tri različita protokola višekanalne stimulacije (Khan et al., 2022; Mattavelli et al., 2022; To et al., 2018), ili posteriornog insularnog korteksa kada nisu dobijeni efekti na bihevioralne mere (Gorrino et al., 2023).

Neophodan alat za kreiranje optimizovanih protokola stimulacije su softveri za matematičko modelovanje i simulacije distribucije električnog polja u glavi, a samim tim i mozgu. Poslednjih godina, prijavljivanje rezultata ovih simulacija postaje zlatni standard u radovima koji koriste tehnike neinvazivne stimulacije mozga. Pre pokretanja simulacije u programima za modelovanje električnog polja je moguće detaljno podesiti parametre stimulacije kao što su veličina i oblik elektroda, pozicija, intenzitet, materijal i količina provodnika i tako dalje. U idealnim uslovima, u navedenim softverima postoji mogućnost učitavanja snimaka strukturalne magnetne rezonance svakog ispitanika iz uzorka, čime su vrednosti dobijene u simulacijama najpreciznije i personalizovane za svakog ispitanika. Međutim, u većini istraživanja to nije slučaj, zbog neekonomičnosti ovakve procedure. Simulacije se mogu pokretati na modelima glave i mozga koji se mogu učitati iz pojedinih konkretnih snimaka strukturalne magnetne rezonance ili na uprosečenom modelu glave koji se zasniva na koordinatama MNI (skraćeno od engl. Montreal Neurological Institute)¹⁰, trodimenzionalnog koordinatnog prostora, koji se dominantno koristi za anatomske prosečno mapiranje ljudskog mozga prilikom primene tehnika neuroodslikavanja, nezavisno od individualnih razlika. U okviru softvera postoje opcije izračunavanja jačine električnog polja u određenim regionima mozga (npr. definisanim MNI koordinatama) za montažu i parametre stimulacije koji su testirani u okviru simulacije. Takođe, do optimizovane montaže je moguće doći i obrnutim putem, korišćenjem funkcija koje na osnovu upisanih MNI koordinata daju rezultat u vidu montaže i parametara stimulacije koji optimizuju jačinu električnog polja u željenom regionu mozga. Dva najčešće korišćena softvera za modelovanje i simulacije električnih polja (koja su oba u otvorenom pristupu) su SimNIBS (Saturnino et al., 2021) (engl. Simulation of Non-invasive Brain Stimulation) i ROAST (Huang et al., 2019) (engl. Realistic Volumetric-Approach-Based Simulator for Transcranial Electric Stimulation).

1.3 Efekti tDCS-a na egzekutivnu funkciju inhibicije

Dosadašnji nalazi o efektima tDCS na egzekutivnu funkciju inhibicije nisu konzistentni. Osvrtom na literaturu se može uočiti metodološka heterogenost različitih studija u vezi sa stimuliranim regionima mozga, pozicijama elektroda, korišćenih zadataka inhibitorne kontrole i dizajnom samog eksperimenta. U većini studija koje će biti prikazane u ovom odeljku autori se, prilikom prijavljivanja pozicija elektroda, vode 10-10 EEG¹¹ sistemom, koji je široko prihvaćen i standardizovan metod za lokalizaciju elektroda na glavi, u kontekstu EEG-a. Na Slici 1 je prikaz svih pozicija 10-10 EEG sistema i u daljem tekstu će se za različite pozicije na glavi koristiti skraćenice sa prikaza.

¹⁰ MNI koordinatni sistem je dobio to ime po Neurološkom Institutu u Montrealu, gde je i nastao. U studijama u kojima se koristi metodologija magnetne rezonance se za mapiranje struktura mozga često koristi i Talairahov trodimenzionalni koordinatni sistem.

¹¹ Elektroencefalografija

Tabela 1. Prikaz metodoloških parametara i efekata tDCS na inhibiciju odgovaranja.

Izvor	Zadatak	tDCS	ROI strana	ROI - pozicija	Ref - pozicija	Ref strana	Mera	Kontrola	Dizajn	Efekat
Mansouri et al., 2017	Stop-signal	A	L	DLPFC; F3	SO	D	SSRT	lažna stimulacija	P	+
Fehring et al., 2019	Stop-signal	A	L	DLPFC; F3	SO	D	SSRT	lažna stimulacija	K-O	+
Friebs & Frings, 2019	Stop-signal	A	D	DLPFC; F4	rame, deltoid FZ, FC4, C4, P4, FT10, TP8	L	SSRT	lažna stimulacija	P	+
Guo et al., 2022	Stop-signal	BF HD-A	D	IFG & pre-SMA; FT8, C2	TP8	D	SSRT	pre/post anodal dual site	K-O	+
Cunillera et al., 2014	Stop-signal	A	D	IFG; FC4	IFG; FC3	L	SSRT	lažna stimulacija	K-O	+
Li et al., 2019	Stop-signal	A	D	IFG; F8	rame	D	SSRT	lažna stimulacija	K-O	+
Jacobson et al., 2011	Stop-signal	A	D	IFG; FC4	OFC	L	SSRT	lažna stimulacija	K-O	+
Ditye et al., 2012	Stop-signal	A	D	IFG; FC4	OFC	L	SSRT	kognitivni trening bez tDCS	P	+
Stramaccia et al., 2015	Stop-signal	A	D	IFG; FC4	SO	L	SSRT	lažna stimulacija	P	+
Cai et al., 2015	Stop-signal	A	D	IFG; FC4	SO	L	SSRT	lažna stimulacija	K-O	+
Hogeveen et al., 2016	Stop-signal	HD-A	D	IFG; FC6	F10, CP2, TP8, F2	D - prsten	SSRT	lažna stimulacija	P	+
Hogeveen et al., 2016	Stop-signal	A	D	IFG; FC6	Cz	C	SSRT	lažna stimulacija	P	+
Chen et al., 2019	Stop-signal	A	D	IFG; između F4 i F8	obraz	L	SSRT	lažna stimulacija	P	+
Sandrini et al., 2020	Stop-signal	A	D	IFG; T1 mri 53, 28, 3	SO	L	SSRT	lažna stimulacija	P	+

Izvor	Zadatak	tDCS	ROI strana	ROI - pozicija	Ref - pozicija	Ref strana	Mera	Kontrola	Dizajn	Efekat
Shyga et al., 2023	Stop-signal	A	D	IPS; P4	SO	L	SSRT	lažna stimulacija	K-O	+
Kwon et al., 2013	Stop-signal	A	D	M1; C4	SO	L	SSRT	lažna stimulacija	K-O	+
Castro-Meneses et al., 2016	Stop-signal	A	D	PFC; FC4 pre-SMA; 4cm	obraz	L	SSRT	lažna stimulacija	K-O	+
Kwon & Kwon, 2013	Stop-signal	A	L	anteriornod Cz pre-SMA;	SO	L	SSRT	lažna stimulacija	K-O	+
Yu et al., 2015	Stop-signal	A	L	Fz pre-SMA;	obraz	L	SSRT	lažna stimulacija	K-O	+
Liang et al., 2014	Stop-signal	A	L	Fz	obraz	L	SSRT	bez tDCS	K-O	+
Friebs & Frings et al., 2019	Stop-signal	K	D	DLPFC; F4	rame - deltoid	L	SSRT	lažna stimulacija	P	-
Jacobson et al., 2011	Stop-signal	K	D	IFG; FC4 DLPFC ;	LOFC	L	SSRT	lažna stimulacija	K-O	-
Bashir et al., 2019	Stop-signal	A	L	F3 DLPFC;	SO	D	SSRT	lažna stimulacija	P	0
Wu et al., 2022	Stop-signal	A, K	D	F4 DLPFC;	SO	L	SSRT	lažna stimulacija	P	0
Friebs 2021	Stop-signal	A	D	F4	IFG	D	SSRT	lažna stimulacija	P	0
Friebs 2021	Stop-signal	K	D	IFG	DLPFC	D	SSRT	lažna stimulacija	P	0
Li et al., 2019	Stop-signal	K	D	IFG F8	rame	D	SSRT	lažna stimulacija	K-O	0
Cunillera et al., 2016	Stop-signal	A	D	IFG FC4	IFG; FC3	L	SSRT	lažna stimulacija	K-O	0
Stramaccia et al., 2017	Stop-signal	A, K	D	IFG FC4	SO	L	SSRT	lažna stimulacija	P	0
Stramaccia et al., 2015	Stop-signal	K	D	IFG FC4	SO	L	SSRT	lažna stimulacija	P	0

Izvor	Zadatak	tDCS	ROI strana	ROI - pozicija	Ref - pozicija	Ref strana	Mera	Kontrola	Dizajn	Efekat
Thunberg et al., 2020	Stop-signal	HD-A	L	IFG; FC7	CP8, P8	D, L	SSRT	lažna stimulacija	K-O	0
Thunberg et al., 2020	Stop-signal	HD-A	D	IFG; FC8	CP7, P7	D, L	SSRT	lažna stimulacija	K-O	0
Reinhart & Woodman, 2014	Stop-signal	A, K	D	MPFC; Fcz	obraz	D	SSRT	lažna stimulacija	K-O	0
Oueliet et al., 2015	Stop-signal	A	L	OFC; Fp1	OFC; Fp2	D	SSRT	lažna stimulacija	P	0
Oueliet et al., 2015	Stop-signal	A	D	OFC; Fp2	OFC; Fp1	L	SSRT	lažna stimulacija	P	0
Leon et al., 2020	Stop-signal	A	L	OFC; Fp2	trapezijus	D	SSRT	lažna stimulacija	P	0
Hsu et al, 2011	Stop-signal	A, K	L	pre-SMA - 4, 32, 51	obraz	L	SSRT	M1	P	0
Bender et al., 2017	Stop-signal	A, K	D	pre-SMA; 2, 15, 51	mastoid	D	SSRT	lažna stimulacija	P	0
Nejati et al., 2018	Kreni-stani	A	L	DLPFC F3 cerebellum; 2 cm iznad iniona	OFC Fp2	D	tačnost	lažna stimulacija	K-O	+
Wynn , 2019	Kreni-stani	K	D		rame - deltoid	D	tačnost	lažna stimulacija	K-O	+
Niernesachker, 2015	Kreni-stani	A	L	DLPFC F3	SO	D	tačnost	lažna stimulacija	K-O	-
Wu et al., 2022	Kreni-stani	A, K	D	DLPFC F4	SO	L	tačnost	lažna stimulacija	P	0
Plewnia et al., 2014	Kreni-stani	A	L	DLPFC F3	OFC; Fp2	D	tačnost	lažna stimulacija	K-O	0
Sedgmond et al., 2019	Kreni-stani	A	D	rDLPFC F4	DLPFC; F3	L	tačnost	lažna stimulacija	P	0

Izvor	Zadatak	tDCS	ROI strana	ROI - pozicija	Ref - pozicija	Ref strana	Mera	Kontrola	Dizajn	Efekat
Leite et al., 2018	Kreni-stani	A	D	IFG	IFG	L	"go" RT, tačnost	lažna stimulacija bez tDCS,	K-O	0
Sikstorm et al., 2016	Kreni-stani	A	D	IFG; F4 F8 C4 T8	OFC Fp2	D	"go" RT	auditivni beli šum	K-O	0
Sallard et al., 2018	Kreni-stani	A	D	IFG F6-FC6	OFC; Fp1	L	"go" RT, tačnost	lažna stimulacija	K-O	0
Campanella et al., 2018	Kreni-stani	A	D	IFG F8; IFG F7	vrat - trapezijus	L	"go" RT, tačnost	lažna stimulacija	P	0
Dambacher et al., 2015	Kreni-stani	A	D, L	IFG; F8 IFG; F7	IFG; F7 IFG; F8	L,D	"go" RT, tačnost	lažna stimulacija	P	0
Perrotta et al, 2021	Kreni-stani	A	D	IFG; FC4	IFG; FC3	L	"go" RT, tačnost	lažna stimulacija	K-O	0

A – anoda; K – katoda; BF – bifokalno; D – desno; L – levo; C – centralno; ROI – region od interesa; Ref – referentna elektroda; P – paralelni; K-O – kros-over; + – poboljšanje učinka usled tDCS; - – pogoršanje učinka usled tDCS; 0 – nulti efekti tDCS; SO – supraorbitalna area; IPS – inferiorni parijetalni sulkus

pozicionirana ekstrakranijalno nisu rezultirale značajnim efektima. Neki od ostalih faktora za koje je dobijeno da nisu značajni pri moderaciji efekata tDCS na inhibiciju odgovaranja su: dizajn studije, kontrolna situacija, vrsta prokola lažne stimulacije, intenzitet, polaritet i gustina primenjene struje, veličina elektrode itd.

Što se tiče dizajna studije, dizajn sa paralelnim grupama i potpuno ponovljeni kros-over dizajn su podjednako primenjivani u prikazanim studijama i ne pokazuju sistematsku razliku o pogledu dobijenih rezultata.

U okviru ovog rada, pregled prethodnih studija će biti fokusiran samo na studije s zdravim ispitanicima. Regija mozga koja je najčešće stimulirana u studijama sa Stop-signal zadatkom je desni IFG. Anodalnom stimulacijom ove regije su dobijani efekti smanjenja SSRT, odnosno poboljšanja inhibicije odgovaranja (Cai et al., 2016; Castro-Meneses et al., 2016; Chen et al., 2019; Cunillera et al., 2014; Hogeveen et al., 2016; Jacobson et al., 2011; Li et al., 2019).

Sa druge strane, postoje i empirijski nalazi o nultim efektima stimulacije desnog IFG-a na inhibiciju odgovaranja merenu Stop-signal zadatkom (Cunillera et al., 2016; Stramaccia et al., 2017; Thunberg et al., 2020).

Uvidom u Tabelu 1 se može doći do zaključka da su studije u kojima je stimulisan IFG sa svrhom neuromodulacije učinka u Stop-signal zadatku veoma heterogene po metodološkim karakteristikama. Pozicioniranje anodalne elektrode je, za targetiranje desnog IFG-a, variralo kroz različite studije. Najčešće bilo na tački preseka dva rastojanja: rastojanja između tačaka T4 i Fz i rastojanja između F8 i Cz, po 10-10 EEG sistemu. Tačka preseka navedenih rastojanja odgovara poziciji FC4 10-10 EEG sistema (Stramaccia et al., 2017). Stimulacija ove tačke je dovođila do značajnih efekata na SSRT u nekoliko studija među kojima je pozicija referentne elektrode najčešće bila smeštena na levu supraorbitalnu regiju¹² ili levi orbitofrontalni korteks, što se zapravo svodi na tačku Fp2 (Cai et al., 2011; Ditye et al., 2012; Jacobson et al., 2011; Stramaccia et al., 2015). Međutim, postoje i nalazi o nultim efektima za navedenu montažu (Stramaccia et al., 2017). Iz Tabele 1 se može videti da je stimulacija FC4 dovođila do značajnih efekata i kada je referentna elektroda bila postavljena na druga mesta, kao na primer, kontralateralni obraz (Castro-Meneses et al., 2016) ili levi IFG (Cunillera et al., 2014).

Od drugih načina pozicioniranja aktivne elektrode, potrebno je napomenuti da su protokoli u kojima je aktivna elektroda postavljanja na F8 (Li et al., 2019) ili presek rastojanja između F4 i F8 (Chen et al., 2019) dovođili do značajnih efekata na SSRT. Takođe, stimulacija FC6 u HD-tDCS protokolu je pokazala značajne efekte poboljšanja SSRT (Hogeveen et al., 2016), ali i neke druge složenije montaže, poput studije u kojoj su autori (Sandrini et al., 2020) uz pomoć T1¹³ snimaka strukturalne magnetne rezonance, za svakog ispitanika je pozicioniranje elektroda bilo individualizovano i vođeno neuronavigacijom. Značajno niži SSRT je, u jednoj studiji sa složenijom montažom, dobijen i posle dualne anodalne HD-tDCS stimulacije, kada su istovremeno stimulirani desni IFG i pre-SMA (Guo et al., 2022), ali postoje nalazi i o nultim efektima prilikom stimulacije desnog IFG-a složenijim protokolima (Thunberg et al., 2020).

¹² Iznad leve obrve

¹³ T1 predstavlja vrstu snimka strukturalne magnetne rezonance koji naglašava tkivo, a supresuje tečne strukture kao što su voda ili cerebrospinalna tečnost.

Od ostalih regija mozga koje su stimulirane u istraživanjima sa Stop-signal zadatkom, u literaturi se ističu i levi i desni DLPFC i pre-SMA. U dva eksperimenta istih autora (Friebs & Frings, 2019; Frings et al., 2018) dobijeno je značajno smanjenje SSRT-a nakon anodalne stimulacije u poređenju sa lažnom, a značajno povećanje SSRT-a posle katodalne stimulacije, takođe u poređenju sa lažnom. Međutim, za istu montažu postoje noviji nalazi koji ukazuju na nulte efekte anodalne stimulacije (Wu et al., 2022). Stimulacijom levog DLPFC (F3), sa katodalnom elektrodom na desnoj supraorbitalnoj regiji su dobijeni značajni, ali ne toliko ubedljivi efekti smanjenja SSRT. Naime, u jednoj studiji (Mansouri et al., 2017) je pokazan efekat uvežbavanja u okviru jedne sesije, u vidu smanjenja SSRT. Efekat uvežbavanja je bio poništen ukoliko su ispitanici radili zadatak slušajući muziku brzog tempa, međutim, anodalna stimulacija u navedenoj montaži je facilitirala efekat uvežbavanja, uprkos distraktorskoj muzici. U drugoj studiji sa istom montažom (Fehring et al., 2019), u kros-over dizajnu je dobijen značajan efekat uvežbavanja u okviru sesije, ali samo u situaciji anodalne stimulacije, dok je značajan efekat komparacije sa lažnom stimulacijom izostao. U još tri studije u kojima je bila ista montaža nije dobijen značajan efekat stimulacije (Bashir et al., 2019; Stramaccia et al., 2015).

Rezultati studija u kojima je stimulirani region mozga bila pre-SMA su takođe nekonzistentni. U studiji (Kwon & Kwon, 2013) je dobijeno smanjenje SSRT nakon stimulacije pre-SMA u poređenju sa situacijom lažne stimulacije i aktivne kontrolne situacije, stimulacije primarne motorne kore (M1). Autori su u ovom eksperimentu dobili i značajnu razliku između situacije stimulacije M1 i lažne stimulacije. U dve studije u kojima je katoda pozicionirana na levom obrazu, a anoda na Fz, dobijeno je značajno smanjenje SSRT, u odnosu na sesiju u kojoj su ispitanici radili Stop-signal bez tDCS (Liang et al., 2014), i u odnosu na skor nakon lažne stimulacije, kada je u okviru istog dana bila primenjena sesija sa lažnom stimulacijom, ubrzo nakon anodalne tDCS, bez kontrabalansiranja (Yu et al., 2015). Međutim, u značajnom broju drugih studija sa ekstrakranijalnom montažom katode nije dobijen značajan efekat stimulacije pre-SMA na SSRT (Bender et al., 2017; Reinhart & Woodman, 2014), dok su autori (Hsu et al., 2011) dobili značajan efekat na broju grešaka prilikom pojavljivanja Stop signala, sa izostankom efekta na SSRT.

Osim navedenih regija, postoje nalazi o nultim efektima stimulacije levog i desnog orbitofrontalnog korteksa na SSRT (León et al., 2020; Ouellet et al., 2015), a u jednoj novijoj studiji je dobijen značajan efekat stimulacije desnog inferiornog parijetalnog sulka (P4), sa katodom pozicioniranom na levoj supraorbitalnoj regiji (Shiga et al., 2023) bi sad bilo dobro dati neki opštiji osvrt na to šta deluje kao najviše obećavajuća regija za stimulisati ako želimo da poboljšamo postignuće na stop-signal zadatku.

Pregledom navedenih studija se može zaključiti da se desni IFG ističe kao najčešće stimulirani region u kontekstu postignuća na Stop-signal zadatku, i da postoji značajna empirijska evidencija koja ide u prilog tezi da je desni IFG optimalna regija za stimulaciju, kada je cilj neuromodulacija inhibicije odgovaranja, što je i u skladu sa rezultatima meta-analize (Schroeder et al., 2020). Međutim, ne mogu se zanemariti rezultati studija u kojima su dobijeni nulti efekti stimulacije na SSRT koji se javljaju praktično za svaku od ponuđenih montaža. Primetna je značajna metodološka heterogenost kroz različite studije u pogledu pozicioniranja elektroda, biranja protokola, dizajna studije, pa i načina tumačenja samih rezultata, kada se prijavljuju značajni efekti na SSRT, iako oni nisu dobijeni direktno u poređenju učinka u aktivnoj i lažnoj stimulaciji.

Rezultati studija u kojima su, na zdravoj populaciji ispitivani efekti tDCS na tačnost i vreme reakcije u zadatku Kreni-stani u većini slučajeva ukazuju na nulte efekte stimulacije, u poređenju sa lažnom stimulacijom. Međutim, postoje studije u kojima su dobijeni značajni

efekti na tačnost, stimulacijom levog DLPFC, sa anodom na F3, a katodom na Fp2 (Nejati et al., 2018), i na RT u Go izlaganjima (Wynn et al., 2019), nakon cerebelarne stimulacije, što je pomalo neuobičajena montaža za studije koje ispituju efekte stimulacije na egzekutivne funkcije.

U ostalim studijama, u poređenju sa lažnom stimulacijom, nisu dobijane značajne razlike u procentu grešaka i vremenu reakcije nakon stimulacije desnog IFG, kada je anoda bila postavljena na FC4, a katoda na FC3 (Leite et al., 2018; Perrotta et al., 2021), ili na orbitofrontalnom korteksu (Sikstrom et al., 2016). Alternativno, u dve studije u kojima je stimulisan desni IFG, anodalna elektroda bila pozicionirana na F8, takođe nisu dobijeni značajni efekti stimulacije na učinak u zadatku Kreni-stani (Campanella et al., 2018; Dambacher et al., 2015). Takođe, u još jednoj studiji sa alternativnom montažom za desni IFG (anoda između F6 i FC6, katoda iznad leve obrve) dobijeni su nulti efekti stimulacije (Sallard et al., 2018).

Rezultati nekoliko studija u kojima je stimulisan levi (Nieratschker et al., 2015; Plewnia et al., 2013) i desni (Wu et al., 2022) DLPFC, sa anodom pozicioniranom na F3/F4, a katodom iznad kontralateralne obrve, ukazuju na nulte efekte tDCS na učinak u zadatku Kreni-stani. Takođe, jedno istraživanje sa bipolarnom montažom na bilateralnom DLPFC (Sedgmond et al., 2019), sa anodom na F4, a katodom na F3, nije pokazalo značajne efekte stimulacije na učinak u modifikovanom zadatku Kreni-stani.

Pored toga što neki autori prijavljuju nulte generalne efekte stimulacije na učinak u zadatku u poređenju sa lažnom stimulacijom, u nekim od prethodno navedenih radova su prijavljene značajne korelacije između poboljšanja u učinku nakon stimulacije u okviru jedne sesije (pretest/posttest efekti) sa nivoom početnog učinka (Wu et al., 2022), ili generalnog nivoa pažnje (Sikstrom et al., 2016).

Finalno, Stop-signal deluje kao adekvatniji izbor mere inhibicije odgovaranja, kada se ispituju efekti neuromodulacije na navedenu funkciju, što ukazuje i veći broj dobijenih značajnih efekata, ali i rezultati meta-analize (Schroeder et al., 2020).

1.3.2 Efekti tDCS na kontrolu interferencije

U studijama u kojima su ispitivani efekti tDCS na kontrolu interferencije najčešće je korišćen Klasični Strupov zadatak ili neke od njegovih modifikacija (kao npr. Spacijalni ili Numerički), dok su u literaturi malo manje zastupljeni nalazi u vezi sa Flanker zadatkom i Sajmon zadatkom. Kao mere ishoda navedenih zadataka na kojima su se statistički proveravali efekti tDCS je najčešće korišćeno prosečno RT za pojedinačne tipove izlaganja u konkretnom zadatku (npr. prosečno RT za nekongruentne stimulse) ili Strup, Flanker ili Sajmon efekat koji predstavljaju razliku prosečnog RT različitih tipova izlaganja (npr. razlika prosečnog RT nekongruentnih i neutralnih stimulusa). U manjoj meri se kao krajnji skor navedenih zadataka koristila tačnost, odnosno proporcija grešaka po različitim tipovima stimulusa. Slično kao i kod studija koje su ispitivale efekte tDCS na inhibiciju odgovaranja, u studijama koje će biti prikazane u ovom odeljku su u podjednako meri korišćeni i paralelni i kros-over dizajn eksperimenta, a kao kontrolna situacija je dominantno korišćena lažna stimulacija. U Tabeli 2 su prikazani osnovni metodološki parametri i rezultati studija u kojima su, na zdravim ispitanicima, ispitivani efekti tDCS na zadatke kontrole interferencije. Nalazi u Tabeli 2 su organizovani na isti način kao i u prethodno prikazanoj, Tabeli 1.

Tabela 2. Prikaz metodoloških parametara i efekata tDCS na kontrolu interferencije konflikta

Članak	Zadatak	tDCS	ROI strana	ROI, pozicija	Ref, pozicija	Ref strana	Mera	Kontrola	Dizajn	Efekat
Loftus et al., 2015	Klasični Strup	A	L	DLFC F3	dLPFC F4	D	RT neutral, nekongruentni	lažna stimulacija	P	+
Perrotta et al., 2021	Klasični Strup	A	L	dLPFC F3	dLPFC F4	D	greške nekongruentni	lažna stimulacija	P	+
Jeon & Han, 2012	Klasični Strup	A	L,D	DLFC F3;F4	SO	L,D	diff	lažna stimulacija	P	+
Khan et al., 2020	Klasični Strup	A	L	ACC; Fz	obraz	L	RT nekongruentni	lažna stimulacija	P	+
Živanović, 2019	Spacijalni Strup	A	D	PPC P4	obraz	L	diff	lažna stimulacija	K-O	+
Oueliet et al., 2015	Klasični Strup	A	D,L	rOFC (Fp2)	rOFC (Fp2)	D,L	diff skor	lažna stimulacija	P	+
To et al., 2018	Numerički Strup	HD-A	BL	IOFC (Fp1)	IOFC (Fp1)	D,L	diff skor	lažna stimulacija	P	+
Khan et al., 2022	Klasični Strup	HD-A	BL	ACC; Fz	Fp1,F2,F7,F8 FC3, FC4, AF3, AF4	BL	RT nekongruentni	lažna stimulacija	P	+
Laskov et al., 2023	Klasični Strup	A	L	ACC; Fz	Fp1,F2,F7,F8 FC3, FC4, AF3, AF4	BL	RT nekongruentni	lažna stimulacija	P	+
Baumert et al., 2019	Klasični Strup	A	L	DLFC F3	dLPFC F4	D	diff	lažna stimulacija	P	0
Lage et al., 2020	Klasični Strup	A,K	L	dLPFC F3	rame - trapezijus	L	diff, SE	lažna stimulacija	P	0
Fecteau et al., 2007	Klasični Strup	K	L	DLFC F3	SO	D	Diff RT	lažna stimulacija	K-O	0
Wu et al., 2022	Klasični Strup	A	L,D	DLFC F3;F4	DLFC F3; F4	L,D	RT diff skor	lažna stimulacija	P	0
Živanović, 2019	Klasični Strup	A, K	D	dLPFC F4	SO	L	diff, tačnost	lažna stimulacija	P	0
Živanović, 2019	Klasični i Spacijalni Strup	A,	D,L	DLFC; F4,F3;	obraz	D, L	diff, tačnost	lažna stimulacija	K-O	0
Živanović, 2019	Klasični i Spacijalni Strup	A,	D,L	PPC; P4, P3	obraz	D, L	diff, tačnost	lažna stimulacija	K-O	0
Živanović, 2019	Klasični i Spacijalni Strup	A, BF	D,L	DLFC; F4,F3PPC; P4, P3	obraz	D, L	diff, tačnost	lažna stimulacija	K-O	0
Klein et al., 2013	Klasični Strup	A, K	L,D	IPS; P3,P4	SO	L,D	RT nekongruentni, diff	lažna stimulacija	K-O	0
Fregni et al., 2006	Klasični Strup	A	L,D	M1 - C3/C4	SO	L,D	diff	lažna stimulacija	P	0

Članak	Zadatak	tDCS	ROI strana	ROI, pozicija	Ref, pozicija	Ref strana	Mera	Kontrola	Dizajn	Efekat
Karim et al., 2010	Klasični Strup	K	D	OFC; Fp2 rIFG presek	PO3	L	RT nekongruentni	lažna stimulacija	K-O	0
Perrotta et al., 2021	Spacijalni Strup	A	D	F8-Cz i T4-Fz	SO	L	RT, tačnost	lažna stimulacija	K-O	0
Matavelli et al., 2022	Flanker	HD-K	L	ACC; F1, Fz, FCz	PO9, O9, O10	L	diff	lažna stimulacija	K-O	+
Karuza et al., 2016	Flanker	A	L	DLPFC; F3	SO	D	diff	lažna stimulacija	P	+
Dubreuil-Vall	Flanker	A	L,D	DLPFC; F3, F4	SO	L,D	RT	lažna stimulacija	K-O	+
Gbadeyan et al., 2016	Flanker	HD-A	L,D	DLPFC; F3; F4	prsten oko anode	D,L	diff, SE	lažna stimulacija	K-O	+
Zmigrod et al., 2016	Flanker	K	D	DLPFC; F4	SO	L	diff	lažna stimulacija	K-O	-
Bellaiche et al., 2013	Flanker	A, K	C	ACC, (MPFC) Fz	Između Oz i Iniona	C	RT i usporavanje nakon greške	lažna stimulacija	P	0
Matavelli et al., 2022	Flanker	HD A	L	ACC; F1 Fz FCz	PO9, O9, O10	L	diff	lažna stimulacija	K-O	0
Karuza et al., 2016	Flanker	K	L	DLPFC; F3	SO	D	diff	lažna stimulacija	P	0
Weller et al., 2020	Flanker	A	L,D	DLPFC; F3, F4	deltoid	L,D	RT	lažna stimulacija	P	0
Zmigrod et al., 2016	Flanker	A	D	DLPFC; F4	SO	L	RT nekongruentni, diff	lažna stimulacija	K-O	0
Thomas et al 2020	Flanker	HD A	L	F3	Fz, FC1, FC5, AF7	L	diff, RT nekongruentni, tačnost	lažna stimulacija	K-O	0
Gbadeyan et al., 2016	Flanker	HD A	L, D	M1; C4; C3	prsten oko anode	L,D	diff, SE	lažna stimulacija	K-O	0
Gorrino et al., 2023	Flanker	HD-A, K	D	PI; CP4,C6,CP6	FT8,F10,FT10	D	diff	lažna stimulacija	K-O	0
Adelhofer et al., 2021	Sajmon	A	C	SMA; 1,8cm anteriorno od Cz	sredina čela	C	RT nekongruentni	lažna stimulacija	K-O	-

Članak	Zadatak	tDCS	ROI strana	ROI, pozicija	Ref, pozicija	Ref strana	Mera	Kontrola	Dizajn	Efekat
Zmigrod et al., 2016	Sajmon	A,K	D	DLPFC; F4	SO	L	RT diff skor RT nekongruentni	lažna stimulacija	K-O	0

A – anoda; K – katoda; BF – bifokalno; D – desno; L – levo; C – centralno; ROI – region od interesa; Ref – referentna elektroda; P – paralelni; K-O – kros-over; + – poboljšanje učinka usled tDCS; - – pogoršanje učinka usled tDCS; 0 – nulti efekti tDCS; SO – supraorbitalna area; diff – diferencijalni skor prosečnog vremena reakcije; SE – efekat kongruentnosti sekvence

Rezultati studija o efektima stimulacije na učinak u različitim verzijama Strupovog zadatka su nekonzistentni, slično kao i u vezi sa inhibicijom odgovaranja. Zona mozga koja je najčešće stimulirana jeste levi, a zatim i desni DLPFC. U studiji (Jeon & Han, 2012), ispitanici su, u odnosu na situaciju lažne stimulacije, pokazali značajno brži učinak prilikom imenovanja boja u nekongruentnom bloku nekompjuterizovane, papirne verzije Strupovog zadatka. U ovoj studiji su zasebno stimulirani i levi i desni DLPFC, sa katodom postavljenom na kontralateralnoj supraorbitalnoj regiji. U dve studije u kojima je stimuliran levi DLPFC, sa katodom na desnom DLPFC, su dobijeni značajni efekti u vidu bržeg vremena reakcije na nekongruentnim i neutralnim stimulusima u zadatku Strupovog podudaranja (Loftus et al., 2015), i manjeg broja grešaka za nekongruentne stimuluse u zadatku u kojem je klasični Strupov zadatak kombinovano zadavan sa zadatkom 3-unazad (Perrotta et al., 2021). Ipak, u nekim studijama stimulacije levog DLPFC, sa katodom na kontralateralnom DLPFC (Fecteau et al., 2007; Laskov et al., 2023), kontralateralnoj supraorbitalnoj regiji (Lage et al., 2020), obrazu (Živanović, 2019), ili ekstrakranijalno, na ipsilateralnom trapezijusu (Baumert et al., 2020) nisu dobijeni značajni efekti ni u pogledu prosečnog RT, niti u pogledu tačnosti. Takođe, u nekim studijama nisu dobijeni značajni efekti stimulacije desnog DLPFC, kada je katoda bila pozicionirana na kontralateralnoj supraorbitalnoj regiji (Wu et al., 2022), ili ekstrakranijalno, na kontralateralnom obrazu (Živanović, 2019).

Broj studija u kojima su istraživani efekti stimulacije drugih regiona mozga na učinak u Strupovom zadatku je mali. Postoje nalazi o poboljšanju diferencijalnog vremena reakcije nakon anodalne stimulacije desnog i levog orbitofrontalnog korteksa (OFC), sa katodom pozicioniranom na kontralateralnom OFC (Ouellet et al., 2015), dok, sa druge strane, katodalna stimulacija desnog orbitofrontalnog korteksa nije dovela do statistički značajnih promena u skorovima (Karim et al., 2010). Studije stimulacije desnog IFG (Perrotta et al., 2021) i primarne motorne zone (Fregni et al., 2006) su takođe pokazale nulte efekte na skorovima Strupovog zadatka. U dve studije u kojima je stimuliran levi i desni posteriorni parijetalni korteks (PPC) nisu dobijeni značajni efekti na skorovima u klasičnom Strupovom zadatku, dok je stimulacija desnog PPC dovela do značajnog poboljšanja u učinku u specijalnom Strupovom zadatku (Klein et al., 2013; Živanović, 2019).

U literaturi se mogu naći rezultati tri studije u kojima je za modulaciju učinka na Strupovom zadatku aktivna elektroda bila smeštena na medijalnom prefrontalnom korteksu (MPFC), na tački Fz, kako bi se stimulacijom zahvatio ACC. U jednoj studiji sa bipolarnom montažom u kojoj je katoda pozicionirana na levom obrazu su dobijeni značajni efekti ubrzanja na nekongruentnim stimulusima u klasičnom Strupovom zadatku (Khan et al., 2020). Neki od autora su koristili HD-tDCS kako bi stimulirali ACC. U jednoj od tih studija je nakon anodalne stimulacije dobijeno poboljšano vreme reakcije na nekongruentnim stimulusima u numeričkom Strupovom zadatku, sa referentnim elektrodama postavljenim na Fp1, Fp2, F7 i F8 (To et al., 2018). Isti autori su u navedenom eksperimentu dobili značajan efekat katodalne stimulacije na poboljšanje učinka u modifikovanom emocionalnom Strupovom zadatku. U drugoj studiji sa HD montažom u kojoj su referentne elektrode bile smeštene na FC3, FC4, AF3 i AF4 su takođe dobijeni značajni efekti u vidu bržeg odgovaranja na nekongruentne i neutralne stimuluse, a diferencijalni skor (Strup efekat) je bio značajno manji nakon stimulacije, u okviru jedne sesije, dok je ta razlika u situaciji lažne stimulacije ostala iznad nivoa značajnosti (Khan et al., 2022).

Drugi najčešće korišćen zadatak u studijama neuromodulacije kontrole interferencije je Flanker zadatak, odnosno njegova verzija sa strelicama. Slično kao i za prethodno opisane rezultate, efekti tDCS na učinak u Flanker zadatku su takođe nekonzistentni. Najčešće stimulirana zona mozga je i u ovom slučaju DLPFC, s tim što se kao efikasnija pokazala

stimulacija levog u odnosu na desni DLPFC. U dve studije sa montažom anode na F3, a katode iznad desne obrve su ispitanici bili značajno brži na nekongruentnim stimulusima nakon stimulacije, u poređenju sa lažnom stimulacijom (Dubreuil-Vall et al., 2019), a efekat je bio otporan i na variranje intenziteta stimulacije (Karuza et al., 2016). Kao značajan rezultat, u literaturi se navodi i studija (Gbadeyan et al., 2016) u kojoj je stimulacijom levog DLPFC, sa koncentričnom katodom oko anode dobijeno brže adaptiranje na konflikt koje je izraženo kroz smanjenje flanker efekta u situaciji kada je prethodno izlaganje bilo nekongruentno u odnosu na situaciju kada je ono bilo kongruentno.¹⁴ Nasuprot ovome, brža adaptacija na konflikt se nije dogodila stimulacijom primarne motorne zone ili lažnom stimulacijom. Rezultati studija u kojima je stimulisan desni DLPFC nisu dobijeni značajni efekti na RT, tačnost ili flanker efekat (Dubreuil-Vall et al., 2019; Weller et al., 2020), osim u jednoj studiji u kojoj je katodalnom stimulacijom (sa anodom iznad leve obrve) dobijeno značajno usporavanje odgovora na nekongruentne stimulse, dok katodalna stimulacija nije imala značajan efekat (Zmigrod et al., 2016). Sa druge strane, postoje i rezultati o nultim efektima stimulacije levog DLPFC-a, kada je katoda bila pozicionirana ekstrakranijalno, na kontralateralnom ramenu, ali i u HD prstenastoj montaži, sa refrentnim elektrodama pozicioniranim na Fz, FC1, FC5 i AF7 kada je stimulacija primenjena sama ili kombinovano uz eksperimentalnu intervenciju fizičkog vežbanja (Thomas et al., 2020).

Od drugih regiona mozga, u dve studije je stimulisan ACC, a rezultati su drugačiji u poređenju sa prethodno opisanim efektima na Strupovom zadatku. Autori (Bellaïche et al., 2013) su bipolarnom montažom u kojoj je anoda bila na Fz, a katoda na ispod okcipitalnog režnja (između pozicija Oz i Inion) dobili nulte efekte na učinak u Flanker zadatku sa strelicama. Sa druge strane, u eksperimentu u kom je korišćena nešto složenija, višekanalna montaža sa tri aktivne (F1, Fz, FCz) i tri referentne (PO9, O9, O10) elektrode nije dobijen značajan efekat anodalne stimulacije, ali je katodalna stimulacija značajno smanjila Flanker efekat u odnosu na lažnu i anodalnu stimulaciju i time ukazala na poboljšanje učinka u zadatku (Mattavelli et al., 2022). U jednom novijem istraživanju iz iste laboratorije (Gorrino et al., 2023), je višekanalnom tDCS targetirana posteriorna insula, montažom sa tri aktivne (CP4, C6, CP6) i tri referentne (FT8, F10, FT10) elektrode, međutim nisu dobijeni značajni efekti na učinak u Flanker zadatku.

U manjem broju studija je zadavan Sajmon zadatak, a rezultati stimulacije desnog DLPFC ukazuju na nulte efekte stimulacije (Zmigrod et al., 2016), dok je anodalna stimulacija suplementarnog motornog regiona (engl. Supplementary motor area, SMA) dovela do povećanja vremena reakcije na nekongruentne stimulse (Adelhöfer et al., 2021), što je suprotno očekivanjima. U jednoj studiji (Kaur et al., 2020) u kojoj je višekanalnom tDCS stimulisan ACC (sa aktivnim elektrodama pozicioniranim na AFz i AF4, a referentnim na O10, TP7 i P3) nisu dobijeni značajni efekti na zadatak višezvorne interferencije, koji je pouzdan bihevioralni indikator aktivnosti ACC (Bush & Shin, 2006). U istom eksperimentu su dobijeni i nulti efekti kada je korišćena bipolarna montaža elektroda, sa anodom pozicioniranom na AFz, a katodom na PO7.

Važno je napomenuti da u studijama u kojima su ispitivani efekti tDCS na kontrolu interferencije uglavnom ispitivan uticaj na SR tip konflikta. Iako su se u značajnom broju studija koristile mere iz Flanker zadatka, dizajn paradigme i tipovi izlaganja su u većini navedenih istraživanja bili takvi da konflikt koji potiče od distraktora nije u potpunosti neutralan u odnosu na sam proces odgovaranja. Drugim rečima, za davanje tačnog odgovora

¹⁴ Ovaj način izražavanja skora u zadacima kontrole interferencije se naziva drugačije i efekat kongruentnosti sekvence, ali kao takav, prevazilazi predmet merenja egzekutivne funkcije inhibicije i značajno se preklapa sa premeštanjem, drugom egzekutivnom funkcijom.

je potrebno u podjednakoj meri izvršiti kontrolu nad SS ali i SR konfliktom. Takođe, potrebno je istaći da nijedna od navedenih studija nije koristila zadatak podudaranja oblika koji je konceptualizovan tako da distraktori indukuju samo SS tip konflikta, čime je varijansa koja potiče od SR konflikta neutralizovana. Na osnovu pregleda rezultata, može se zaključiti i da u literaturi postoji nedostatak nalaza o neuromodulaciji kontrole distraktorske interferencije, odnosno otpornosti na SS konflikt.

Takođe, značajno je napomenuti da iako je u nekim od navedenih studija zadavano više različitih zadataka inhibitorne kontrole (Perrotta et al., 2021; Zmigrod et al., 2016), nijedan od prikazanih radova nije na sistematski način ispitao potencijal neuromodulacije različitih funkcija inhibitorne kontrole, oslanjajući se na nalaze o psihometrijskoj strukturi inhibicije.

Analizom izloženih nalaza o efektima tDCS na egzekutivnu funkciju inhibicije se može utvrditi velika heterogenost studija u pogledu stimulisanih regiona, parametara stimulacije i korišćenih mera inhibicije. Kada se navedeni nalazi sumiraju, može se zaključiti da se stimulacijom desnog IFG mogu postići značajni efekti na inhibiciju odgovaranja, iako svi nalazi ne ukazuju jednoznačno na taj zaključak. Nalazi o efektima stimulacije DLPFC na kontrolu interferencije konflikta nisu konzistentni. Takođe, osim nekoliko nedavno objavljenih studija, praktično da nema istraživanja koja su ispitivala efekte stimulacije ACC-a na kontrolu interferencije konflikta, dok nalaza o mogućnosti uticaja stimulacijom navedene regije na inhibiciju odgovaranja nema.

1.4 Problem, ciljevi i hipoteze

U studijama u kojima se zadaje veći broj zadataka inhibicije se može ispitati jedinstvenost nasuprot razdvojenosti funkcija inhibitorne kontrole. Rezultati prethodnih psihometrijskih studija ukazuju na međusobnu povezanost ali i razdvojenost dva tipa inhibicije: 1) inhibicije odgovaranja koja se odnosi na situacije u kojima je potrebno uzdržavanje od bilo kakvog odgovora i 2) kontrole interferencije konflikta koja se odnosi na situacije kada je potrebno prevazilaženje konflikta u okviru samog zadatka i karakteristika stimulusa (SS konflikt) ili načina davanja odgovora (SR konflikt). Na taj način, navedena dva tipa inhibicije su manje ili više analogna prethodno utvrđenim faktorima (inhibicija dominantnih odgovora, inhibicija odgovaranja, zadržavanje pažnje, sa jedne strane i otpornost na distraktorsku interferenciju, inhibicija pažnje, selekcija odgovora, ograničenje pažnje, sa druge). Takođe, rezultati ukazuju na to da zadaci koji mere kontrolu SR interferencije (npr. Strupov zadatak, kao jedan od najviše korišćenih zadataka egzekutivne inhibicije) u zavisnosti od studije i korišćene baterije zadataka konvergiraju sa zadacima inhibicije odgovaranja kao i kontrole interferencije SS konflikta. Nalazi nekih studija (Friedman & Miyake, 2004; Petigrew & Martin, 2014) ukazuju na jedinstvenost ta dva tipa kontrole interferencije konflikta. Sa druge strane, u nekim modelima je kontrola interferencije SR konflikta konceptualizovana kao inhibicija odgovaranja (Rey-Mermert et al, 2017) ili uopšte nije uzeta u obzir kao potencijalno zasebna funkcija inhibitorne kontrole (Tiego et al, 2018). Samo jedan model (Stahl et al, 2014) je pretpostavio i potvrdio nezavisnost inhibicije odgovaranja, SR i SS kontrole interferencije ali na neadekvatan način, s obzirom na to da su se za merenje kontrole SR interferencije koristili zadaci premeštanja. Stoga se može postaviti pitanje ispitivanja potencijalne jedinstvenosti konstrukta kontrole interferencije konflikta naspram razdvojenosti SS i SR tipa kontrole interferencije. Sa svrhom potpunijeg uvida u strukturu funkcija inhibitorne kontrole, potrebno je dodatno ispitati i jedinstvenost naspram nezavisnosti SR tipa kontrole interferencije i inhibicije odgovaranja. Konačno, može se postaviti i pitanje jedinstvenosti naspram

nezavisnosti inhibicije odgovaranja i kontrole interferencije SR i SS konflikta kao jedinstvenog konstrukta.

Prikazani rezultati studija o neuralnim osnovama funkcija inhibitorne kontrole ukazuju na razdvajanje potencijalna dva tipa inhibicije. Desni inferiorni frontalni girus (IFG) ima dominantnu ulogu kod inhibicije odgovaranja, dok se kao ključni region za učinak u zadacima kontrole interferencije SR i SS konflikta izdvaja anteriorni cingulatni korteks (ACC). Takođe, prilikom izvršavanja zadataka oba tipa inhibicije aktivne su i ostale prefrontalne regije, a možda i najviše dorzolateralni prefrontalni korteks (DLPFC). Međutim, neki rezultati (De Zubicaray et al., 2000; Durston et al., 2002; Huang et al., 2020) ukazuju na aktivnost IFG u vezi sa inhibicijom konflikta, kao i ACC u vezi sa inhibicijom odgovaranja, stoga podaci ne ukazuju jednoznačno na potencijalnu disocijaciju dva tipa inhibicije na neuralnom planu. Stoga, jedan od fokusa ovog rada će biti ispitivanje aktivnosti oba lokusa u mozgu u kontekstu pretpostavljene dve funkcije inhibicije.

Jedan od nedostataka studija neuroodslikavanja je u tome što su one korelacionog tipa i ne omogućavaju donošenje kauzalnih zaključaka o značaju aktivnosti datog regiona mozga na procenjivanu kognitivnu funkciju. Korišćenjem tehnika neuromodulacije kao što je transkranijalna stimulacija jednosmernom strujom (tDCS) se omogućava prevazilaženje ovog problema. Rezultati o efektima tDCS ukazuju na mogućnost uticaja na inhibiciju odgovaranja, kada se stimuliše IFG ali rezultati nisu konzistentni jer se u literaturi mogu naći i nalazi o nepostojanju značajnih efekata stimulacije ovog regiona. Takođe, efekti stimulacije drugih regija mozga na inhibiciju odgovaranja ne ukazuju jednoznačno na mogućnost pozitivnog uticaja na postignuće. Generalno, rezultati o efektima tDCS na kontrolu interferencije konflikta su nekonzistentni, a kao najčešće stimulirani region se izdvaja DLPFC što je u nekim studijama dovelo do značajnih efekata (Jeon & Han, 2012; Karuza et al., 2016), a u nekim ne (Baumert et al., 2020; Živanović, 2019). S obzirom na poziciju ACC-a, ovaj region mozga nije mogao biti stimulisan korišćenjem klasičnog tDCS metoda već samo pomoću optimizovanih tDCS protokola, stoga postoji samo jedna studija u kojoj je pokazan efekat stimulacije anodalne ACC na poboljšanje učinka u Strupovom zadatku (To et al., 2018). U većini navedenih studija je kao mera inhibicije korišćen skor na samo jednom zadatku, bez informacija o poziciji tog zadatka u nekoj široj reprezentativnoj bateriji inhibitornih funkcija. Na kraju, može se primetiti i nedostatak objedinjujuće studije koja bi sistematski ispitala potencijalan uticaj transkranijalne stimulacije jednosmernom strujom na inhibiciju odgovaranja i kontrolu interferencije konflikta kada se kao lokusi stimulacije odrede regioni mozga koji su najviše dovođeni u vezu sa pretpostavljenim konstruktima.

1.4.1 Ciljevi rada

Na osnovu izloženog, mogu se odrediti dva opšta cilja ovog rada, Prvi se odnosi na odgovor na pitanje jedinstvenosti naspram razjedinjenosti različitih funkcija inhibitorne kontrole na psihometrijskom planu. Specifično, ispitana je potencijalna razdvojenost ili jedinstvenost kontrole interferencije SS i SR tipa, a zatim i inhibicije odgovaranja i kontrole interferencije SR tipa konflikta. Takođe, ispitana je i jedinstvenost egzekutivne funkcije inhibicije kao opšteg mehanizma naspram razjedinjenosti inhibicije odgovaranja i kontrole interferencije konflikta kao takođe potencijalno jedinstvenog ili razjedinjenog konstrukta u pogledu na kontrolu interferencije SS odnosno SR tipa. Još specifičniji, praktični cilj jeste i selekcija zadataka koji na najreprezentativniji način mere dobijene funkcije inhibitorne kontrole i koji će se koristiti u eksperimentalnom delu rada.

Drugi opšti cilj se odnosi na pitanje razdvojenosti ili jedinstvenosti različitih funkcija inhibitorne kontrole na neuralnom planu. Specifično, u slučaju razjedinjenosti funkcija

inhibitorne kontrole biće ispitana mogućnost egzogenog uticaja neuromodulacijom IFG na inhibiciju odgovaranja kao i neuromodulacije ACC na kontrolu interferencije konflikta. Odgovorom na ovo pitanje bi se utvrdila potencijalna dvostruka disocijacija dva tipa inhibicije koja se manifestuje specifičnom aktivnošću navedenih regiona mozga. U slučaju provere jedinstvenosti, tj. dobijanja značajnih ali ne i diferencijalnih efekata na dva tipa inhibitorne kontrole stimulacijom IFG i ACC biće ispitani potencijalni efekti neuromodulacije i na opšti učinak egzekutivne funkcije inhibicije.

1.4.2 Hipoteze

U vezi sa prvim opštim ciljem postavljamo dve hipoteze.

H1. Latentna struktura inhibitorne kontrole će pokazati konvergenciju faktora kontrole interferencije konflikta SR i SS tipa, odnosno izdvojiće se opšti faktor kontrole interferencije.

Prva hipoteza je postavljena na osnovu nalaza o konvergenciji faktora inhibicije dominantnih odgovora, koji su bili zasićeni zadacima kontrole interferencije SR tipa, i faktora kontrole distraktorske interferencije (Friedman & Miyake, 2004; Pettigrew & Martin, 2014).

H2. Latentna struktura inhibitorne kontrole pokazaće razdvojenost inhibicije odgovaranja i kontrole interferencije konflikta.

Druga hipoteza je postavljena na osnovu navedenih rezultata studija u kojima su kontrastirana dva tipa inhibicije (Bender et al., 2016; Friedman & Miyake, 2004; Kane et al., 2016; Tiego et al., 2018).

U vezi sa drugim opštim ciljem rada postavljene su treću i četvrtu hipotezu.

H3 Neuromodulacija desnog inferiornog frontalnog girusa (IFG) će imati značajan uticaj na inhibiciju odgovaranja, a manji ili nepostojeći efekat na kontrolu interferencije konflikta.

Treća hipoteza je postavljena na osnovu nalaza iz studija neuroodslikavanja o veoma značajnoj ulozi desnog IFG kao globalne „kočnice“ (Aron et al., 2004, 2014) za širi spektar reakcija što je u skladu sa konceptom inhibicije odgovaranja. Takođe, ova hipoteza je potkpreljena nalazima o pozitivnim značajnim efektima neuromodulacije desnog IFG na učinak u zadacima inhibicije odgovaranja (Sandrini et al., 2020) o čemu svedoče i meta-analički podaci (Schroeder et al., 2020).

H4 Neuromodulacija anteriornog cingulatnog korteksa (ACC) će imati značajan uticaj na kontrolu interferencije konflikta, a manji ili nepostojeći efekat na inhibiciju odgovaranja.

Četvrta hipoteza je takođe postavljena na osnovu nalaza iz studija neuroodslikavanja koje ističu ACC kao region za nadgledanje i obradu konfliktnih informacija (Botvinick et al., 2004a; Yeung, 2015) kao i studija koje ističu aktivnost ACC prilikom izvršavanja zadataka inhibicije konflikta (Banich, 2019; Soares et al., 2019; Van Veen et al., 2001) što je potvrđeno i meta-analičkim podacima (Huang et al., 2020) i povoljnim rezultatima o mogućnostima modulacije učinka u zadacima kontrole interferencije konflikta stimulacijom ACC-a (To et al., 2018).

2 STRUKTURA FUNKCIJA INHIBITORNE KONTROLE

2.1 Uvodni okvir

U ovom poglavlju će detaljno biti opisan metod i rezultati istraživanja u kojem je, na širokoj bateriji zadataka inhibitorne kontrole koji se konvencionalno koriste u istraživanjima, ispitivano pitanje jedinstvenosti naspram razjedinjenosti različitih funkcija inhibicije, odnosno inhibicije odgovaranja i kontrole interferencije konflikta koji može poticati od irelevantnih karakteristika stimulusa (SS konflikt), što predstavlja kontrolu distraktorske interferencije, ili kod kojeg dolazi do interferencije usled postojanja drugog, netačnog, a dominantnog odgovora (SR konflikt). Finalno, nakon provere različitih modela strukture funkcija inhibitorne kontrole, doneće se zaključak o optimalnim merama dobijenih funkcija, koje će se koristiti u sledećoj fazi istraživanja.

2.2 Metod

2.2.1 Uzorak

Kako bi se odredila odgovarajuća veličina uzorka, sprovedena je analiza statističke snage. Za sprovođenje ove analize je korišćen softver G-Power 3.1.9.7 (Faul et al., 2007). Ispitivanje latentne strukture funkcija inhibitorne kontrole u osnovi svodi na korelacije između pojedinačnih mera. Stoga, izračunata je preporučena veličina uzorka kojom se mogu detektovati korelacije intenziteta $r = .25$, sa statističkom snagom 0.95, i verovatnoćom α greške .05. Rezultati analize snage su pokazali da je 202 ispitanika dovoljno za detektovanje ove korelacije. Ovaj broj ispitanika je dovoljno veliki i kako bi se sprovele planirane i ostale statističke analize u vezi sa ciljevima ovog istraživanja među kojima je konfirmatorna faktorska analiza, s obzirom da je pet puta veći od broja parametara modela koji su planirani za testiranje (Rourke & Hatcher, 2013).

Finalni uzorak je bio prigodan i činilo ga je 250 ispitanika dobrovoljaca. Na kraju je regrutovano više ispitanika kako bi se osigurao dovoljan broj validnih unosa za dostizanje potrebnog minimalnog uzorka. U uzorku je bilo 60 (24%) muškaraca, 188 (75.8%) žena, jedna osoba se izjasnila kao nebinarna, a jedna nije želela da se izjasni. Polovinu uzorka, 127 ispitanika (50.8%) su činili studenti druge godine psihologije i njihovo učešće u istraživanju je bilo vrednovano u okviru redovnih fakultetskih obaveza. Ostatak uzorka je za učešće u istraživanju bio motivisan nagradnom igrom u kojoj je dodeljeno 30 vaučera za kupovinu u knjižari. Sprovođenje studije je odobreno od etičkog odbora Odeljenja za Psihologiju Filozofskog fakulteta u Beogradu (broj protokola #2023-012).

2.2.2 Zadaci inhibicije odgovaranja

Stop-signal zadatak sa oblicima

U ovom zadatku su se ispitanicima na ekranu sukcesivno prikazivali plavi trougao ili plavi krug i od njih se zahtevalo da što brže i sa što manje grešaka pritisnu taster X na tastaturi ukoliko je na ekranu prikazan trougao, odnosno taster M, ukoliko je prikazan krug. U $\frac{1}{4}$ od svih ukupnih izlaganja ispitanicima se preko trougla ili kruga pojavljivao crveni X znak, odnosno Stop-signal. Od ispitanika se zahtevalo da se u izlaganjima kada je prikazan Stop-signal (Stop izlaganja) uzdrže od davanja bilo kakvog odgovora, odnosno da **ne reaguju**. Takođe, ispitanici su dodatno instruisani da ne čekaju Stop-signal i da ne usporavaju svoje vreme reakcije prilikom određivanja da li je na ekranu prikazan krug ili trougao, kada se Stop-signal ne

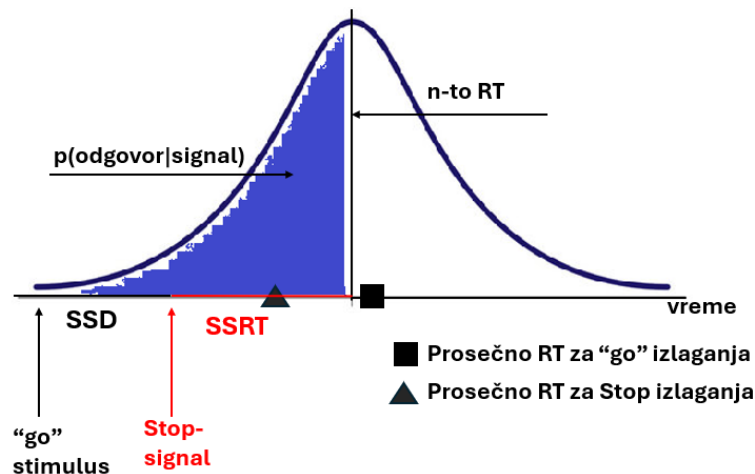
prikazuje, „Kreni“ (engl. go) izlaganja.¹⁵ Stop-signal se uvek prikazivao ubrzo nakon trougla ili kruga, a vremenski interval njegovog kašnjenja u odnosu na trougao ili krug je varirao na osnovu prethodnog učinka svakog pojedinačnog ispitanika. Na početku zadatka, vreme kašnjenja Stop-signala, eng. *Stop-signal delay*, (SSD) iznosi 250 milisekundi. U sledećem Stop izlaganju SSD bi se produžavalo za 50 milisekundi ukoliko ispitanik nije odreagovao u prethodnom Stop izlaganju, odnosno uspešno je inhibirao svoju reakciju. Ukoliko je ispitanik dao odgovor u Stop izlaganju, odnosno imao neuspešnu inhibiciju, u narednom Stop izlaganju SSD bi se skratilo za 50 milisekundi. Granica za najniži mogući SSD u zadatku je bila podešena na 50 milisekundi, dok bi potencijalno najduži mogući SSD trajao 550 milisekundi, tako da je ukupan teoretski raspon SSD-a bio ograničen na 500 ms. Zadatak je podeljen na 4 bloka sa po 64 izlaganja od kojih su 16 bila Stop izlaganja (25%), na osnovu čega je ukupno bilo 256 izlaganja (64 Stop). Na početku zadatka ispitanici su prolazili kroz blok vežbe u kojem su imali 10 izlaganja sa 2 Stop izlaganja. SSD se na početku svakog bloka resetovao na početno trajanje od 250 milisekundi. Sekvenca svakog izlaganja je počinjala fiksacionim krstićem koji je bio izlagan u trajanju od 500 milisekundi. Nakon toga, na ekranu bi se prikazao krug ili trougao, a ispitanici su imali vremensko ograničenje od 1 sekunde da daju odgovor. Pošto su dali odgovor, ispitanicima se na posle toga na ekranu pojavljivala povratna informacija o tačnosti u vidu tekstualno napisanih reči „tačno“, napisano zelenim fontom i „netačno“, napisano crvenim fontom u trajanju od 500 milisekundi. U slučaju da ispitanici nisu uspeali da daju odgovor za 1 sekundu, na ekranu bi se pojavilo obaveštenje: „*Molimo Vas da odgovarate brže, Pritisnite SPACE da nastavite sa zadatkom*“. Takođe, ukoliko bi ispitanik dao odgovor u okviru Stop izlaganja, na ekranu bi se pojavilo obaveštenje: „*Nije trebalo da reagujete, Pritisnite SPACE da nastavite sa zadatkom*“. Na kraju svakog izlaganja na ekranu je bio interstimulusni interval u vidu bele pozadine bez stimulusa u trajanju od 500 milisekundi.

Krajnji skor, Stop-signal vreme reakcije (SSRT - eng. *Stop-signal reaction time*) se u ovom zadatku računao pomoću metoda integracije (Verbruggen et al., 2019). U osnovi ovog vida skorovanja Stop-signal zadatka je model „nezavisne trke konja“ (engl. *independent horse race model*) po kome od toga da li će se stop ili „go“ proces brže završiti zavisi da li će dati odgovor u kranjem ishodu biti inhibiran (Verbruggen & Logan, 2008). Na Slici 2 je grafički prikazano SSRT, kao i njegov relativni položaj u odnosu na ostale značajne pojmove u vezi sa Stop-signal zadatkom koji su opisani u ovom odeljku. Za početak, potrebno da se za svakog ispitanika izračuna verovatnoća davanja odgovora u situacijama kada je prikazan Stop-signal, $p(\text{odgovor}|\text{signal})$. Pomoću ove verovatnoće moguće je izračunati tkzv. *n-ti* rang svih vremena reakcije „go“ izlaganja. Taj rang se računa tako što se $p(\text{odgovor}|\text{signal})$ svakog ispitanika pomnoži sa ukupnim brojem „go“ izlaganja. Ukoliko bi, na primer, postojalo 150 „go“ izlaganja, a $p(\text{odgovor}|\text{signal})$ datog ispitanika iznosi 0.5, *n-ti* rang bi za tog ispitanika bio 75-to najbrže vreme reakcije svih „go“ RT. Vreme reakcije na *n*-tom rangu predstavlja procenu vremena završetka Stop procesa.

Zbog vremenskog ograničenja od 1000 ms, većini ispitanika se dogodi da u određenom broju slučajeva ne stignu da odgovore na Go izlaganje. Ova izlaganja se ne isključuju sasvim iz dalje analize, već se prilikom izračunavanja *n-tog* vremena reakcije, svakom ispitaniku pripisuje empirijsko maksimalno vreme reakcije. U malom broju slučajeva, kod pojedinih ispitanika koji su uspešni u uzdržavanju od odgovora na Stop-signal, može da se dogodi da njihovo vreme reakcije bude kraće od SSD-a, čime bi oni u tom slučaju pogrešili, a da se Stop-signal nije ni prikazao na ekranu. Ove takozvane prerane reakcije (engl. *premature responses*) se, u slučaju kada se pojave, kategorišu kao RT na „go“ izlaganja i koriste se pri računanju *n-tog* vremena

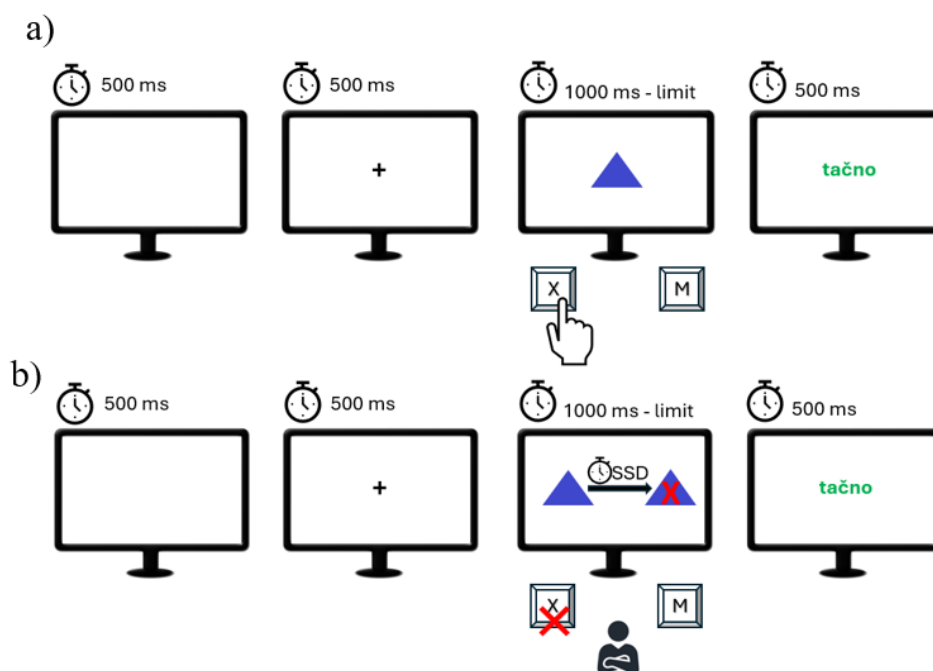
¹⁵ Kako se u literaturi u vezi sa navedenim tipovima izlaganja stimulusa uobičajeno koriste engleski termini Stop i Go, u daljem tekstu će se nastaviti korišćenje engleskih reči u kontekstu tipova izlaganja u ovom zadatku

reakcije, a samim tim, posledično i SSRT-a. U finalnu formulu za računanje n -tog vremena reakcije ulaze i RT „go“ izlaganja na kojima je ispitanik načinio grešku (pri reakciji na krug ili trougao) i na taj način se, radi bolje pouzdanosti SSRT-a, koriste praktično sva izlaganja na kojima je ispitanik odgovorio, a da se Stop-signal pre toga nije pojavio (Verbruggen et al., 2019). Važno je napomenuti da računanje prosečnog SSD-a i $p(\text{odgovor}|\text{signal})$ ostaje konstantno bez obzira na potencijalne prerane reakcije. Konačni skor u ovom zadatku, odnosno SSRT se dobija oduzimanjem prosečnog SSD-a od dobijenog n -tog vremena reakcije, za svakog ispitanika.



Slika 2. Prikaz jednog stop izlaganja i relevantnih elemenata u okviru nezavisnog horse-race modela. Ilustracija je adaptirana iz (Verbruggen et al., 2019)

Bitno je napomenuti da pre računanja SSRT-a treba proveriti dve pretpostavke koje moraju biti ispunjene kako bi se uopšte računao SSRT po ugledu na nezavisni horse-race model: 1) $p(\text{odgovor}|\text{signal})$ treba da bude oko 0.5, a tolerišu se i sve empirijske vrednosti između 0.25 i 0.75 ; 2) prosečno RT na Stop izlaganjima (greške) svakog ispitanika treba da bude numerički manje od njegovog prosečnog RT za „go“ izlaganja, ako se izuzmu situacije kada ispitanici ne stignu da odgovore za jednu sekundu. Rezultati ispitanika kod kojih nisu ispunjeni navedeni uslovi ne mogu biti iskorišćeni za računanje SSRT i opravdano je izbaciti navedene ispitanike iz analize (Verbruggen et al., 2019). Na Slici 3 su prikazane sekvence stop i „go“ izlaganja u okviru Stop-signal zadatka sa oblicima koji je zadavan u ovom istraživanju.

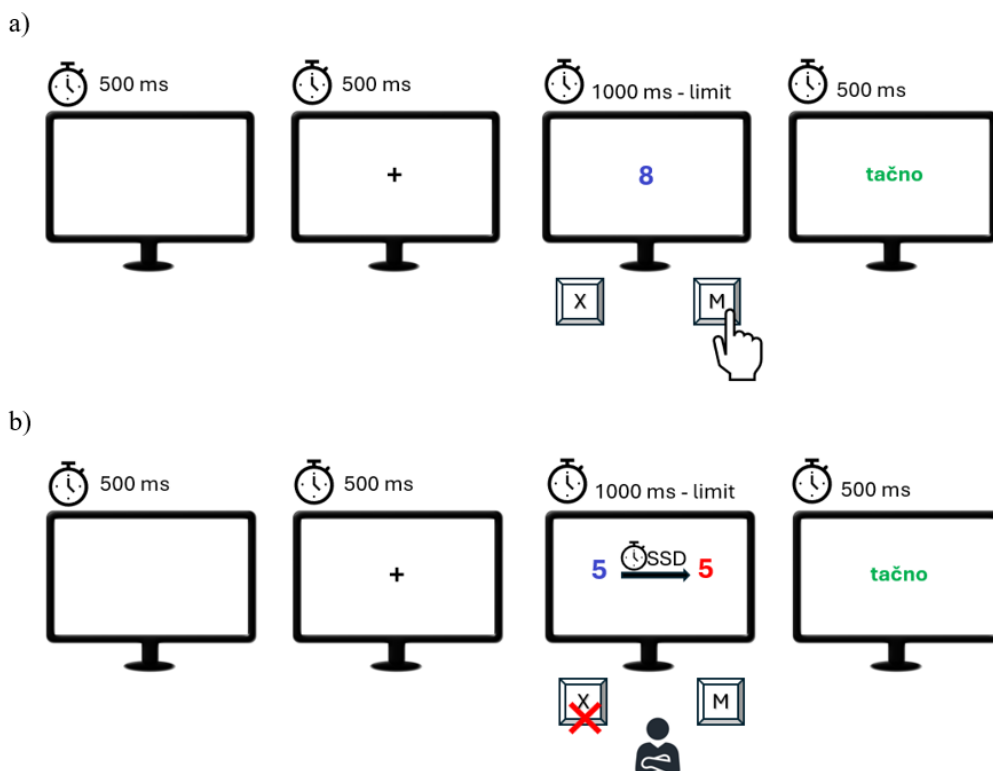


Slika 3 Grafički prikaz sekvenci izlaganja u Stop-signal zadatku sa oblicima. a) Prikaz primera "go" izlaganja b) Prikaz primera stop izlaganja

Stop-signal zadatak sa brojevima

Ovaj zadatak je po strukturi, broju stimulusa, načinu odgovaranja i samoj suštini bio isti kao i prethodno opisani Stop-signal zadatak sa oblicima. Ispitanicima se, u plavom fontu, na ekranu sukcesivno prikazivao po jedan jednocifren broj od 1 do 8 i njihov zadatak je bio da pritisnu M ukoliko je prikazan broj paran, a X ako je neparan („Go“ zadatak). U 25% slučajeva se sa određenim kašnjenjem (SSD) menjala boja fonta broja, iz plave u crvenu (Stop izlaganja). Promena boje fonta je u ovom zadatku bio Stop-signal i on je označavao ispitanicima da u toj situaciji **ne reaguju**. I ovaj zadatak je podeljen u 4 bloka po 64 izlaganja, a sekvenca izlaganja je bila identična kao i u opisu zadatka u prethodnom odeljku. Prvo je bio prikazivan fiksacioni krstić, u trajanju od 500 ms, nakon njega je sledilo prikazivanje broja i tada su ispitanici imali vremensko ograničenje od 1000 ms da odgovore, u slučaju Go izlaganja. U slučaju Stop izlaganja, trajanje SSD-a je zavisilo u odnosu na tačnost prethodnog Stop izlaganja, (početne vrednosti 250 ms, raspona od 50 do 550 ms, stepena promene ± 50 ms). I u ovom zadatku se u zavisnosti od tačnosti pri svakom izlaganju pojavljivala povratna informacija („tačno“ napisano zelenim fontom, ili „netačno“, napisano crvenim fontom) u trajanju od 500 ms. Takođe, između svakog bloka, ispitanici su imali povratnu informaciju o prosečnom vremenu reakcije na Go izlaganjima, broj situacija kada su propustili da odgovore na Go izlaganjima, broj situacija kada su pogrešno odgovorili na Stop-signal, i podsetnik da ne koriste strategiju čekanja Stop-signala.

Krajnji skor je takođe bilo SSRT, izračunato metodom integracije identičnim postupkom koji je opisan za prethodno opisanu verziju Stop-signala sa oblicima. Slika 4 prikazuje sekvencu u okviru Stop-signal zadatka sa brojevima.



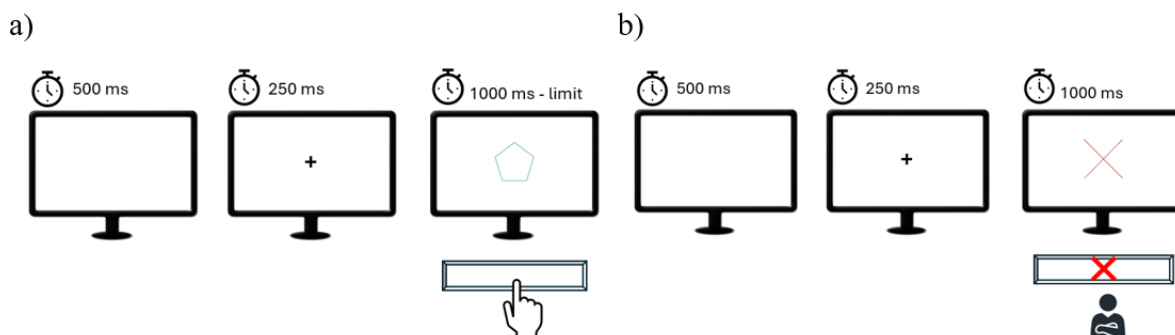
Slika 4. Grafički prikaz sekvenci u zadatku Stop-signal sa brojevima. a) Prikaz primera "go" izlaganja b) Prikaz primera Stop izlaganja

Kreni-stani

U ovom zadatku se ispitanicima na ekranu sukcesivno prikazuju geometrijski oblici (krug, trougao, kvadrat, pentagon i heksagon) čije su ivice zelene boje ili dve ukrštene linije crvene boje u obliku slova X. Ispitanici imaju instrukciju da što brže pritisnu taster SPACE kada je na ekranu prikazan bilo koji od zelenih geometrijskih oblika, a da ne reaguju kada se na ekranu prikažu dve crvene ukrštene linije. U zadatku postoji ukupno 200 izlaganja, od čega su 150 geometrijski oblici zelenih ivica („Kreni“ – engl. „Go“ izlaganja), a 50 ukrštene crvene linije („Stani“ – engl. „No-Go“ izlaganja). Sekvenca svakog pojedinačnog izlaganja počinje fiksacionim krstićem koji je na ekranu bio prikazan 500 milisekundi, zatim bi sledio „Go“ ili „No-go“ stimulus nakon čega je sledio interstimulusni interval u vidu praznog belog ekrana trajanja 250 milisekundi. Ispitanici su imali vremensko ograničenje od 1 sekunde za davanje odgovora prilikom „Go“ izlaganja i ukoliko bi zakasnili sa odgovorom, na ekranu bi im se pojavilo obaveštenje: „Zakasnili ste sa odgovorom, pokušajte da odgovorite na vreme. Pritisnite SPACE da nastavite sa zadatkom“. Ako bi ispitanik greškom odgovorio na „No-Go“ izlaganju, na ekranu bi se pojavilo obaveštenje: „Pogrešili ste, ne treba da reagujete na crveni X. Pritisnite SPACE da nastavite sa zadatkom“. Pre početka zadatka, ispitanici su imali blok za vežbu koji se sastojao od 8 (2 „No-Go“ i 6 „Go“) izlaganja.

Na osnovu tačnosti učinka u ovom zadatku, za svakog ispitanika se mogu izračunati 4 proporcije: 1) Stopa pogađanja (eng. „hit rate“) koja se izražava kroz proporciju broja reakcija na „Go“ stimulse prema ukupnom broju „Go“ izlaganja; 2) Propušteni signali koji se odnose na broj „Go“ izlaganja na koje ispitanik nije reagovao prema ukupnom broju „Go“ izlaganja; 3) Lažne uzbune (eng. „false alarms“) koji predstavlja proporciju reakcija na „No-Go“ stimulse prema ukupnom broju „No-Go“ izlaganja; 4) Tačna odbacivanje ili inhibicija (eng.

„*correct reject*“) što predstavlja proporciju ukupnog broja „No-Go“ izlaganja na koje konkretni ispitanici nisu reagovali prema ukupnom broju „No-Go“ izlaganja. Tačna inhibicija i lažne uzbune, zapravo tačnost u učinku na „No-Go“ izlaganjima se u većini istraživanja koristi kao glavni skor ovog zadatka. Pored toga, značajna varijabla u ovom zadatku je i prosečno vreme reakcije na „Go“ izlaganjima, i ono se takođe koristi kao drugi finalni skor. Na Slici 5. su prikazana „Go“ i „No-Go“ izlaganja sa stimulusima iz ovog zadatka.



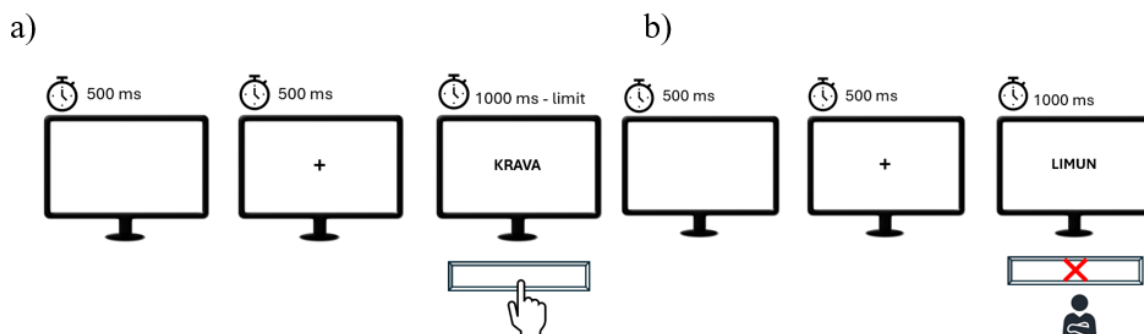
Slika 5. Grafički prikaz sekvenci izlaganja u zadatku Kreni-stani. a) Primer "go" izlaganja. b) Primer "No-Go" izlaganja

Semantički SART

Struktura Semantičkog SART (engl. *sustained attention to response task* - SART) (Kane et al., 2016; McVay & Kane, 2012) zadatka je analogna prethodno opisanom zadatku Kreni-stani. Ispitanicima se na ekranu sukcesivno prikazuju reči koje mogu biti iz kategorije životinja ili iz kategorije voće/povrće. Od ispitanika se tražilo da, kada je na ekranu prikazana reč iz kategorija životinja pritisne taster SPACE („Go“ izlaganja), a kada je prikazana reč iz kategorije voće/povrće ne reaguje na stimulus („No-Go“ izlaganja). U zadatku je bilo ukupno 200 izlaganja, od čega su 150 bila „Go“, a 50 „No-Go“. Finalne reči koje su odabrane kao stimulusi su kontrolisane po dužini, odnosno broju grafema. Za kategoriju životinja je izabrano 15 reči: 1) 3 od 7 slova – *jazavac, komarac, papagaj*; 2) 6 od 6 slova – *kamila, medved, lisica, gavran, majmun, žirafa*; 3) 6 od 5 slova – *zebra, tigar, golub, zmija, jelen, rakun*. Po istom principu, za kategoriju voće/povrće je odabrano 5 reči: 1) 1 od 7 slova – *breskva*; 2) 2 od 6 slova – *jabuka, spanać*; 3) 2 od 5 slova – *limun, kupus*. Svaka reč je ponovljena 10 puta, a redosled prikazivanja stimulusa je bio pseudorandomizovan i fiksiran za sve ispitanike. Sekvenca svakog izlaganja je počinjala fiksacionim krstićem koji se prikazivao centralno na ekranu u trajanju od 500 milisekundi. Nakon krstića sledi prikazivanje reči u crnom fontu Calibri veličine 32 takođe na centru ekrana. Nakon reči je sledio interstimulusni interval u vidu praznog belog ekrana trajanja 500 milisekundi. Ispitanici su imali vremensko ograničenje od 1 sekunde za davanje odgovora kada je prikazana reč bila iz kategorije životinja i ukoliko bi zakasnili sa odgovorom, na ekranu bi im se pojavilo obaveštenje: „*Zakasnili ste sa odgovorom, pokušajte da odgovorite na vreme. Pritisnite SPACE da nastavite sa zadatkom*“. Ako bi ispitanik greškom reagovao na reč iz kategorije voće/povrće na ekranu bi se pojavilo obaveštenje: „*Pogrešili ste, reč koja je prikazana pripada kategoriji Voće/Povrće. Pritisnite SPACE da nastavite sa zadatkom*“. Pre početka zadatka, ispitanici su imali blok za vežbu koji se sastojao od 8 (6 životinja i 2 voće/povrće) izlaganja. Reči koje su bile u bloku za vežbu su bile različite od onih koje su korišćene u zadatku.

Po sličnom principu kao i u zadatku Kreni-stani, u ovom zadatku se učinak ispitanika izražava kroz tačnost na „No-Go“ izlaganjima i prosečnim vremenom reakcije na „Go“

izlaganjima. Na Slici 6. su prikazane sekvence za „Go“ i „No-Go“ izlaganja u okviru semantičkog SART zadatka.



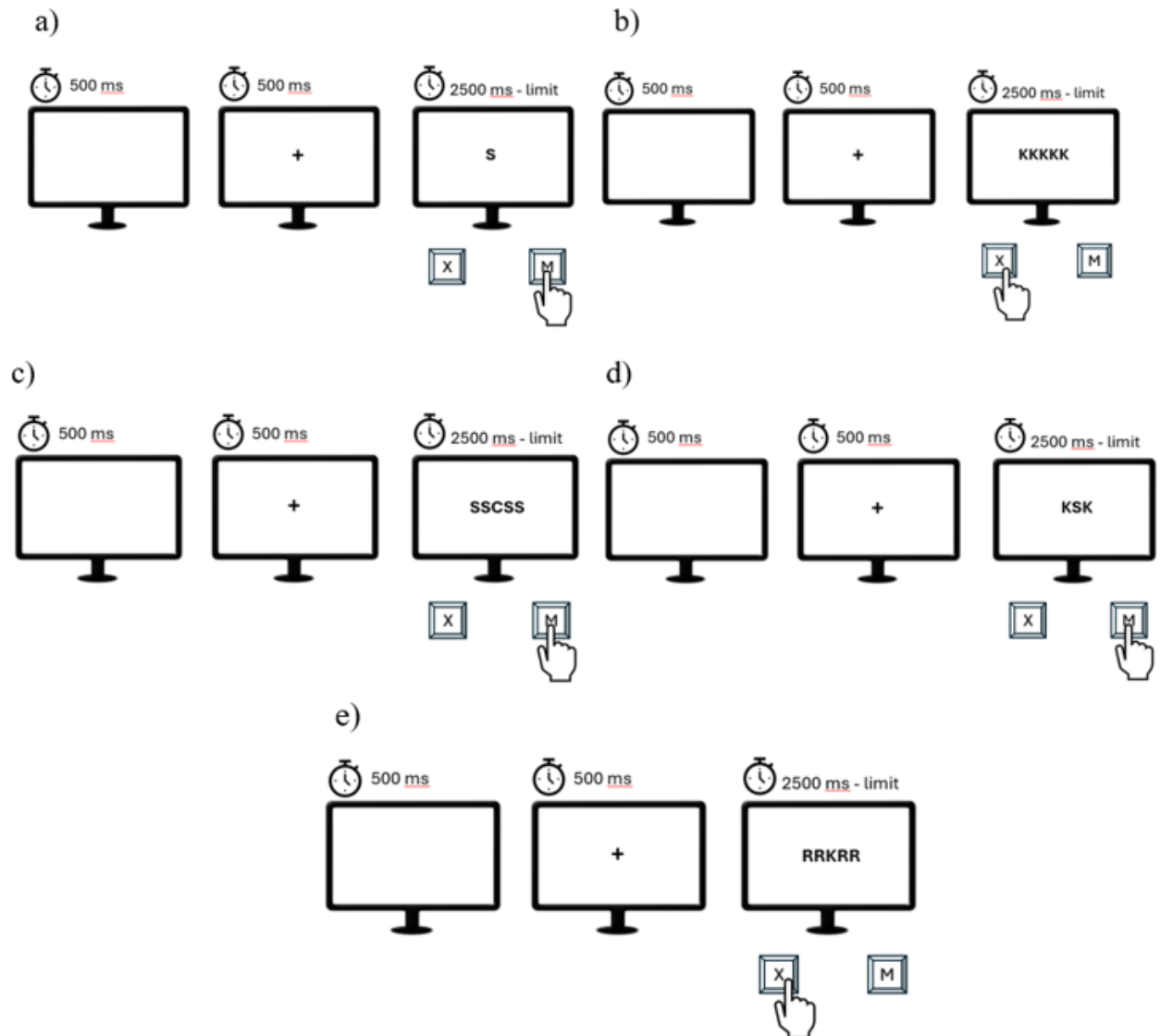
Slika 6. Grafički prikaz sekvenci izlaganja u Semantičkom SART zadatku. a) Primer "go" izlaganja. b) Primer "No-go" izlaganja.

2.2.3 Zadaci kontrole distraktorske interferencije (SS konflikt)

Eriksen-flanker zadatak

U ovom zadatku (Eriksen & Eriksen, 1974) su na ekranu sukcesivno bila prikazivana jedno, tri ili pet slova, poređanih u horizontalnom nizu. Od ispitanika se zahtevalo da usmere pažnju na „slovo metu“, odnosno ono koje je centralno pozicionirano u nizu, ili je jedino prikazano (u izlaganjima sa jednim slovom). Kada bi „slovo meta“ bilo „H“ ili „K“ ispitanici su imali instrukciju da pritisnu taster „x“ na tastaturi, a ukoliko bi „slovo meta“ bilo „C“ ili „S“, bilo je potrebno da ispitanici pritisnu dugme, „m“ na tastaturi. Postojalo je pet različitih tipova izlaganja: 1) *neutralna*, kada je „slovo meta“ prikazano samo, bez distraktora (npr. S); 2) *kongruentno* - kada su slova koja okružuju „slovo metu“ identična (npr. KKK); 3) *taster-kompatibilna* – kada su slova koja okružuju „slovo metu“ druga „slova mete“ na koje se u zadatku odgovara istim tasterom kao i na konkretno „slovo metu“ iz datog izlaganja (npr. SSCSS); 4) *odgovor-nekompatibilna*, kada se na „slovo metu“ i distraktorska slova koja ga okružuju odgovara drugim tasterom u odnosu na „slovo metu“ (npr. HHCHH); 5) *odgovor-neutralna*, kada „slovo metu“ okružuju slova koja nisu „slova mete“ u ovom zadatku i samim tim nisu asocirana ni sa jednim tasterom za odgovaranje, ali po obliku liče na „slovo metu“ (npr. DDCDD). Kao neutralna distraktorska slova su odabrana „R“ (za „H“ i „K“) i „D“ (za „C“ i „S“). Sekvenca svakog izlaganja je bila takva da se prvo prikazivao interstimulusni interval (ISI) u trajanju od 500 ms, u vidu praznog, belog ekrana, zatim je prikazivan fiksacioni krstić, takođe u trajanju od 500 ms, nakon čega su se prikazivali nizovi slova, sa maksimalnim ograničenjem od 2500 ms za davanje odgovora. Ukoliko bi odgovor ispitanika bio duži od 2500 ms, na ekranu bi se prikazala instrukcija da rade brže, a ukoliko bi dali pogrešan odgovor, na ekranu bi se prikazala poruka da su pogrešili i da pritisnu tačan taster kako bi nastavili sa zadatkom. Na početku zadatka, ispitanici su imali 10 primera za vežbu, a nakon toga su imali ukupno 160 izlaganja, 32 po svakoj od eksperimentalnih situacija. Raspored izlaganja je bio pseudorandomizovan i fiksiran za sve ispitanike, a i postojalo je ograničenje da se isti tip izlaganja ili isto „slovo meta“ ne ponavlja više od dva puta zaredom. Finalni skor u zadatku je izražen kao razlika između prosečnih vremena reakcije pri kojoj se prosečno RT neutralnih izlaganja oduzima od prosečnog RT za odgovor-neutralne stimuluse. Na taj način, dobijeni skorovi se mogu tumačiti u smeru da viši skorovi ukazuju na sporije prevladavanje distraktora

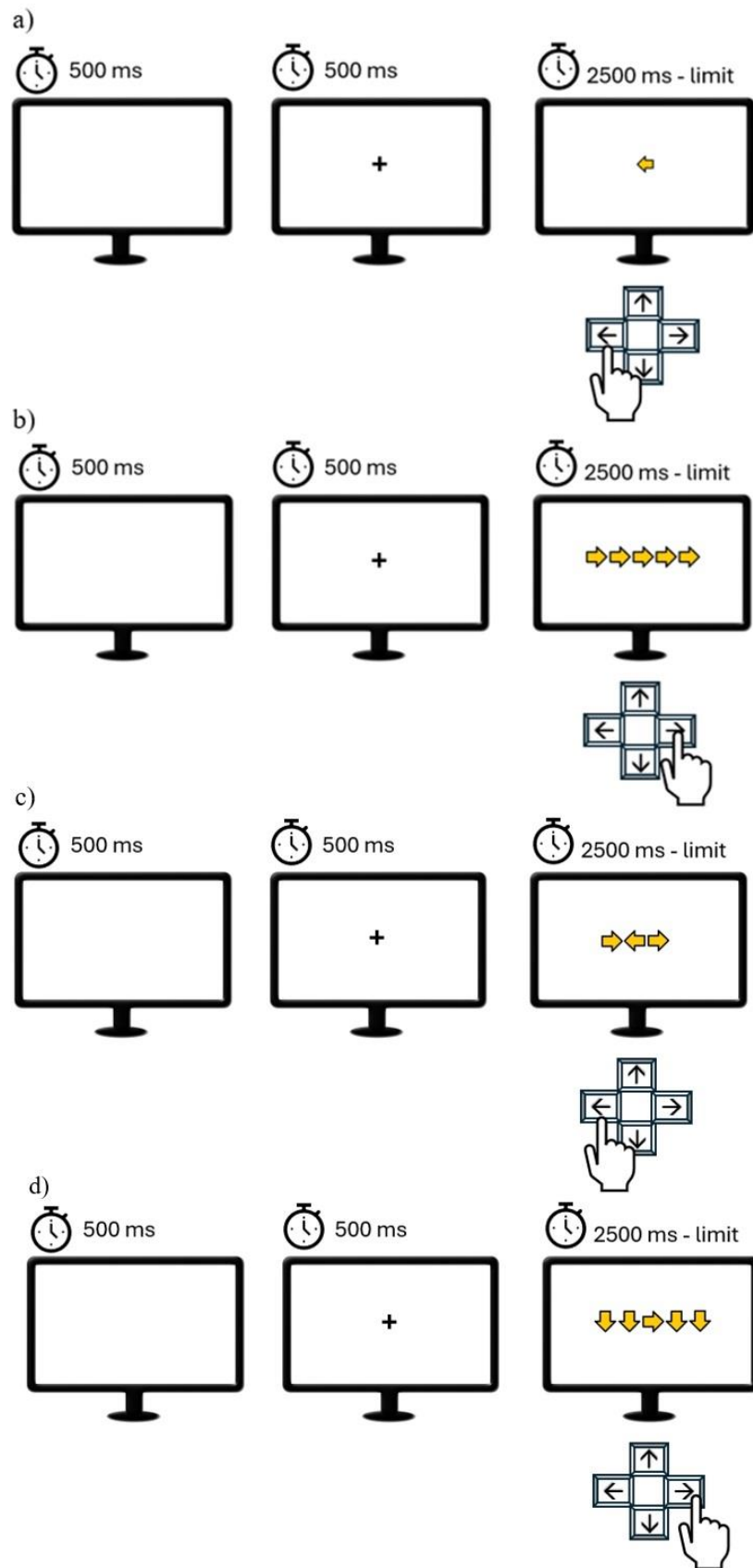
radi obrade relevantnog stimulusa, dok niži skorovi odgovaraju boljoj sposobnosti kontrole distraktorske interferencije. Na Slici 7 su prikazane sekvence za sve tipove izlaganja koji su postojali u ovom zadatku.



Slika 7. Grafički prikaz sekvence izlaganja u okviru Eriksen-Flanker zadatka. a) Primer neutralnog izlaganja. b) Primer kongruentnog izlaganja. c) Primer odgovor-kompatibilnog izlaganja. d) Primer odgovor-nekompatibilnog izlaganja. e) Primer odgovor-neutralnog izlaganja.

Flanker zadatak sa strelicama

Pri izvršavanju Flanker zadataka sa strelicama (Rey-Mermet et al., 2018; Unsworth & Spillers, 2010) ispitanicima se na ekranu sukcesivno prikazuju horizontalni nizovi strelica (od 1, 3 ili 5 elemenata). Slično kao i u Eriksen-Flanker zadatku, ispitanici imaju instrukciju da posebno obrate pažnju na „strelicu metu“, centralno pozicioniranu strelicu u nizu i da pritiskom odgovarajućeg tastera-strelice na tastaturi što brže odgovore da li je strelica orijentisana na levo ili na desno. U ovom zadatku postoji 4 tipa izlaganja: 1) *neutralna*, kada je prikazana samo „strelica meta“, bez strelica, distraktora koji je okružuju u nizu (npr: $\leftarrow$); 2) *kongruentna*, kada su „strelica meta“ i strelice koje je okružuju orijentisane u istu stranu (npr. $\rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow$); 3) *odgovor-nekompatibilna*, koja se kao i u prethodno opisanom zadatku odnose na situaciju u kojoj je „strelica meta“ okružena strelicama suprotne orijentacije na koje se odgovara drugim tasterom (npr. $\rightarrow \rightarrow \leftarrow \rightarrow \rightarrow$); 4) *odgovor-neutralna*, kod kojih je „strelica meta“ okružena strelicama orijentisanim na gore ili na dole (npr. $\uparrow \uparrow \leftarrow \uparrow \uparrow$). Distraktorske strelice koje su orijentisane na gore ili na dole nisu povezane ni sa jednim od dva tastera za odgovaranje koji se koriste u ovom zadatku, s obzirom na to da su „strelice mete“ uvek orijentisane ili na levo ili na desno. Na ovaj način je u odgovor-neutralnim izlaganjima od interferencije koja potiče od drugog odgovora izolovana od distraktorske interferencije. Sekvenca svakog izlaganja je bila ista kao i u prethodno opisanom zadatku: počinjalo bi prikazivanjem ISI-a u trajanju od 500 ms, nakon čega bi se prikazao fiksacioni krstić, u trajanju od 500 ms, nakon čega bi se prikazale strelice sa maksimalnim trajanjem od 2500 ms. U slučaju prekasnog odgovora ili greške, na ekranu bi se pojavila upozorenja da odgovor treba dati brže, odnosno da se pritisne tačan taster kako bi se nastavilo sa zadatkom. Prvi blok u zadatku je služio samo za vežbu, i tu je bilo 8 izlaganja, a u eksperimentalnom bloku je bilo ukupno 128 izlaganja, 32 po svakom tipu izlaganja. Finalna mera u ovom zadatku je prosečno diferencijalno vreme reakcije koje se računa oduzimanjem prosečnog vremena reakcije svih odgovor-neutralnih stimulusa od prosečnog vremena reakcije svih neutralnih izlaganja. I u ovom slučaju viši skorovi odgovaraju nižoj sposobnosti i sporijem prevladavanju distraktorske interferencije. Na Slici 8 je prikazan flanker zadatak sa strelicama i sekvence za sve tipovi izlaganja u okviru njega.

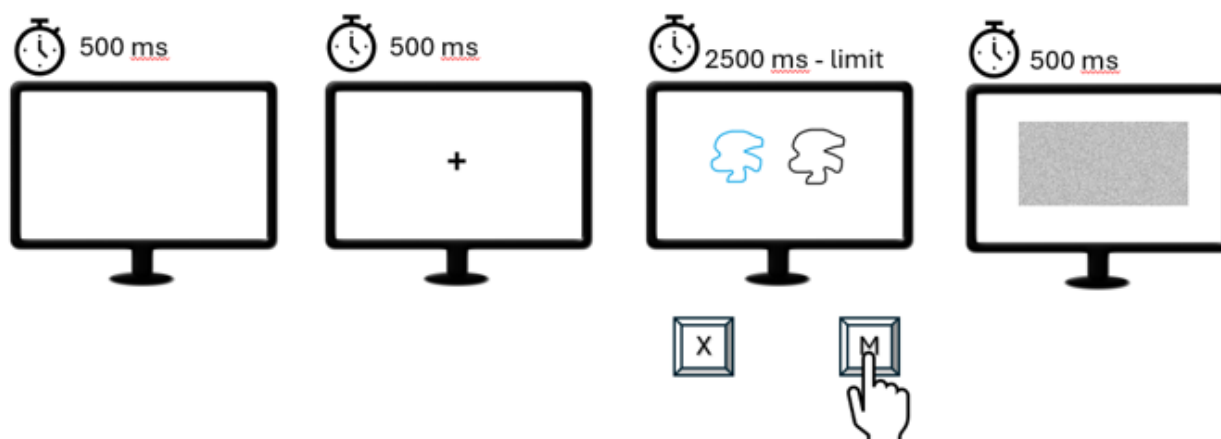


Slika 8. Grafički prikaz sekvence izlaganja u okviru Flanker zadatka sa strelicama. a) Primer neutralnog izlaganja. b) Primer kongruentnog izlaganja. c) Primer odgovor-nekompatibilnog izlaganja. d) Primer odgovor-neutralnog izlaganja.

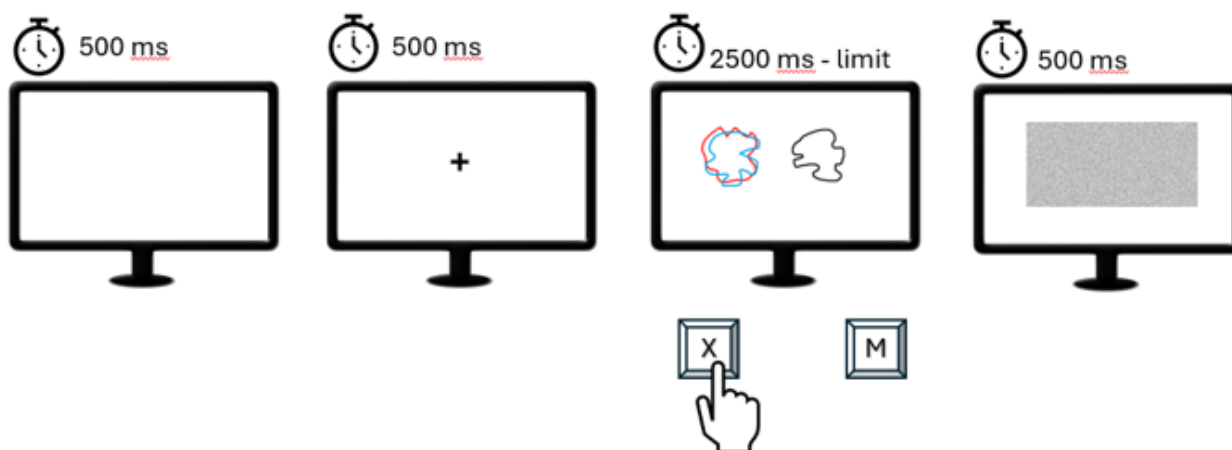
Zadatak Podudaranja oblika

U ovom zadatku su se ispitanicima na ekranu sukcesivno prikazivala po dva apstraktna dvodimenzionalna geometrijska oblika u horizontalnoj ravni. Levi oblik se drugačije može nazvati „oblik meta“, koji je uvek prikazivan u plavoj boji, a desni oblik je uporedni oblik i on je prikazivan u crnoj boji. Zadatak ispitanika je da, po prikazivanju, što brže odgovori na pitanje da li su dva prikazana oblika identična. Ispitanici su u ovom zadatku davali odgovore tako što bi pritisnuli taster M ukoliko bi dva prikazana oblika bila ista, a taster X, ako bi bili različiti. U polovini izlaganja se preko „oblika mete“ prikazivao i distraktorski oblik u crvenoj boji, koji je takođe bio apstraktan i dvodimenzionalan. Na taj način u zadatku je bilo dva tipa izlaganja: 1) *neutralna*, odnosno bez distraktora, kada su na ekranu samo prikazani „oblik meta“ i uporedni oblik; 2) *distraktorska*, odnosno ona kada je crveni, distraktorski oblik bio prikazan preko „oblika mete“. Oblici koji su korišćeni u ovom zadatku su originalno konstruisani za potrebe ove studije, po ugledu na članak DeŠepera i Trizmanove koji je bio inspiracija i drugim autorima koji su koristili zadatak podudaranja oblika kao meru kontrole distraktorske interferencije (DeSchepper & Treisman, 1996; Friedman & Miyake, 2004). Sekvenca pojedinačnog izlaganja je bila takva da bi prvo, u trajanju od 500 ms, bio prikazan prazan ekran (ISI), narednih 500 ms bi se prikazivao fiksacioni krstić i njemu je sledilo prikazivanje oblika, na koje su ispitanici imali 2500 ms da odgovore. Nakon odgovora, na ekranu se u trajanju od 500ms prikazivala vizualna maska sa ciljem da se neutrališu naknadne slike koje bi mogle uticati na sledeće izlaganje (Friedman & Miyake, 2004; Tiego et al., 2018). U zadatku je bilo ukupno 80 izlaganja, od kojih je 40 bilo neutralnih, a 40 sa distraktorima. U polovini izlaganja oba tipa su „oblik meta“ i uporedni oblik bili isti, a u polovini su bili različiti. Ukupan broj „oblika meta“ je bio 20 i svaki se prikazivao po 4 puta u toku zadatka: 1) kada su dva oblika identična (eng. "match") u neutralnom izlaganju; 2) kada su dva oblika različita (eng. „mismatch“) u neutralnom izlaganju; 3) match u distraktorskom izlaganju 4) mismatch u distraktorskom izlaganju. Redosled izlaganja je bio pseudorandomizovan i fiksiran za sve ispitanike, a postojalo je ograničenje da se isti tip izlaganja (neutralno/distraktorsko i match/mismatch) ne ponavlja više od 2 puta zaredom. S obzirom na to da se svaki „oblik meta“ prikazuje po 4 puta u toku zadatka, metodom latinskog kvadrata je kontrabalsiran redosled prikazivanja istog „oblika mete“ kroz 4 navedene situacije (prisutnost distraktora X identičnost). Na taj način, u konačnom rasporedu izlaganja je bio podjednak broj „oblika meta“ koji su imali različiti raspored ponavljanja po različitim situacijama. I u ovom zadatku se na ekranu pojavljivala povratna informacija u slučaju greške ili prekasnog odgovora. Krajnji skor je diferencijalno prosečno vreme reakcije koje se dobija oduzimanjem prosečnog vremena reakcije za sva neutralna izlaganja (bez distraktora) od prosečnog vremena reakcije za izlaganja sa distraktorom, čime se takođe dobija da numerički viši skorovi odgovaraju nižoj sposobnosti. Na Slici 9 su prikazane cele sekvence za primere izlaganja sa i bez distraktora u okviru zadatka podudaranja oblika.

a)



b)



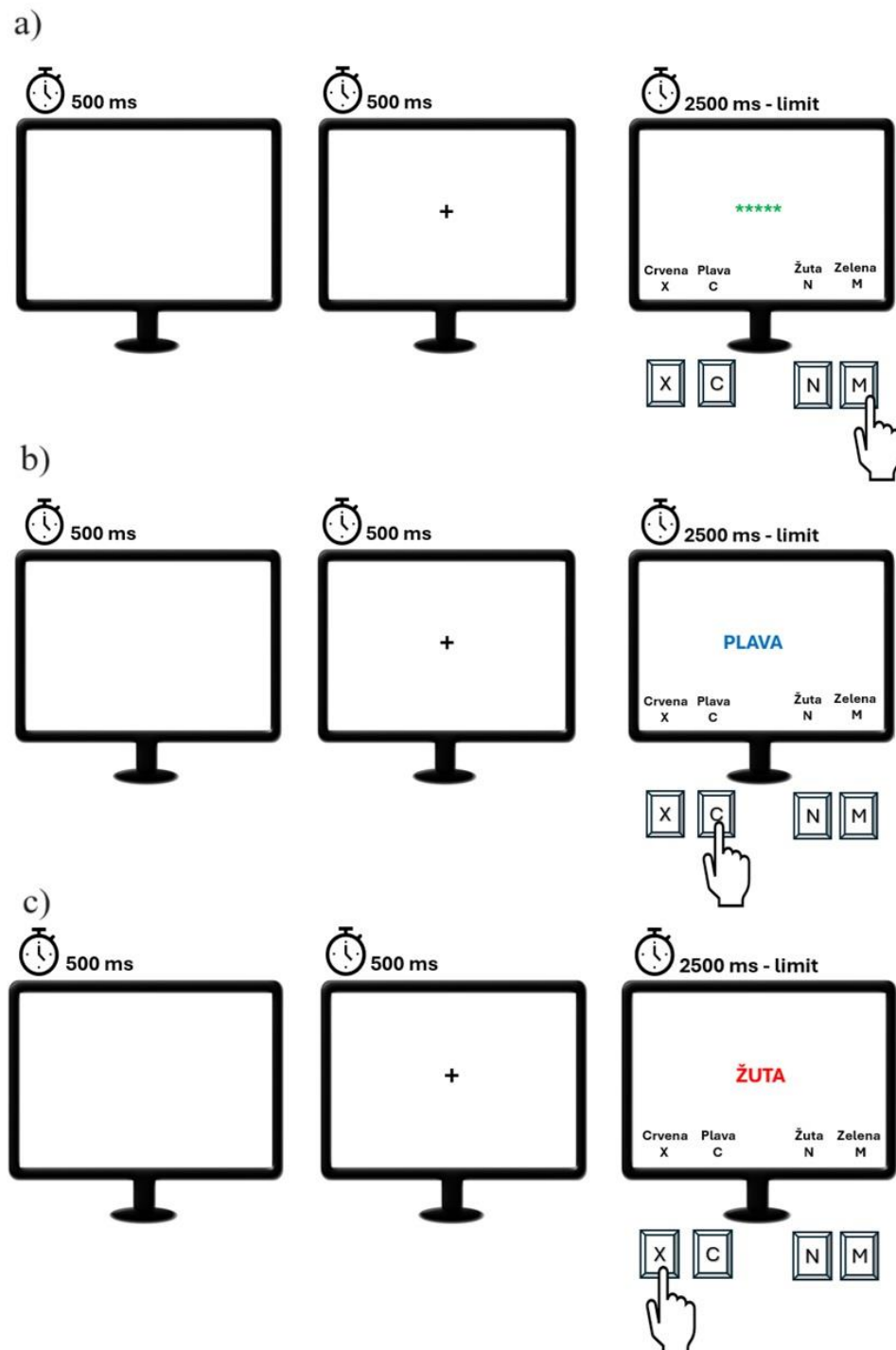
Slika 9. Grafički prikaz sekvence u zadatku Podudaranja oblika. a) Primer neutralnog izlaganja bez distraktora. b) Primer izlaganja sa distraktorom.

2.2.4 Zadaci za merenje kontrole interferencije odgovora (SR konflikta)

Klasični Strupov zadatak

Klasični Strupov zadatak (MacLeod, 1991; Stroop, 1935) (boja-reč) je adaptiran za kompjuterizovano zadavanje. Na ekranu su se sukcesivno pojavljivale reči koje označavaju boje ili nizovi simbola (zvezdica). Reči ili zvezdice su u svakom izlaganju bile napisane u jednoj od 4 boje fonta (crvena, plava, žuta ili zelena). Od ispitanika se tražilo da što brže odgovori kojom bojom je ispisan stimulus (reč ili zvezdice) koji je prikazan na ekranu, a da ignoriše značenje potencijalno prikazane reči. Odgovori su se davali preko tastature i koristili su se tasteri X, C, N i M, koji su redom označavali boje crvenu, plavu, žutu i zelenu. Reči koje su korišćene kao stimulusi su bile te iste četiri boje (crvena, plava, žuta i zelena), a broj zvezdica u nizovima koji su takođe prikazivane je varirao u istom razmeru kao i broj karaktera za navedene reči. U ovom zadatku postoji 3 tipa izlaganja: 1) *neutralna*, kada su prikazane samo zvezdice (npr. *********); 2) *kongruentna*, kada je boja fonta prikazane reči ista kao i njeno

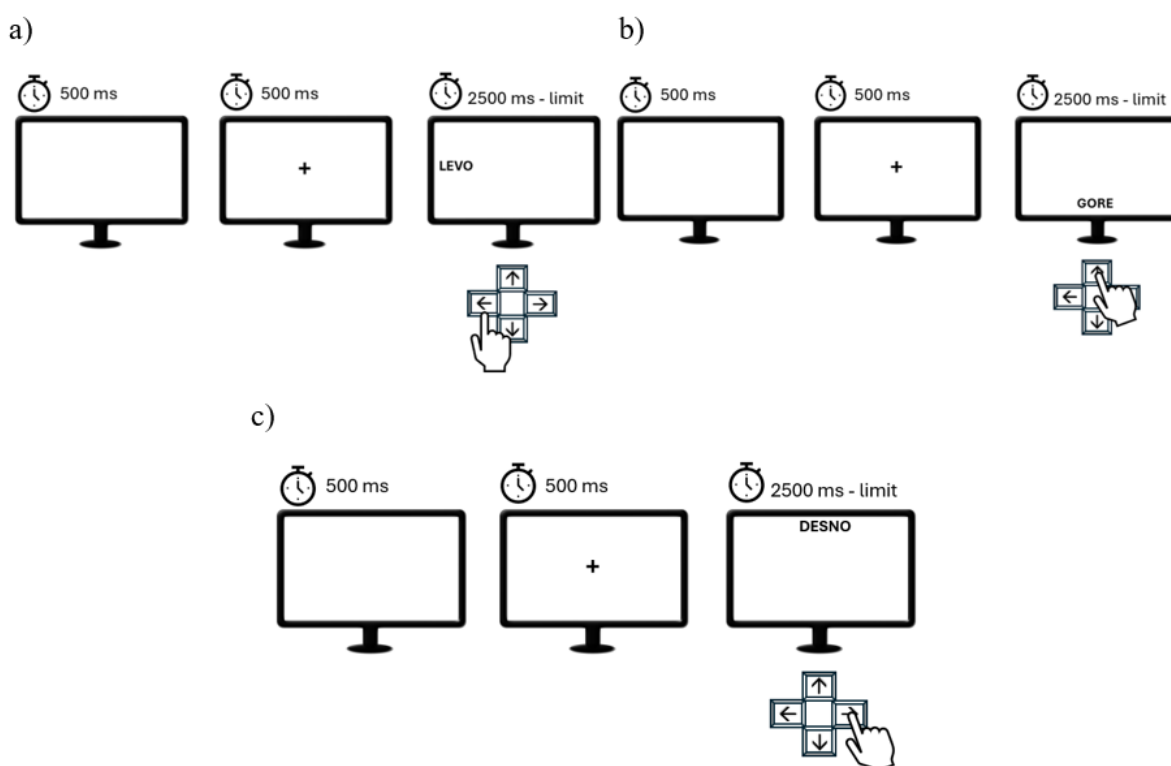
značenje (npr. **ZELENA**); 3) *nekongruentna*, kada su boja fonta i značenje prikazane reči različite (npr. **ZUTA**). Kao i u ostalim zadacima kontrole interferencije, sekvenca izlaganja je bila takva da je na početku bio prikazivan prazan beli ekran, odnosno ISI, u trajanju od 500 ms, sledio ga je fiksacioni krstić u trajanju od 500 ms, nakon čega bi ispitanik imao 2500 ms da odreaguje na boju fonta prikazanog stimulusa. I u ovom zadatku se na ekranu pojavljivala povratna informacija kada bi odgovor bio prespor ili u slučaju greške. Zbog većeg broja tastera za odgovaranje, ispitanicima je prilikom prikazivanja stimulusa u donjem delu ekrana bio prikazan podsetnik na to koji taster označava koju boju. Podsetnik je bio u crnom, neutralnom fontu i prostorno organizovan tako da bude u skladu sa rasporedom tastera na tastaturi. Blok za vežbanje je sadržao 16 izlaganja, kako bi se ispitanici što bolje upoznali sa načinom odgovaranja, dok je ukupan broj izlaganja u eksperimentalnom bloku bio 108, po 36 za svaku kategoriju. Konačan skor je diferencijalno prosečno vreme reakcije koje se dobija razlikom prosečnog vremena reakcije nekongruentnih i neutralnih izlaganja. I u ovom slučaju, kao kod zadataka koji mere kontrolu distraktorske interferencije, viši skorovi diferencijalnog RT odgovaraju nižoj sposobnosti, odnosno sporijem procesuiranju konflikta koji potiče od netačnog a dominantnog odgovora. Na Slici 10. su prikazane cele sekvence za svaki od tipova izlaganja u Klasičnom Strupovom zadatku.



Slika 10. Grafički prikaz sekvence izlaganja u Klasičnom Strupovom zadatku. a) Primer neutralnog izlaganja, b) Primer kongruentnog izlaganja. c) Primer nekongruentnog izlaganja.

Spacijalni strupov zadatak

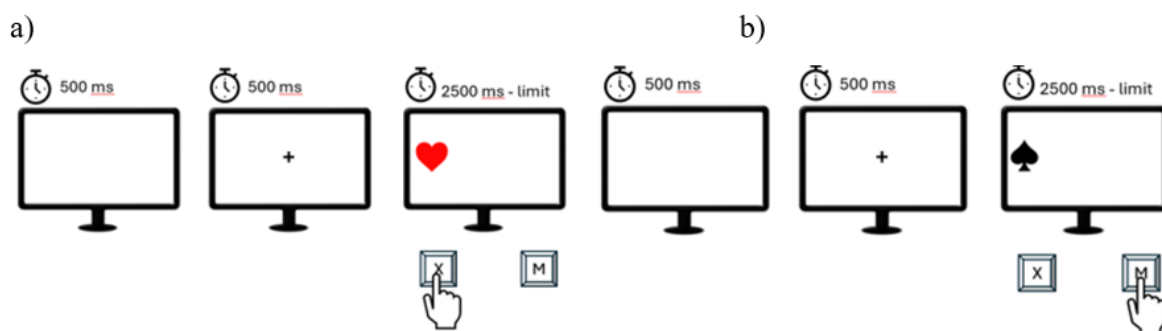
U ovom zadatku (Wühr, 2007) su se na ekranu sukcesivno prikazivale reči („gore“, „dole“, „levo“ i „desno“), u jednoj od četiri mogućih pozicija na ekranu: levoj, desnoj, gornjoj ili donjoj. Zadatak ispitanika je bio da pritiskom odgovarajućeg tastera strelice na tastaturi što brže odgovore na značenje prikazane reči, a da ne obraćaju pažnju na njenu poziciju na ekranu. Kombinacijom značenja i pozicije reči na ekranu se izdvajaju dva tipa izlaganja: 1) *kongruentna*, kada značenje reči odgovara njegovoj poziciji na ekranu (npr. reč „levo“ se prikazuje na levoj strani ekrana); 2) *nekongruentna*, kada se značenje reči i njena pozicija na ekranu ne poklapaju (npr. reč „dole se prikazuje na desnoj strani ekrana). Sekvenca svakog izlaganja je bila ista kao i u prethodno opisanim zadacima: počinjalo bi prikazivanjem praznog ekrana (ISI), u trajanju od 500 ms, zatim sledi fiksacioni krstić u trajanju od 500 ms nakon čega su se prikazivale pojedinačne reči. Postojalo je vremensko ograničenje od 2500 ms da se odgovori na reč, a na ekranu bi se prikazivala povratna informacija prilikom pogrešnog ili prekasnog odgovora. Zadatak je počinjao blokom za vežbanje koji se sastojao od 8 izlaganja, dok je eksperimentalni blok ukupno imao 112 izlaganja, 28 kongruentnih, 28 nekongruentnih opozitnih ali tako da je pozicija reči na ekranu bila suprotna u odnosu na njeno značenje, i 56 nekongruentnih neopozitnih sa pozicijom koja nije suprotna. Finalni skor je i u ovom zadatku je diferencijalno prosečno vreme reakcije koje se dobija oduzimanjem prosečnog RT kongruentnih od prosečnog RT nekongruentnih suprotnih izlaganja.



Slika 11. Grafički prikaz sekvence izlaganja u okviru spacijalnog Strupovog zadatka. a) Primer kongruentnog izlaganja. b) Primer nekongruentnog opozitnog izlaganja. c) Primer nekongruentnog neopozitnog izlaganja.

Sajmon zadatak

U okviru Sajmon zadatka ispitanicima su se u levom ili desnom delu ekrana sukcesivno prikazivali simboli sa karata za igranje: herc, odnosno crveno srce i pik, odnosno crni list. Od ispitanika se zahtevalo da, ukoliko je prikazan simbol za herc, što brže odgovore tako što će pritisnuti levi taster na tastaturi (u slučaju ovog zadatka, taster za slovo X), a ukoliko je bio prikazan simbol za pik, odgovore pritiskom desnog tastera (slovo M). Kombinacijom pozicije stimulusa na ekranu i orijentacije tastera za tačan odgovor, mogu se izdvojiti dva tipa izlaganja: 1) *kongruentna*, kada su se poklapali poklapale pozicije stimulusa na ekranu i tastera na tastaturi (npr simbol za herc u levom delu ekrana); 2) *nekongruentna*, kada su pozicija stimulusa na ekranu i pozicija tastera za odgovaranje na suprotnim stranama (npr. simbol za pik na levoj strani ekrana). Sekvenca izlaganja je bila identična kao i kod prethodno opisanih zadataka: Prvo se 500 ms prikazivao prazan ekran (ISI), pa se 500 ms prikazivao fiksacioni krstić, nakon čega sledi prikazivanje simbola za herc ili pik, a ispitanici su ponovo imali ukupno 2500 ms da odgovore na stimulus. U bloku za vežbu je bilo ukupno 8 izlaganja, a eksperimentalni blok je sadržao ukupno 120 izlaganja, po 60 kongruentnih i nekongruentnih. Finalni skor se u ovom zadatku takođe izražava kao diferencijalno prosečno vreme reakcije i dobija se razlikom prosečnog vremena reakcije kongruentnih i nekongruentnih izlaganja. Na Slici 12 je grafički prikaz sekvence u okviru Sajmon zadatka.



Slika 12. Grafički prikaz sekvence izlaganja u Sajmon zadatku. a) Primer kongruentnog izlaganja b) Primer nekongruentnog izlaganja

2.2.5 Procedura

Svi zadaci su administrirani putem kompjutera, u jednoj sesiji, u grupnim uslovima (veličina grupa je varirala od 2 do 12), u terminima između 10h i 20h. Sesija je trajala ukupno oko 1 sat i 45 minuta, sa pauzom od približno 15 minuta na polovini istraživanja. Ispitanici su na početku sesije imali priliku da pročitaju i potpišu obrazac informisane saglasnosti. Nakon toga su kreirali svoju jedinstvenu identifikacionu šifru, kako bi se podaci u istraživanju čuvali u anonimizovanoj formi, a zatim su preko računara popunjavali kratak upitnik o sociodemografskim karakteristikama. Redosled zadataka je bio kontrabalansiran i bilo je ukupno 4 fiksna redosleda koji su predstavljeni u Tabeli 3. Konačan raspored je formiran u skladu sa prethodno određenim kriterijumima: 1) Zbog velikog broja zadataka (10), odlučeno je da ispitanici na polovini sesije imaju pauzu, tako da je istraživanje podeljeno u 2 bloka; 2) Dve verzije Stop-signal zadatka ni u jednom slučaju nisu u istom bloku, a svaka od verzije se po jednom javlja na početku i na kraju svakog bloka; 3) Svaka od verzija Stop-signal zadatka je po jednom uparena u prvom ili u drugom bloku sa ostalim zadacima koji mere inhibiciju odgovaranja (Kreni-stani i Semantički SART). 4) Zadaci koji mere otpornost na konflikt SS i

SR tipa (pošto ih ima po 3) su uvek 2:1 ili 1:2 raspoređeni po blokovima u odnosu na pauzu; 4) S obzirom na to da je broj zadataka koji mere kontrolu interferencije konflikta SS i SR tipa iznosio 3 po pretpostavljenoj funkciji, neophodno je da jedan od navedenih zadataka bude usamljen u jednom od blokova. Odlučeno je da se ovo drži pod kontrolom tako što su za kontrolu interferencije SR konflikta usamljeni u jednom bloku po dva puta bili Klasični Strupov zadatak i Sajmon zadatak (po dva puta u bloku uparen sa navedena dva zadatka), dok su za kontrolu interferencije SS konflikta usamljeni po dva puta bili Eriksen Flanker zadatak i Flanker zadatak sa strelicama (dok je zadatak Podudaranja oblika po dva puta bio uparen u bloku sa navedena dva zadatka).

Tabela 3. Prikaz kontrabalansiranog redosleda zadataka u 4 grupe ispitanika.

	Grupa 1	Grupa 2	Grupa 3	Grupa 4
1.	Stop-signal oblici	Kreni-stani	Eriksen Flanker	Spacijalni Strup
2.	Podudaranje oblika	Klasični Strup	Semantički SART	Stop-signal brojevi
3.	Sajmon	Flanker strelice	Klasični Strup	Eriksen Flanker
4.	Kreni-stani	Stop-signal brojevi	Podudaranje oblika	Sajmon
5.	Flanker strelice	Spacijalni Strup	Stop-signal oblici	Semantički SART
PAUZA 10-15 minuta				
6.	Semantički SART	Eriksen Flanker	Sajmon	Podudaranje oblika
7.	Klasični Strup	Stop-signal oblici	Flanker strelice	Kreni-stani
8.	Eriksen Flanker	Sajmon	Stop-signal brojevi	Klasični Strup
9.	Stop-signal brojevi	Semantički SART	Spacijalni Strup	Flanker strelice
10.	Spacijalni Strup	Podudaranje oblika	Kreni-stani	Stop-signal oblici

2.3 Rezultati

2.3.1 Transformacije podataka

Pre izračunavanja finalnih skorova diferencijalnog prosečnog vremena reakcije, kod zadataka kontrole distraktorske interferencije i kontrole interferencije od odgovora izvršene su određene transformacije sirovih vremena reakcije i postrizavanje aritmetričkih sredina vremena reakcije za sve tipove izlaganja datih zadataka. Ovakav tip transformacija je deo standardne procedure obrade podataka u studijama koje ispituju individualne razlike učinka u zadacima egzekutivnih funkcija čiji se skorovi baziraju na diferencijalnim prosečnim vremenima reakcije (Gartner & Strobel, 2020; Miyake & Friedman, 2012; Purić, 2013; Rey-Mermet et al., 2018; Živanović, 2019). U prvom koraku su za sve zadatke tog tipa odstranjena sva vremena reakcija u situaciji kada je ispitanik napravio grešku. Nakon toga, za svaki tip izlaganja su izračunate vrednosti 97.5 i 2.5 percentila svih vremena reakcije sa tačnim odgovorom, za ceo uzorak. Sve vrednosti ispod ispod 2.5 percentila i iznad 97.5 percentila su odstranjene. Ovom postupku sledi vinzorizacija između subjekata: sa preostalim vrednostima su, na celom uzorku, za svaki tip izlaganja izračunate kritične vrednosti odstupanja ± 3 standardne devijacije (SD) od proseka. Sva vremena reakcije u okviru datog tipa izlaganja čija je vrednost ispod ili iznad kritičnih vrednosti ± 3 SD tog izlaganja su pretvorene u navedene kritične vrednosti ± 3 SD. Konačno, posle ovih transformacija izvršena je vinzorizacija unutar subjekata tako što su, za svakog ispitanika, izračunate kritične vrednosti ± 3 SD odstupanja od proseka, za svaki tip izlaganja.

Sva sirova vremena reakcije koja su bila ispod ili iznad navedenih granica su pretvorena u kritične vrednosti ± 3 SD konkretnog ispitanika i tipa izlaganja. Na ovaj način transformisani podaci su korišćeni za sve dalje statističke analize i računanje skorova u pojedinačnim zadacima.

2.3.2 Validnost zadataka inhibitorne kontrole

Inhibicija odgovaranja. Za izračunavanje SSRT mere koja predstavlja glavni skor Stop-signal zadataka potrebno je da podaci svakog ispitanika ispunjavaju pretpostavke nezavisnog Horrace modela. Kod Stop-signal zadatka sa oblicima 8 ispitanika je imalo $p(\text{odgovor}|\text{signal})$ ispod 0.25 dok nijedan nije bio brži na „go“ izlaganjima u odnosu na neuspešna stop izlaganja. Rezultati t testa za jedan uzorak ukazuju na značajno odstupanje aritmetičke sredine $p(\text{odgovor}|\text{signal})$ od 0.5 u ovom zadatku, $t(241) = -11.113$, $p < .001$. Međutim, gornja i donja granica 95% intervala poverenja su iznosile 0.38 i 0.47 što je prihvatljivo i u skladu sa empirijskim vrednostima za $p(\text{odgovor}|\text{signal})$. Na globalnom nivou, što je i očekivano, prosečno RT na neuspešnim stop izlaganjima je značajno niže od prosečnog RT na „go“ izlaganjima $t(241) = -43.183$, $p < .001$. Pri obračunavanju prosečnog RT za „go“ izlaganja su isključeni slučajevi u kojima ispitanik nije stigao da da odgovor zbog isteka vremena, odnosno „go“ propuštena izlaganja.

Kod verzije Stop-signal zadatka sa brojevima takođe 8 ispitanika je imalo previše nisku vrednost $p(\text{odgovor}|\text{signal})$, a dvoje je bilo brže na neuspešnim stop izlaganjima u odnosu na „go“ izlaganja. Rezultati t testa za jedan uzorak ukazuju na statistički značajno odstupanje proseka $p(\text{odgovor}|\text{signal})$ ovog zadatka od 0.5, $t(239) = -7.541$, $p < .001$, ali su granice 95% intervala poverenja 0.40 i 0.49 u imajući u vidu dobijane empirijske vrednosti ove mere. Takođe, dobijena je značajna razlika između stop i „go“ RT mera na globalnom nivou, $t(239) = -40.733$, $p < .001$.

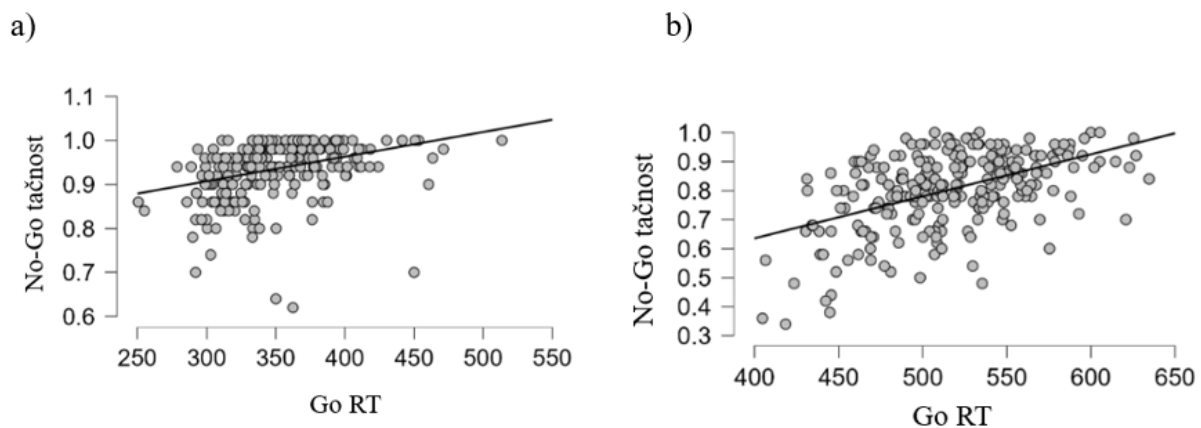
Kod zadatka Kreni-stani se konvencionalno kao glavni skor koristi tačnost na „No-Go“ izlaganjima, što predstavlja tačnost inhibicije, a često se u literaturi mogu naći i analize na RT merama u okviru „go“ izlaganja ovog zadatka. Podaci ukazuju na veoma nisku varijansu i visok učinak na meri tačnosti u okviru ovog zadatka. Značajno je istaći da je čak 18.9% ispitanika imalo maksimalan skor kada se u obzir uzme samo tačnost. Prosečno „go“ RT se pokazalo kao mera veće varijabilnosti u odnosu na tačnost, međutim, kao konceptualno ograničenje korišćenja ove mere za izražavanje učinka na inhibiciji odgovaranja to što je ona nezavisna od primarnog učinka u ovom zadatku – uzdržavanju od odgovora u „No-Go“ izlaganjima, pa bi bilo poželjno osmisliti meru koja bi kombinovala dva navedena učinka. Jedan od načina kombinovanja učinka tačnosti i vremena reakcije u jedan skor je IES, odnosno skor u kojem se prosečno RT podeli sa proporcijom tačnih odgovora (Townsend & Ashby, 1983), i na taj način vreme reakcije biva korigovano u sporije ukoliko je dati ispitanik pravio veći procenat grešaka. Dva preduslova za korišćenje IES skorova je visok procenat tačnosti i postojanje linearne korelacije između proporcije tačnosti i prosečnog RT-a jer u slučaju nelinearnih povezanosti ovakav vid korekcije može biti pristrasan (Bruyer & Brysbaert, 2011). U učinku u zadatku Kreni-stani je ustanovljena visoka proporcija tačnosti, a postoji i značajna linearna korelacija između navedenih mera, $r = .335$, $p < .001$ stoga je korišćenje IES skora za zadatak Kreni-stani adekvatan postupak. Na Slici 13 je grafički prikaz linearne korelacije između tačnosti na „No-Go“ izlaganjima i prosečnog RT-a na „go“ izlaganjima, merama koje su kombinovane u okviru IES skora.

Prosečni skor tačnosti „No-Go“ izlaganja semantičkog SART zadatka je bio takođe visok, ali nešto niži u odnosu na zadatak Kreni-stani. Takođe, i u ovom zadatku su pojedini ispitanici imali maksimalan skor u tačnosti na „No-Go“ izlaganjima. i u okviru SEM SART zadatka je

postojala značajna linearna korelacija $r = .497$, $p < .001$ između prosečnog RT na „go“ izlaganjima i skora tačnosti na „No-Go“ izlaganjima, na Slici 13, je grafički prikaz ove linearne korelacije. S obzirom na ispunjenost uslova za validno računanje IES skorova, ova mera je derivirana i korišćena u daljoj analizi i u okviru SEM SART zadatka.

Tabela 4. Deskriptivni statistici mera u zadacima inhibicije odgovaranja

Zadatak	Mera	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Maks</i>
Stop-signal oblici	p(odgovor signal)	0.44	0.09	0.09	0.63
Stop-signal oblici	SSD	301.84	77.17	147.66	473.44
Stop-signal oblici	"go" propušteni	0.02	0.02	0.00	0.11
Stop-signal oblici	"go" greške	0.05	0.07	0.00	1.00
Stop-signal brojevi	p(odgovor signal)	0.46	0.09	0.13	1.00
Stop-signal brojevi	SSD	282.17	73.73	81.25	475.00
Stop-signal brojevi	"go" propušteni	0.04	0.03	0.00	0.17
Stop-signal brojevi	"go" greške	0.11	0.07	0.02	0.54
Kreni-stani	tačnost No-Go	0.94	0.07	0.62	1
Kreni-stani	"go" RT	349.43	39.14	250.57	513.64
Kreni-stani	IES	374.92	44.55	291.36	642.95
Semantički SART	tačnost No-Go	0.80	0.13	0.34	1
Semantički SART	"go" RT	516.61	44.91	404.71	634.67
Semantički SART	IES	658.72	117.15	500.10	1230.78



Slika 13. Grafički prikaz linearne korelacije između tačnosti na "No-Go" izlaganjima i vremena reakcije na "Go" izlaganjima. a) Zadatak Kreni-stani b) Semantički SART zadatak.

Kontrola distaktorske interferencije (SS konflikta). Kod zadataka distraktorske interferencije, glavnu meru predstavlja diferencijalni skor prosečnog vremena reakcije, stoga, kako bi ovaj skor bio validan potrebno je da se prosečna vremena reakcije dva tipa izlaganja čija je razlika

konačna mera statistički značajno razlikuju u odgovarajućem smeru. Specifično, kod zadataka distraktorske interferencije poželjno je da ispitanici imaju brže prosečno RT u situaciji sa neutralnim stimulusima, bez distraktora u odnosu na situaciju kada potrebno suzbiti interferenciju od SS konflikta, odnosno distraktora kako bi se dao tačan odgovor. U Tabeli 5 su prikazani pokazatelji deskriptivne statistike vremena reakcije, a u Tabeli 6 tačnosti zadataka kontrole distraktorske interferencije po kategorijama izlaganja.

Tabela 5. Pokazatelji deskriptivne statistike mera tačnosti kontrole interferencije odgovora

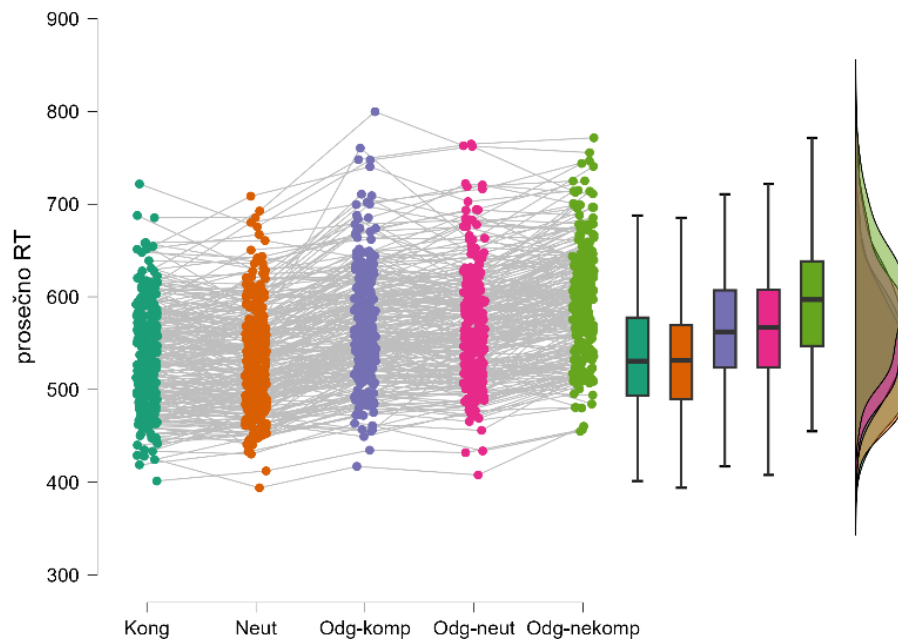
Zadatak	Kategorija	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Sk</i>	<i>Ku</i>	<i>Min</i>	<i>Maks</i>
Eriksen Flanker	kongruentni	535.35	57.5	0.3	-0.24	401.32	721.78
Eriksen Flanker	neutralni	533.62	57.1	0.43	-0.08	393.94	708.63
Eriksen Flanker	kompatibilni	568.83	63.6	0.58	0.57	417.06	799.79
Eriksen Flanker	odg-neutralni	571.53	62.5	0.23	-0.26	407.82	764.87
Eriksen Flanker	nekompatibilni	596.19	61.8	0.46	0.34	454.91	771.58
Flanker strelice	kongruentni	426.08	38.2	0.88	0.89	346.03	570.36
Flanker strelice	neutralni	416.07	32.6	0.94	0.91	352.11	538.1
Flanker strelice	odg-neutralni	458.77	41.7	0.77	0.48	374.13	620.68
Flanker strelice	nekompatibilni	494.95	42.3	0.88	0.88	398.25	637.97
Podudaranje oblika	neutralni	711.02	92.5	0.46	-0.2	547.05	1003.42
Podudaranje oblika	distraktorski	899.57	148	0.59	0.2	625.65	1305.36

Tabela 6 Pokazatelji deskriptivne statistike mera tačnosti kontrole distraktorske interferencije

Zadatak	Kategorija	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Sk</i>	<i>Ku</i>	<i>Min</i>	<i>Maks</i>
Eriksen Flanker	kongruentni	0.95	0.07	-2.55	6.67	0.44	1
Eriksen Flanker	neutralni	0.94	0.08	-2.70	10.36	0.53	1
Eriksen Flanker	kompatibilni	0.95	0.08	-3.07	13.70	0.47	1
Eriksen Flanker	odg-neutralni	0.94	0.07	-2.37	7.19	0.56	1
Eriksen Flanker	nekompatibilni	0.89	0.09	-2.33	7.53	0.41	1
Eriksen Flanker	total	0.93	0.07	-3.26	15.86	0.51	1
Flanker strelice	kongruentni	0.99	0.02	-2.79	11.01	0.91	1
Flanker strelice	neutralni	0.99	0.03	-3.52	17.64	0.81	1
Flanker strelice	odg-neutralni	0.98	0.04	-1.72	5.27	0.78	1
Flanker strelice	nekompatibilni	0.92	0.09	-2.95	11.96	0.31	1
Flanker strelice	total	0.97	0.03	-3.70	18.87	0.78	1
Podudaranje oblika	neutralni	0.93	0.06	-1.44	3.18	0.73	1
Podudaranje oblika	distraktorski	0.92	0.06	-1.11	1.37	0.60	1
Podudaranje oblika	total	0.92	0.05	-1.13	1.50	0.72	1

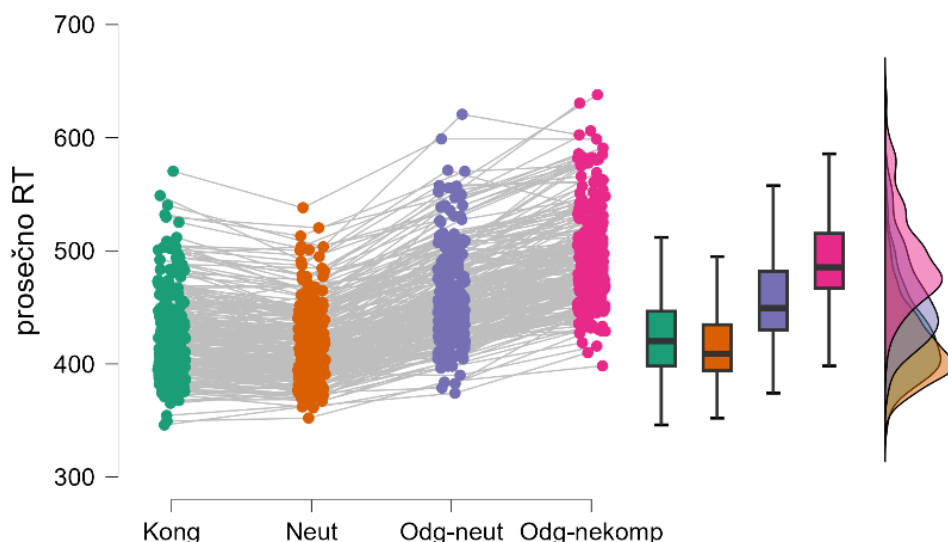
Kod Eriksen-Flanker zadatka, analiza varijanse za ponovljena merenja je pokazala značajan efekat faktora KATEGORIJA (kongruentni, neutralni, odgovor-kompatibilni, odgovor-neutralni,

odgovor-nekompatibilni) $F(4,945) = 373.287$, $p < .001$, $\eta^2 = .60$, gde je p vrednost izračunata Greenhouse-Geisser korekcijom zbog narušenog uslova sferičnosti $W(9) = 0.895$, $p < .001$. Takođe, kao planirani kontrast, izračunata je značajnost razlike između prosečnih RT situacija koje će činiti diferencijalni skor, odnosno finalnu meru deriviranu iz ovog zadatka. Dobijena je značajna razlika u prosečnom RT između neutralnih i odgovor-neutralnih izlaganja $t(996) = 19.512$, $p < .001$. U okviru razlika između ova dva tipa izlaganja, u okviru Eriksen-Flanker zadatka, 22 ispitanika (8.8% uzorka) je bilo brže na odgovor-neutralnim stimulusima u odnosu na neutralne stimuluse, a kod 5.6% ispitanika je ta razlika bila ispod 10 ms, što njihov diferencijalni skor čini manje validnim. Na Slici 14 su prikazane razlike u RT u okviru svih tipova izlaganja u Eriksen Flanker zadatku.



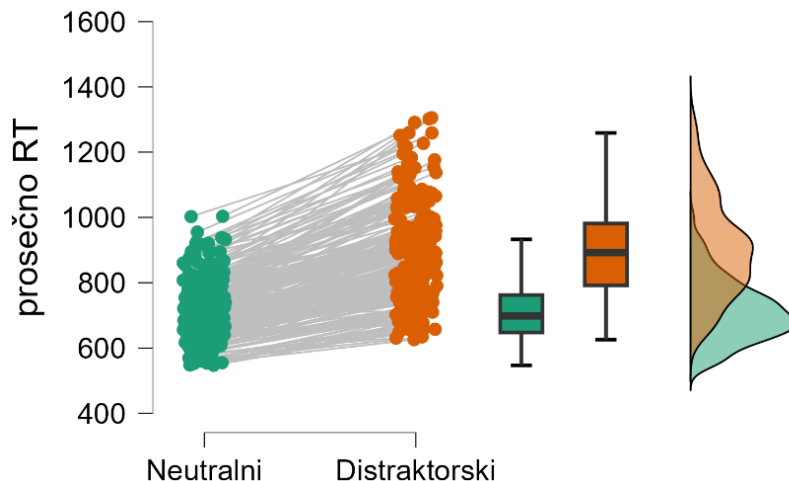
Slika 14. Grafički prikaz prosečnog vremena reakcije po različitim kategorijama stimulusa u zadatku Eriksen-Flanker

Rezultati analize varijanse za ponovljena merenja u okviru vremena reakcija kategorija stimulusa zadatka Flanker sa strelicama je pokazala značajan glavni efekat KATEGORIJA (kongruentni, neutralni, odgovor-neutralni, odgovor-nekompatibilni) $F(2.647,659.195) = 1627.175$, $p < .001$, $\eta^2 = .861$. Zbog prekršenog uslova za sferičnost $W(5) = 0.794$, $p < .001$, p vrednost je u okviru navedenog testa izračunata Greenhouse-Geisser korekcijom. Planiranim kontrastom, testirana je razlika između prosečnog RT na neutralnim i odgovor-neutralnim stimulusima, čiji prosečni skorovi grade diferencijalni skor, glavnu meru ovog zadatka, i dobijena je značajna razlika $t(747) = 34.146$, $p < .001$. U okviru ovog zadatka, samo 1.6 % ispitanika je bilo u proseku brže na odgovor-neutralnim u odnosu na neutralna izlaganja, a kod 2.8% ispitanika je ova razlika bila manja od 10 ms. Na Slici 15 je prikaz efekta kategorije u okviru zadatka Flanker sa strelicama.



Slika 15. Grafički prikaz prosečnog vremena reakcije po različitim kategorijama stimulusa u okviru Flanker zadatka sa strelicama.

Kod zadatka Podudaranja oblika je takođe pronađen značajan glavni efekat faktora DISTRAKTOR (neutralni, distraktorski) $F(249,1) = 1520.477$, $p < .001$, $\eta^2 = .859$. U ovom zadatku samo jedan ispitanik (0.4%) je imao prosečno RT brže u situaciji sa distraktorskom interferencijom u odnosu na neutralne stimulse, a nije bilo ispitanika kod kojih je ta razlika bila ispod 10 ms. Na Slici 16 je prikaz navedenog efekta.



Slika 16. Grafički prikaz prosečnog vremena reakcije za neutralne i distraktorske stimulse u okviru zadatka Podudaranja oblika.

Kontrola interferencije odgovora (SR konflikta). Kod zadataka kontrole interferencije SR konflikta je slična pretpostavka kao i kod prethodno opisanih zadataka kontrole SS konflikta. Kako bi konačna mera inhibitorne kontrole u vidu diferencijalnog skora prosečnog RT bila validna, potrebno je da se prosečno RT određenih kategorija u okviru zadatka statistički razlikuje u očekivanom smeru. U Tabeli 7 su prikazani deskriptivni statistički pokazatelji vremena reakcije, a u Tabeli 8 tačnosti za različite kategorije zadataka kontrole SR konflikta.

Tabela 7. Deskriptivni statistički pokazatelji vremena reakcije pojedinačnih kategorija stimulusa zadataka kontrole interferencije odgovora

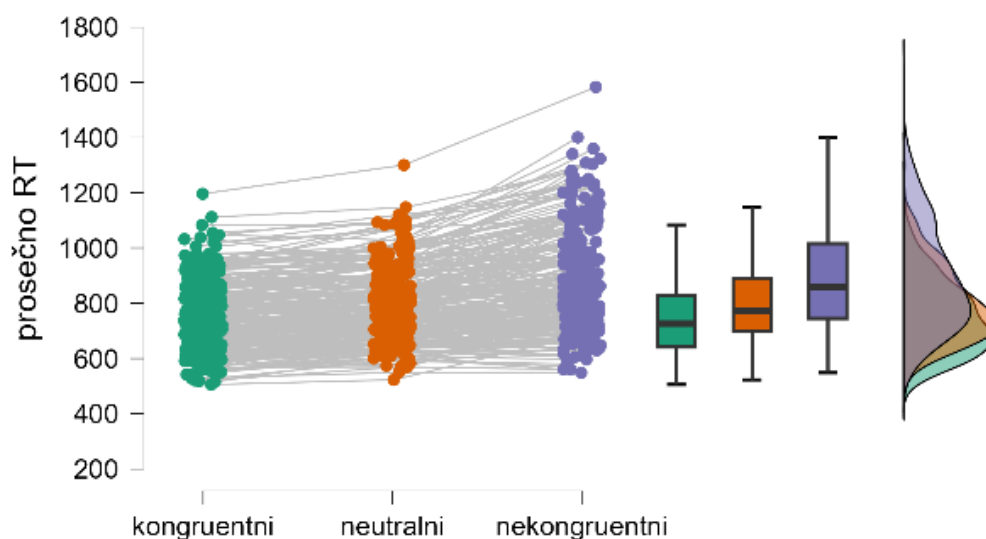
Zadatak	Kategorija	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Sk</i>	<i>Ku</i>	<i>Min</i>	<i>Maks</i>
Klasični Strup	kongruentni	744.43	130.82	0.56	-0.07	505.55	1196.14
Klasični Strup	neutralni	794.41	133.75	0.64	0.14	522.8	1300.55
Klasični Strup	nekongruentni	891.85	190.91	0.64	-0.05	548.55	1582.86
Sajmon	kongruentni	467.68	48.29	0.32	-0.27	358.73	603.04
Sajmon	nekongruentni	486.18	45.03	0.29	-0.44	378.1	597.68
Spacijalni Strup	kongruentni	691.12	55.27	0.2	-0.33	557.25	840.84
Spacijalni Strup	neopozitni	755.22	57.03	0.04	-0.20	590.17	921.29
Spacijalni Strup	opozitni	704.01	53.39	0.42	0.14	572.21	869.36
Spacijalni Strup	nekongruentni	737.91	53.85	0.13	-0.13	592.39	903.98

Tabela 8. Deskriptivni statistički pokazatelji tačnosti pojedinačnih kategorija stimulusa zadataka kontrole interferencije odgovora

Zadatak	Kategorija	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Sk</i>	<i>Ku</i>	<i>Min</i>	<i>Maks</i>
Klasični Strup	kongruentni	0.97	0.04	0.56	-0.07	0.75	1
Klasični Strup	neutralni	0.94	0.06	0.64	-0.05	0.69	1
Klasični Strup	nekongruentni	0.91	0.08	0.64	0.14	0.5	1
Klasični Strup	total	0.94	0.05	0.32	-0.27	0.69	1
Sajmon	kongruentni	0.95	0.05	0.29	-0.44	0.78	1
Sajmon	nekongruentni	0.94	0.05	0.20	-0.33	0.65	1
Sajmon	total	0.95	0.04	0.13	-0.13	0.8	1
Spacijalni Strup	kongruentni	0.98	0.03	0.56	-0.07	0.82	1
Spacijalni Strup	neopozitni	0.93	0.06	-1.34	2.07	0.70	1
Spacijalni Strup	opozitni	0.98	0.04	-2.64	8.67	0.75	1
Spacijalni Strup	nekongruentni	0.94	0.05	0.64	-0.05	0.75	1
Spacijalni Strup	total	0.95	0.04	0.64	0.14	0.8	1

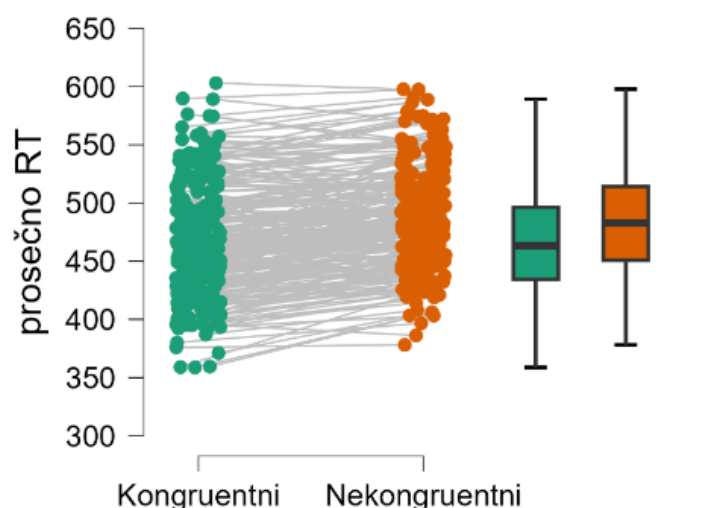
Za Klasični Strupov zadatak je u okviru vremena reakcije analizom varijanse za ponovljena merenja dobijen značajan faktor KONGRUENTNOST (kongruentni, neutralni, nekongruentni) $F(1.404,349.523) = 392.930$, $p < .001$, $\eta^2 = .612$, sa Greenhouse-Geisser korekcijom zbog neispunjenog uslova sferičnosti $W(2) = 0.575$, $p < .001$. Procenat ispitanika čiji je skor prosečnog RT za neutralne stimuluse bio brži od prosečnog RT za nekongruentne je bio 15.2%, a kod njih 3.6% je ova razlika bila niža od 10 ms. Na Slici 17¹⁶ je prikaz efekta kategorije u Klasičnom Strupovom zadatku.

¹⁶ Na slici se može primetiti kako je jedan ispitanik generalno bio sporiji od ostalih. Međutim, to ne predstavlja problem i njegovo postignuće je ostavljeno za dalje analize s obzirom na to da je obrazac težine različitih kategorija stimulusa bio očekivan, a sam Strup efekat, odnosno diferencijalni skor RT nije ekstremno odstupao od drugih skorova.



Slika 17. Grafički prikaz prosečnih vremena reakcije na različite kategorije stimulusa u okviru Klasičnog Strupovog zadatka.

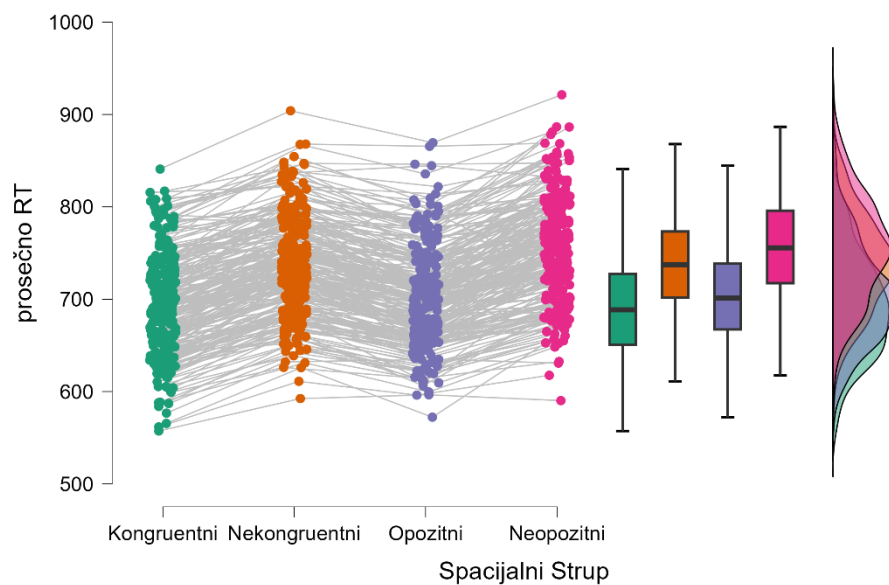
Kod Sajmon zadatka je dobijen značajan efekat faktora KONGRUENTNOST(kongruentni, nekongruentni), $F(249,1) = 177.893$, $p < .001$ $\eta^2 = .417$. Procenat ispitanika koji su bili brži na kongruentnim u odnosu na nekongruentna izlaganja je bio 18.4%, a kod 14.8% ispitanika je ova razlika bila manja od 10ms. Na Slici 18 je prikaz efekta kongruentnosti u okviru Sajmon zadatka.



Slika 18. Grafički prikaz prosečnog vremena reakcije za kongruentne i nekongruentne stimuluse u okviru Sajmon zadatka.

Diferencijalni skor u okviru Spacijalnog Strupovog zadatka se u nekim od prethodnih istraživanja (Hadžiahmetović et al., 2021; Živanović, 2019) računao oduzimanjem prosečnog RT kongruentnih izlaganja od prosečnog RT nekongruentnih-opozitnih izlaganja (u kojima je pozicija reči na ekranu suprotna njenom značenju, kao npr. kada je reč „levo“ prikazana na

desnoj strani ekrana), sa pretpostavkom da kod procesiranja ovih stimulusa dolazi do najjačeg konflikta SR tipa. U ovom istraživanju dobijena je značajna razlika između kongruentnih i nekongruentnih-opozitnih izlaganja – $t(249) = -7.760, p < .001$ međutim, neočekivano, znatno jači efekat interferencije je dobijen između kongruentnih i nekongruentnih-neopozitnih izlaganja $t(249) = -26.968, p < .001$. Stoga, odlučeno je da se za računanje diferencijalnog skora, prosečno RT kongruentnih stimulusa oduzima od prosečnog RT agregiranih nekongruentnih izlaganja (opozitni i neopozitni). Na Slici 19 je prikaz efekta kongruentnosti u ovom zadatku koji je bio značajan, $F(249,1) = 105.015, p < .001, \eta^2 = .81$, a mogu se videti i raspodele skorova na subkategorijama nekongruentnih stimulusa. Procenat ispitanika koji su bili brži na kongruentnim stimulusima u odnosu na nekongruentne je bio 2.4% u okviru ovog zadatka, a kod njih 2% je razlika između kategorija bila manja od 10.



Slika 19. Grafički prikaz prosečnog vremena reakcije za različite kategorije stimulusa u okviru Spacijalnog Strupovog zadatka.

2.3.3 Deskriptivni statistički pokazatelji i korelacije zadataka inhibitorne kontrole

U Tabeli 9 su prikazane deskriptivni statistički pokazatelji konačnih skorova svih zadataka inhibitorne kontrole koji su zadavani u ovom istraživanju.

Tabela 9. Deskriptivni statistički pokazatelji mera inhibitorne kontrole

Zadatak	Skor	M	SD	Sk	Ku	Min	Maks
Stop-signal oblici	SSRT	224.16	51.87	-0.57	3.41	8.81	429.34
Stop-signal brojevi	SSRT	281.87	52.32	0.13	1.01	100.91	458.5
Kreni-stani	IES	374.92	44.55	1.91	7.28	291.36	642.95
Semantički SART	IES	658.72	117.15	1.91	5.2	500.1	1230.8
Eriksen Flanker	dif RT	37.91	28.15	0.23	-0.02	-31.7	126.99
Flanker strelice	dif RT	42.7	20.76	0.68	1.05	-3.5	125.84
Podudaranje oblika	dif RT	188.55	76.45	0.73	0.98	-4.18	501.63
Klasični Strup	dif RT	97.45	99.35	0.64	0.37	-128	396.21
Sajmon	dif RT	18.5	21.93	0.11	0.44	-49.56	95.37
Spacijalni Strup	dif RT	46.79	22.73	-0.03	-0.03	-16.91	104.33

Dif RT – diferencijalni skor vremena reakcije; M – aritmetička sredina; SD – standardna devijacija; Sk – skjunis; Kt – kurtozis; Min – minimum; Maks – maksimum

Inspekcijom Tabele 9 se može uvideti da su vrednosti aritmetičkih sredina očekivanih vrednosti, uporedive sa onima koje se dobijaju u drugim istraživanjima u kojima se koriste navedeni zadaci (Gartner & Strobel, 2020; Tiego et al., 2018). Proseci diferencijalnih skorova vremena reakcije su bili pozitivni (iznad nule) što je i bilo očekivano, s obzirom na prethodno prikazane rezultate u vezi sa validnosti ovih mera. Skorovi mera inhibicije odgovaranja su imali povišeni kurtozis, što je relativno očekivano, s obzirom na to da skorovi u ovim zadacima predstavljaju kombinaciju vremena reakcije i tačnosti, pa je na dobijanje navedenih vrednosti uticao visok procenat tačnosti i niska varijansa koja se posebno javljala u okviru zadatka Kreni-stani i Semantičkog SART zadataka. Kod zadatka Podudaranja oblika i verzije Flanker zadatka sa strelicama je kurtozis takođe bio povišen, a ostale varijable su pokazale prihvatljive vrednosti skjunisa i kurtozisa.

Značajno je napomenuti da u svim zadacima osim semantičkog SART zadatka nije bilo značajnih razlika u učinku pri upoređivanju različitih grupa u kojima je bio različit redosled zadataka po kontrabalansiranju. Na osnovu toga se može zaključiti da potencijalno javljanje umora u toku same sesije nije imalo uticaj na finalni učinak u zadacima. Takođe, značajan efekat kontrabalansiranja kod semantičkog SART zadatka je dobijen usled nešto lošijeg skora prve grupe koja je taj zadatak radila odmah nakon pauze, na polovini sesije. Stoga, i s obzirom na to da je druga grupa radila navedeni zadatak kasnije po redosledu, može se opravdano pretpostaviti da umor nije uticao na navedeni efekat. Prikaz rezultata o efektima pripadnosti grupama sa različitim redosledom zadataka na učinak u svim zadacima je u Prilogu A.

Pre ispitivanja strukture različitih funkcija inhibitorne kontrole potrebno je steći uvid u povezanost između pojedinačnih mera. U Tabeli 10 je prikazana matrica korelacija skorova svih zadataka egzekutivne funkcije inhibicije korišćenih u istraživanju. Inspekcijom matrice korelacija se može uvideti da su mere unutar funkcije inhibicije odgovaranja značajno korelirale između sebe, gde je najviša korelacija zabeležena između dve verzije Stop-signal zadatka. Zadatak Kreni-stani je značajno korelirao sa ostalim zadacima inhibicije odgovaranja,

ali su te korelacije bile nešto niže u odnosu na one između ostalih zadataka unutar funkcije. Mogući razlog nižih interkorelacija sa učinkom na ovom zadatku može biti u tome što je varijansa tačnosti u okviru zadatka Kreni-stani bila niska, što je suzilo varijabilnost IES skora, a samim tim i korelaciju te mere sa drugim merama. Zadaci koji su merili pretpostavljenu kontrolu distraktorske interferencije su među sobom korelirali značajno, ali nisko, sa najvećom korelacijom između Flanker zadatka sa strelicama i Podudaranja oblika. Flanker zadatak sa strelicama je korelirao i sa Eriksen Flanker zadatkom, dok je jedina korelacija među merama kontrole distraktorske interferencije koja nije dostigla nivo značajnosti bila između Podudaranja oblika i Eriksen Flanker zadatka. Konačno, zadaci koji su merili pretpostavljenu kontrolu interferencije odgovora nisu značajno korelirali među sobom, što nije bilo očekivano. Ipak, skor Klasičnog Strupovog zadatka je ostvario marginalno značajne korelacije sa Sajmon zadatkom i Spacijalnim Strupovim zadatkom, između Sajmon zadatka i Spacijalnog Strupovog zadatka je dobijena nulta korelacija.

U vezi sa korelacijama između mera u okviru različitih funkcija, neki od zadataka inhibicije odgovaranja su korelirali značajno sa zadacima kontrole interferencije, obe verzije Stop-signal zadatka su marginalno statistički značajno korelirale samo sa Klasičim Strupovim zadatkom, a dobijene su nulte korelacije sa svim ostalim merama. Postignuće na zadataku Kreni-stani je pokazalo trend pozitivne povezanosti sa merama kontrole distraktorske interferencije: IES skor je značajno korelirao sa diferencijalnim skorom Flanker zadatka sa strelicama, a marginalno značajno sa Podudaranjem oblika. Semantički SART zadatak nije značajno korelirao ni sa jednom merom kontrole interferencije. Između mera kontrole distraktorske interferencije i kontrole interferencije odgovora su dobijene pretežno nulte korelacije. Učinak na Sajmonovom zadatku je ostvario neočekivanu značajnu negativnu korelaciju sa učinkom u Eriksen-Flanker zadatku, dok je bio marginalno značajno pozitivno povezan sa učinkom na zadatku Podudaranja oblika. Sve ostale korelacije pojedinačnih mera kontrole interferencije su bile nulte.

Tabela 10. Matrica Pirsonovih korelacija svih zadataka egzekutivne funkcije inhibicije

Zadatak	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Stop-signal oblici	—									
2. Stop-signal brojevi	.513**	—								
3. Kreni-stani	.207*	.170*	—							
4. SEM SART	.315**	.325**	.243**	—						
5. Eriksen Flanker	-.058	.005	-.090	-.033	—					
6. Flanker strelice	.010	.084	.160*	.092	.191*	—				
7. Podudaranje oblika	.102	.078	.117 ⁺	-.084	.075	.259**	—			
8. Klasični Strup	.114 ⁺	.123 ⁺	.091	.041	-.008	.074	.009	—		
9. Sajmon	.044	-.026	-.039	-.012	-.138*	-.01	.122 ⁺	.116 ⁺	—	
10. Spacijalni Strup	.089	.008	.021	-.049	-.084	-.049	-.009	.114 ⁺	.096	—

*Legenda: ** - $p < .01$; * - $p < .05$; + - $p < .10$*

2.3.4 Struktura funkcija inhibitorne kontrole

Za ispitivanje strukture zadatih mera inhibitorne kontrole i jedinstvenosti naspram razjedinjenosti različitih pretpostavljenih funkcija inhibicije sprovedena je konfirmatorna faktorska analiza (KFA). Iz baterije zadataka koji su zadavani u ovom istraživanju je testirana podesnost 4 modela koji su derivirani sa opravdanim teorijskim pretpostavkama. Testirani su: 1) trofaktorski model sa faktorima inhibicije odgovaranja, kontrole distraktorske interferencije (SS konflikta) i kontrole interferencije odgovora (SR konflikta); 2) dvofaktorski model sa faktorima inhibicije odgovaranja i opšte kontrole interferencije konflikta; 3) dvofaktorski model u kojem su u okviru faktora inhibicije odgovaranja pridružene mere kontrole interferencije konflikta odgovaranja; i 4) jednofaktorski model opšte inhibitorne kontrole sa svim merama na jednom faktoru.

U okviru KFA je upotrebljen metod *Maksimalne verodostojnosti* koji u analizu uključuje i nedostajuće podatke (engl. *Full Information Maximum Likelihood*), a kao pokazatelji podesnosti modela korišćeni su: hi-kvadrat test (χ^2), Taker-Luisov indeks fita (engl. Tucker-Lewis Index, TLI), Komparativni indeks fita (engl. *Comparative Fit Index* - CFI), RMSEA (engl. *Root Mean Square Error of Aproximation* - koren prosečne kvadrirane greške aproksimacije), kao i AIC (engl. *Akaike information criterion* - Akaikeov kriterijum informativnosti). Značajan χ^2 ukazuje na to da model značajno odstupa od podataka, ali s obzirom na to da je na velikim uzorcima veća verovatnoća da će ovaj statistik biti značajan, kao dodatni kriterijum dobrog fit-a se tumači ukoliko je njegov količnik sa brojem stepena slobode broj manji od 2 (Alavi et al., 2020; Cole, 1987) RMSEA ukazuje na diskrepance između pretpostavljenog modela od savršenog fit-a, dok nam CFI i TLI sugerišu koliko se dobro model uklapa u podatke poređenjem sa drugim, potencijalno lošijim modelima. Vrednosti AIC indeksa mogu biti visoke u odnosu na druge parametre fita koji su predstavljeni i variraju kroz studije. Niže vrednosti AIC su indikativnije da je model parsimoničan i da će se dobiti i na drugim setovima podataka. Kao kriterijumi dobrog fit-a modela korišćene su sledeće vrednosti navedenih pokazatelja: $RMSEA \leq 0.06$, $CFI \geq 0.95$, $TLI \geq 0.95$, ili barem > 0.9 i niži AIC u poređenju sa drugim testiranim modelima (Hu & Bentler, 1999). U Tabeli 11 su prikazane mere fita testiranih modela.

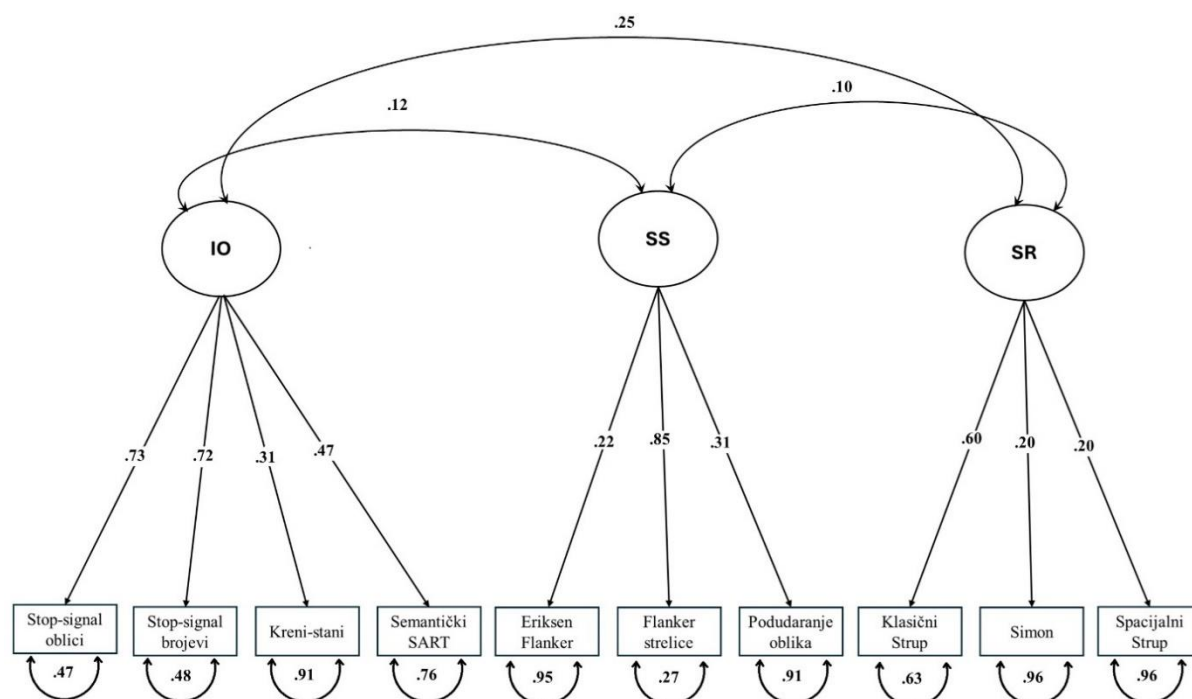
Tabela 11. Mere fit-a testiranih modela u okviru KFA¹⁷

Model	χ^2 (df)	p	χ^2 /df	TLI	CFI	RMSEA [90%CI]	AIC
3 faktora (IO, SS, SR)	46.195 (32)	.05	1.445	0.879	0.914	.042 [.000 - .067]	25811.7
2 faktora (IO, KK)	56.586 (34)	.01	1.664	0.819	0.863	.051 [.026 - .074]	25818.1
2 faktora (IO, SS)	53.251 (34)	.02	1.566	0.846	0.884	.047 [.020 - .071]	25814.7
1 faktor (GI)	78.109 (35)	.00	2.232	0.665	0.739	.070 [.049 - .091]	25837.6

Legenda: IO – inhibicija odgovaranja; SS – kontrola distraktorske interferencije (SS konflikta); SR – kontrola interferencije odgovora (SR konflikta); IK – opšta kontrola interferencije konflikta; GI – generalni faktor inhibitorne kontrole

¹⁷ Pokazatelji fit-a i zasićenja za alternativne modele u okvir kojih su testirani modeli sa drugim skorovima kao što je „No-Go“ tačnost i „go“ RT u okviru zadataka Kreni-Stani i SEM SART i IES diferencijalno vreme reakcije kod zadataka kontrole interferencije su prikazani u Prilogu B

Kod svih testiranih modela, χ^2 test je bio značajan, osim kod trofaktorskog, gde je dobijena p vrednost tačno na granici nivoa značajnosti. Dobijene vrednosti RMSEA su zadovoljavajuće kod svih testiranih modela osim kod jednofaktorskog, ali je najniža za trofaktorski. Vrednosti CFI su za sve modele osim trofaktorskog ispod 0.9, dok je TLI na svim testiranim modelima bio ispod 0.9, ali je njegova vrednost bila najviša za trofaktorski model. Potrebno je napomenuti da su nešto niže vrednosti CFI i TLI indeksa fita na svim testiranim modelima, koje su posledica niskih korelacija između pojedinačnih mera. Dobijene vrednosti AIC su bile prilično visoke, što generalno ukazuje na veću kompleksnost i potencijalno slabiji fit svih testiranih modela, ali je njegova vrednost za trofaktorski model bila najniža. Za direktnu komparaciju modela, sproveden je hi-kvadrat test razlike, gde je trofaktorski model, koji je pokazao najbolji fit, poređen sa ostalim. U poređenju sa modelom 2 (IO, KK), trofaktorski model je značajno bolji $\Delta\chi^2(2) = 10.391$, $p < .01$. U poređenju sa modelom 3 (IO, SS) $\Delta\chi^2(2) = 7.056$, $p < .05$ trofaktorski je takođe značajno bolji, ali na nižem nivou statističke značajnosti. U poređenju sa jednofaktorskim modelom, $\Delta\chi^2(3) = 31.914$, $p < .001$, trofaktorski model je takođe pokazao značajnu razliku u hi-kvadrat statistiku i bolji fit. Sumirano, rezultati ukazuju na najbolji fit trofaktorskog modela u okviru kojeg su svi pokazatelji podesnosti modela zadovoljavajući, osim indeksa TLI. Time se može istaći da ni pokazatelji trofaktorskog modela nisu idealni, ali uporedno sa pokazateljima alternativnih modela, ovaj model se ističe kao najpovoljnije i prihvatljivo rešenje. Na Slici 20 je grafički prikaz trofaktorskog modela sa zasićenjima i korelacijama između faktora.



Slika 20. Grafički prikaz trofaktorskog modela

Na osnovu grafičkog prikaza trofaktorskog modela se može uvideti da su zasićenja zadataka na faktoru inhibicija odgovaranja umerena i visoka, pogotovo za obe verzije Stop-signal zadatka, čija su zasićenja praktično identična, sa minimalnom prednošću verzije sa oblicima. Najniže zasićenje je na ovom faktoru imao zadatak Kreni-stani ali su sva zasićenja bila statistički značajna.

Na faktoru kontrole distraktorske interferencije (SS konflikta) je najveće zasićenje Flanker zadatka sa strelicama. Podudaranje oblika ima prihvatljivo zasićenje, a Eriksen-Flanker nisko, što se moglo i očekivati na osnovu korelacija nultog reda između navedenih mera. Sva zasićenja na ovom faktoru su bila statistički značajna.

Na faktoru kontrole interferencije odgovora (SR konflikta) dominira Klasični Strupov zadatak, međutim značajnost njegovog zasićenja je bila na marginalnom nivou, dok preostala dva zadatka imaju niska zasićenja koja nisu bila statistički značajna. Ovako niska zasićenja ukazuju na nižu robusnost ovog faktora što je i verovatno imalo uticaj i na dobijene indekse fita svih testiranih modela pa i trofaktorskog koji se ispostavio kao najbolji, sa relativno prihvatljivim vrednostima indeksa fita, ali nižim od vrednosti standardnih kriterijuma.

Treba napomenuti i da su korelacije koje su dobijene između samih faktora niskog intenziteta, a najviša koja je dobijena je između inhibicije odgovaranja i kontrole interferencije odgovora i iznosila je $r = .25$.

2.4 Zaključna razmatranja

Glavni cilj istraživanja je bio ispitivanje strukture inhibitorne kontrole, odnosno jedinstvenosti naspram razjedinjenosti njenih različitih pretpostavljenih funkcija. U rezultatima KFA se na osnovu konstruisane baterije široko korišćenih zadataka inhibitorne kontrole kao najbolji model izdvojila trofaktorska struktura sa faktorima inhibicije odgovaranja, kontrole distraktorske interferencije (SS konflikta) i kontrole interferencije odgovora (SR konflikta). Ipak, analizom rezultata iz nešto opštije perspektive, može se istaći da iako je dobijeni trofaktorski model imao najprihvatljiviji fit u poređenju sa ostalim testiranim modelima, ni njegove mere nisu bile idealne. Naime, faktor inhibicije odgovaranja se pokazao kao najstabilniji, sa značajnim zasićenjima i interkorelacijama svih mera unutar te funkcije. Faktor distraktorske interferencije se pokazao kao manje robustan, sa dominantnim zasićenjem jednog zadatka i niskim interkorelacijama pojedinačnih mera. Status faktora kontrole interferencije odgovora treba uzeti sa rezervom zbog statistički neznačajnih interkorelacija između mera, i dominantnog zasićenja Klasičnog Strupovog zadatka, koji se, usled veće varijanse i ostvarenim interkorelacijama na nivou marginalne značajnosti značajnosti, istakao kao najreprezentativnija mera ovog faktora.

Na osnovu dobijenih zasićenja pojedinačnih zadataka na navedenim faktorima i prethodnog ispitivanja validnosti mera se može doneti odluka o zadacima koji će se koristiti u tDCS eksperimentu čiji će metod i rezultati biti detaljno opisani u narednom odeljku .

Što se tiče inhibicije odgovaranja, kao mera ove funkcije će se koristiti verzija Stop-signal zadatka sa oblicima, s obzirom na njegovo najviše zasićenje u modelu. Generalno, kod ove funkcije su se obe verzije Stop-signala, u odnosu na zadatak Kreni-stani i semantički SART zadatak, pokazale kao bolje mere inhibicije odgovaranja i podjednako dobri indikatori ovog faktora. Kao mera kontrole distraktorske interferencije je izabran zadatak Podudaranja Oblika, čiji je diferencijalni skor bio najvalidniji, a zasićenje na latentnom faktoru prihvatljivo. Takođe, u okviru ovog zadatka nema potencijalnog upliva konflikta tipa SR, što je slučaj u Flanker zadacima, iako se kao finalna mera uzima diferencijalni skor koji je razlika neutralnih i odgovor-neutralnih stimulusa. Kao mera kontrole interferencije odgovora (SR konflikta) je izabran Klasičan Strupov zadatak, s obzirom na njegovo dominantno zasićenje i široku upotrebu ovog zadatka u literaturi. Iako je ostvarivao samo marginalno značajne korelacije sa drugim merama, Klasični Strupov zadatak je imao i najviše korelacije sa ostalim zadacima što je dodatni razlog izbora ovog zadatka za narednu fazu istraživanja.

3 NEUROMODULACIJA EGZEKUTIVNE FUNKCIJE INHIBICIJE – tDCS EKSPERIMENT

3.1 Uvodni okvir

U ovom poglavlju će detaljno biti opisan metod i rezultati eksperimenta u kojem je ispitana mogućnost neuromodulacije različitih funkcija inhibitorne kontrole koje su izdvojene na osnovu rezultata istraživanja prikazanog u prethodnom poglavlju, specifično, inhibicije odgovaranja, kontrole distraktorske interferencije i kontrole interferencije odgovora. Transkranijalna stimulacija jednosmernom strujom (tDCS) je primenjena na desni inferiorni frontalni girus (IFG) i anteriorni cingulatni korteks (ACC), a ishodišne bihevioralne mere su bile određene na osnovu rezultata studije opisane u prethodnom poglavlju. Treba istaći da se neuralnim osnovama inhibitorne kontrole u ovom radu ne pristupa iz modularne perspektive neuralnih osnova kognitivnih funkcija, po kojoj se neurobiološki supstrat neke funkcije svodi na jednu strukturu mozga. Specifično, desni IFG i ACC su samo jedna od čvorišta širih neuralnih mreža koje imaju ulogu u procesima inhibitorne kontrole. Ovi regioni su izabrani za stimulaciju kao potencijalno najoptimalnije tačke za modulaciju navedenih funkcija inhibicije.

3.2 Metod

3.2.1 Određivanje veličine uzorka – analiza statističke snage

Na samom početku, urađena je analiza statističke snage, kako bi se odredila potrebna veličina uzorka za ovaj eksperiment. Za sprovođenje ove analize je korišćen softver G-Power 3.1.9.7 (Faul et al., 2007). Pre pristupanja analizi, uzeti su u obzir rezultati meta-analize (Schroeder et al., 2020) koji ističu srednju veličinu efekta ($g = 0.32$) tDCS na postignuće u Stop-signal zadatku. Za procenu veličine efekta tDCS na kontrolu interferencije ne postoje adekvatni podaci iz neke od meta-analiza, stoga odlučeno je da se kao ciljana veličina efekta, u ovom eksperimentu odredi donja granica za srednje efekte (Richardson, 2011). Finalno, sprovedena je analiza statističke snage za ANOVA sa ponovljenim merenjima sa tri nivoa, za efekte unutar subjekta. Ciljana veličina efekta je bila $\eta^2 = 0.06$, statistička snaga 0.9, sa verovatnoćom α greške .05, sa podrazumevanim korelacijama između dva merenja intenziteta .50. (po ugledu na korelaciju dobijenu između dve verzije Stop-signal zadatka prikazanu u rezultatima u odeljku 2.3.3). Ovako sprovedenom analizom je dobijeno da je 36 ispitanika dovoljan uzorak za detektovanje efekta određenog opisanim parametrima.

3.2.2 Uzorak

Kako bi se prijavili za učešće, ispitanicima je putem e-maila prosleđen link preko kojeg su se informisali o ciljevima istraživanja i konceptom tDCS procedure i odgovorili na upitnik (Prilog C) o inkluzionim i standardnim bezbednosnim kriterijumima za učestvovanje u tDCS eksperimentu. Inkluzioni kriterijumi i prevod upitnika je direktno preuzet iz prethodne tDCS studije koja je sproveden na srpskom jeziku (Živanović, 2019). U finalni uzorak ne bi bili uključeni ispitanici koji su prijavili ličnu ili porodičnu istoriju epileptičnih napada, psihijatrijsku ili neurološku dijagnozu, prisustvo metala u glavi (na primer, usled neke operacije), prisustvo spoljnih uređaja u telu (na primer, pejsmejкера), istoriju povreda glave, prethodne hirurške intervencije u predelu glave, dermatološke tegobe itd. Takođe, u eksperiment nisu uključeni ispitanici koji su bili pod farmakološkom terapijom koja može imati uticaj na nervni i kardio-vaskularni sistem.

Inicijalno je regrutovan 51 ispitanik, od kojih jedan ispitanik nije ispunio kriterijum desnorukosti, dvoje ispitanika je odustalo pre dolaska na prvu sesiju, troje je imalo pirsing na glavi koji nisu mogli da skinu, što bi menjalo distribuciju električnog polja i uticalo na stimulaciju. Jedna osoba je patila od migrena, pa stoga nije uključena u studiju, a troje je bilo pod farmakološkom terapijom koja ima uticaj na nervni sistem. Ukupno 38 ispitanika je došlo na eksperiment, od toga je dvoje odustalo nakon prve sesije.

Stoga, finalni uzorak je činilo 36 zdravih desnorukih ispitanika dobrovoljaca, od čega su 24 bile ženskog (66.6%), a 12 muškog (33.3%) pola. Prosečan uzrast ispitanika je bio 23.9 godina (raspon 19-31). Više od polovine uzorka (58%) su bili trenutni ili nedavno diplomirani studenti osnovnih i post-diplomskih studija psihologije na Filozofskom fakultetu u Beogradu. Ostatak uzorka su bili studenti drugih fakulteta ili mladi i visoko obrazovani zaposleni.

Svi regrutovani ispitanici koji su učestvovali u eksperimentu su učestvovali i u Studiji 1, na osnovu čega je ujednačena familijarizacija sa korišćenim zadacima za merenje različitih funkcija inhibitorne kontrole koji su se zadavali u eksperimentu. Eksperiment je sproveden u skladu sa Helsinškom deklaracijom Svetske zdravstvene asocijacije i odobren od etičkog odbora Odeljenja za psihologiju Filozofskog fakulteta u Beogradu (broj protokola #2023-67). Svi ispitanici su po završetku eksperimenta dobili kompenzaciju za učešće u iznosu od 5000 dinara.

3.2.2 Dizajn eksperimenta

U ovom istraživanju je korišćen potpuno ponovljeni dizajn (engl. *cross-over*) sa sham kontrolom – lažnom stimulacijom. Postojale su tri eksperimentalne situacije: 1) stimulacija anteriornog cingulatnog korteksa - ACC; 2) stimulacija desnog inferiornog frontalnog girusa - IFG; 3) lažna stimulacija. Svi ispitanici su kontra-balansiranim redosledom učestvovali u sve tri eksperimentalne situacije.

3.2.3 Aparatura za tDCS

Stimulacija je primenjena preko uređaja StarStim 32 (Neuroelectronics Inc., Barcelona), hibridnog sistema sa mogućnostima primene različitih protkola višekanalne transkranijalne električne stimulacije i snimanja elektroencefalografije (EEG). Uređaj radi pomoću baterije i bežičnom (WiFi) vezom je povezan sa računarom sa kojeg se pokreću prethodno programirani protokoli stimulacije, u softveru NIC2 (Neuroelectronics Instrument Controller). Ispitanicima se prvo na glavu postavlja elastična neoprenska kapa i nakon toga im se uređaj preko čička lepi na kapu, ispod potiljka. Uređaj teži svega 226 grama i stoga njegovo pozicioniranje na potiljku ispitanika ne predstavlja opterećenje. Neoprenska kapa je dizajnirana prema 10-20 EEG sistemu i ima 32 otvora na koje se mogu postaviti elektrode. Uređaj ima 4 izlaza i 32 kabla (kanala) koji ga povezuju sa otvorima na kapi, odnosno predodređenim pozicijama za postavljanje elektroda.

3.2.4 Određivanje optimalnih parametara stimulacije i modelovanje električnog polja

Sa ciljem kreiranja optimalnog protokola stimulacije za targetiranje IFG i ACC izvršeno je modelovanje električnog polja, pomoću softvera SIMNIBS 4 (www.simnibs.com) i ROAST (<https://www.opensourceimaging.org/project/roast/>). Pomoću SIMNIBS grafičkog interfejsa su kreirani različiti modeli u kojima su varirani parametri stimulacije (broj, pozicija, veličina i oblik elektroda, intenzitet stimulacije na svakoj elektrodi i korišćeni provodnik. Kao rezultat svake simulacije dobijan je grafički prikaz distribucije jačine električnog polja na modelu mozga i glave koji je instaliran u okviru osnovnih podešavanja SIMNIBS softvera. Takođe, rezultati simulacije se mogu učitati u MATLAB okruženje i funkcijama u okviru navedenog

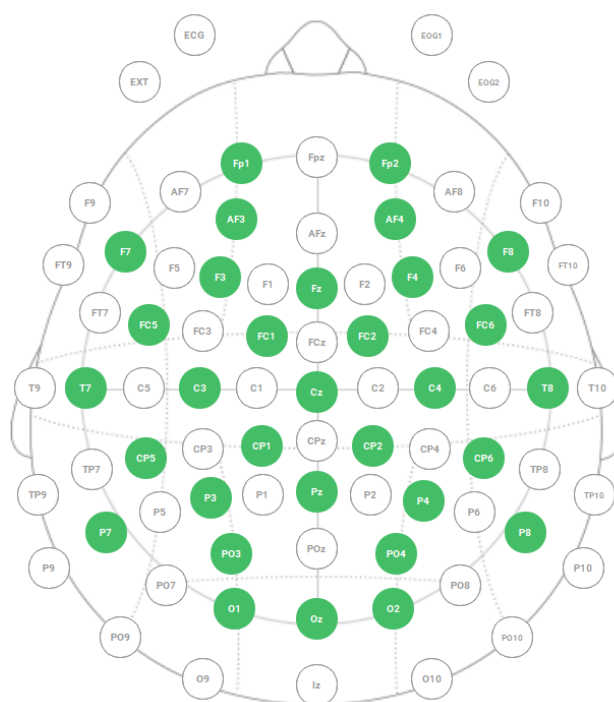
programskog jezika izračunati jačina električnog polja u određenom moždanom regionu od interesa definisanom MNI koordinatama. Softverom ROAST se u potpunosti upravlja putem MATLAB-a i on je korišćen prvenstveno zbog njegove funkcije ROAST_target u okviru koje se upišu MNI koordinate regiona od interesa, a kao rezultat se dobiju parametri stimulacije (pozicije elektroda i njihovi pojedinačni intenziteti) kojima se postiže optimalna jačina električnog polja u navedenom regionu. Ograničenje ove funkcije je što može da se koristi samo na modelima sa parnim brojem elektroda.

Simulacijama su testirani modeli koji se odnose na različite montaže iz prethodnih istraživanja u kojima je stimulisan desni IFG (Cunillera et al., 2014, 2016; Dagnino et al., 2023; Ditye et al., 2012; Hogeveen et al., 2016) i ACC (Kaur et al., 2020; Khan et al., 2020, 2022; Mattavelli et al., 2022; To et al., 2018), kao i rezultati koji su dobijeni korišćenjem funkcije ROAST_target.

Kako bi rezultati simulacija bili uporedivi, unapred je određeno da će ukupan intenzitet stimulacije biti 2 mA, nezavisno da li je data montaža sa jednom ili više aktivnih elektroda. Stimulacija tolikog intenziteta je uobičajena za tDCS studije i u skladu je sa standardima bezbednosti korišćenja tDCS-a (Antal et al., 2017; Bikson et al., 2016).

Pored toga, unapred je određeno da montaže za IFG i ACC, a samim tim i lažnu stimulaciju budu međusobno homogene, u smislu da se u svakoj od situacija stimulacije nameštaju iste elektrode, bez obzira na to da li su neke u tom protokolu aktivne ili ne. Time bi ispitanici osim potencijalnih razlika u lokalizaciji senzacija koje bi osećali u toku stimulacije ne bi imali direktan uvid u razlike između tri protokola. Stoga je unapred određeno da će sve elektrode koje će se postavljati na skalpu biti metalne NG PISTIM Ag/AgCl elektrode (www.neurolectrics.com), sa gelom na bazi soli kao provodnikom. Navedene elektrode su kružnog oblika, prečnika 1 cm, a mogu koristiti za HD-tDCS, kao i za bipolarne montaže, a postavljaju se na otvore na neoprenskoj kapi koja je deo opreme StarStim32 sistema.

Prikaz pozicija koje su dostupne u okviru StarStim 32 sistema je na Slici 21. Kao što se može videti sa slike, neke od pozicija na koje su postavljane elektrode u prethodnim istraživanjima u vezi sa inhibitornom kontrolom nisu dostupne u ovom sistemu. Ovo ograničenje se za određene pozicije može prevazići tako što se neoprenska kapa može prilagoditi bušenjem novog otvora, ukoliko to nije onemogućeno pozicijama šavova same kape. U kontekstu ovog istraživanja, pozicije koje nisu dostupne u okviru StarStim32 sistema, a mogu biti relevantne za postavljanje elektroda su FCz (za stimulaciju ACC-a) i FC4 (na kojoj je u prethodnim istraživanjima najčešće postavljana aktivna elektroda, kada je stimulisan desni IFG). Potrebno je istaći da je raspored šavova na kapi povoljan za njeno adaptiranje i stimulaciju FCz, dok se mesto na kojem bi trebalo da bude otvor za FC4 nalazi direktno na šavu, što otklanja mogućnost stimulacije te tačke kada se koristi StarStim32 sistem. Zbog navedene nedostupnosti nekih od pozicija, u simulacijama su za neke od relevantnih modela testirane modifikovane montaže (na primer pozicije FT9 i FT10 su u modelu koji je bio rezultat funkcije ROAST_TARGET za stimulaciju ACC-a su zamenjene pozicijama F7 i F8).



Slika 21. Prikaz pozicija po 10-20 EEG sistemu na koje se mogu postaviti elektrode u okviru StarStim32 sistema. Zeleno obojeni kružići odgovaraju pozicijama koje su dostupne za montažu.

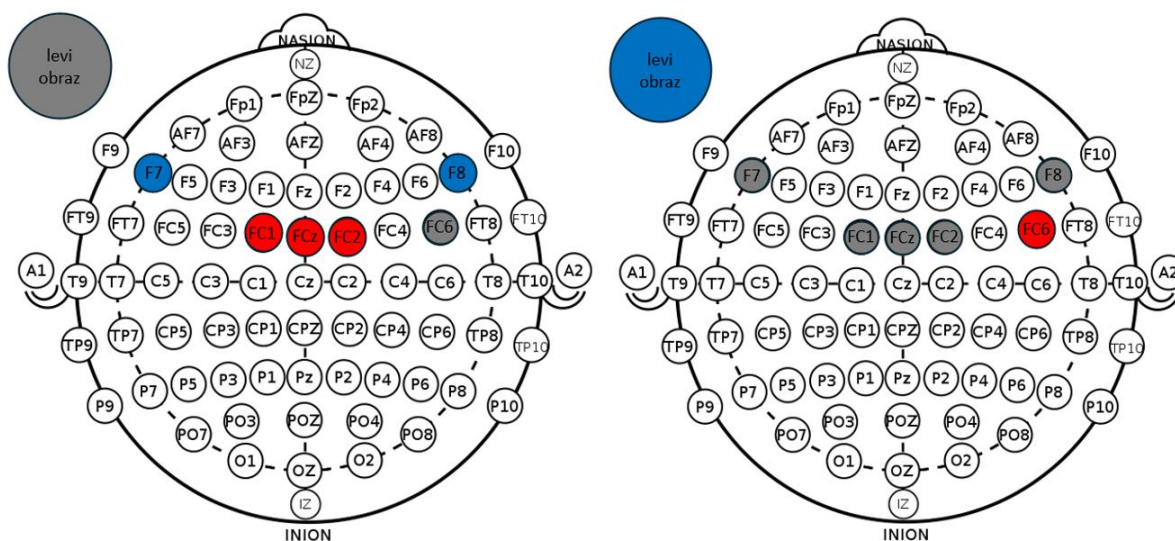
Jačina električnog polja u regionima od interesa je procenjavana za svaku od pokrenutih simulacija na osnovu prethodno određenih MNI koordinata za levi i desni ACC i desni IFG. Korišćene MNI koordinate za ACC ($\pm 5, 14, 42$) su preuzete iz istraživanja u kojem je ispitivana funkcionalna povezanost različitih subregiona ACC-a (Zhou et al., 2016), a jačina električnog polja je računata za levi i desni dorzalni ACC, njegov subregion koji ima najveću ulogu u kognitivnim funkcijama i procesuiranju konflikta (Fan et al., 2003). Koordinate za desni IFG (50, 20, 20) su preuzete iz studije u kojoj je korišćena metodologija magnetne encefalografije (Schaum et al., 2021), i one se odnose na voksele sa najvećom aktivnosti kada se kontrastiraju „go“ izlaganja i uspešna stop izlaganja u toku izvršavanja Stop-signal zadatka. S obzirom na anatomske pozicije ACC-a, električno polje pri većini montaža za stimulaciju ovog regiona zahvata i desni IFG. Stoga, jačine električnih polja potencijalnih montaža za ACC su proveravane i za desni IFG i obratno, sa ciljem da stimulacija u finalnim protokolima što više zahvata targetiranu strukturu, a što manje onu koja je ciljana drugim protokolom. Međutim, vrednost procenjene jačine električnog polja nije jedini kriterijum od značaja pri izboru finalnih montaža. Značajno je i da se indukovano električno polje ne distribuira preširoko po glavi čime bi specifičnost stimulacije ciljanog regiona mozga bila dovedena u pitanje. U prilogu D je prikaz dobijenih jačina električnih polja za sve simulirane montaže za ACC i desni IFG, a za svaku testiranu montažu su priloženi i grafički prikazi distribucije električnog polja iz relevantnih uglova.

3.2.5 Finalne pozicije elektroda

Uvidom u rezultate modelovanja električnog polja, izdvojene su optimalne montaže za stimulaciju ACC-a i desnog IFG-a. Za stimulaciju ACC-a korišćen je višekanalni protokol sa 5 elektroda. Za potrebe ove montaže, neoprenska kapa je prilagođena pravljenjem modifikovanog novog otvora na lokaciji predviđenoj za FCz poziciju. U okviru ovog protokola

3 elektrode su bile anode i bile su pozicionirane na FCz, FC1, i FC2, a preostale dve katode su bile postavljene na F7 i F8.

U situaciji stimulacije desnog IFG-a montaža je bila bipolarna, dakle postavljane su dve elektrode: aktivna (anoda) je bila postavljana na FC6, dok je povratna elektroda pozicionirana na kontralateralni, levi obraz. Važno je napomenuti da su se u obe eksperimentalne situacije nameštale sve navedene elektrode, kako ispitanici ne bi imali drugačiji doživljaj u različitim sesijama, a samo su one koje su bile predodređene za stimulaciju ACC ili IFG bile uključivane u okviru konkretnog protokola. Na Slici 22 je prikaz pozicija elektroda u situacijama stimulacije ACC-a i desnog IFG-a.



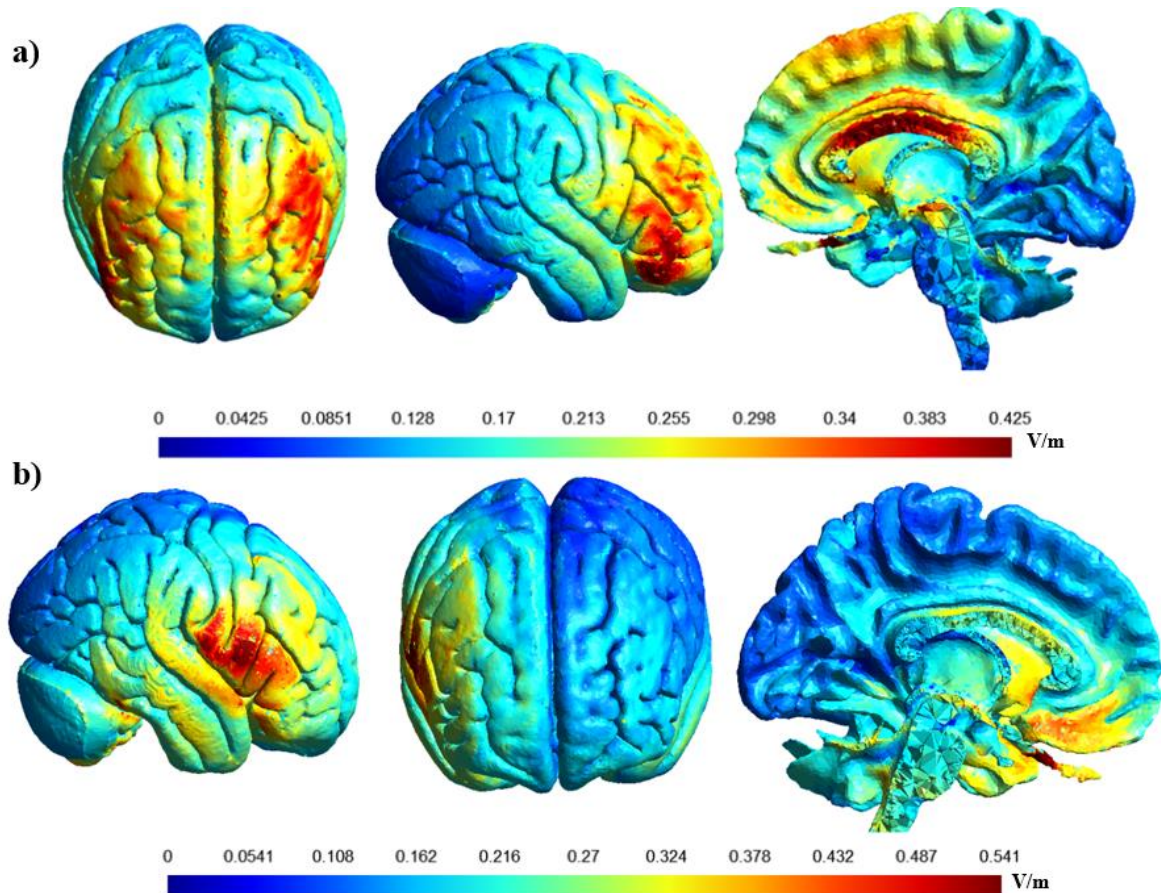
Slika 22. Prikaz pozicija postavljenih elektroda. Sa leve strane je montaža za ACC, a sa desne za desni IFG. Crvenim kružićima su označene anode, plavim katode, a sivim one koje su samo postavljene a nisu bile uključene u datom protokolu.

3.2.6 Finalni parametri tDCS

Svaki od protokola je trajao ukupno 20 minuta. U okviru montaža, na skalp su se postavljale kružne elektrode NG PISTIM koje su napravljene od srebro hlorida (Ag/AgCl), prečnika, 1cm. U svojstvu provodnika, kroz otvore na neoprenskoj kapi na kojem su se postavljale navedene elektrode, na skalp se nanosio gel na bazi soli i vode (Signa gel, www.parkerlabs.com). Elektroda koja se postavljala na obraz je bila gumena, kružnog oblika i nešto veća, prečnika 4cm, uvučena u kružni sunder prečnika 5 cm natopljen fiziološkim rastvorom , .

Ukupan intenzitet struje je u obe aktivne montaže bio 2 mA. Kod ACC protokola, centralno pozicionirana (FCz) elektroda je emitovala struju intenziteta 1mA, sa gustinom struje od 1.27 mA/cm², dok su dve bočne (FC1 i FC2) imale intenzitet 0.5 mA, a primenjena struja je bila gustine 0.64 mA/cm². Povratne elektrode na F7 i F8, su obe imale intenzitet po -1 mA i gustinu 1.27 mA/cm². U situaciji stimulacije desnog IFG-a intenzitet na FC6 je bio 2 mA, a gustina 2.55 mA/cm². Intenzitet povratne elektrode koja se pozicionirala na levi obraz je bio podešen na -2 mA, a gustina struje aplikovane na njoj je usled njene veće površine bila manja i iznosila je 010 mA/cm². Konačno, izračunata jačina električnog polja u okviru odabranih protokola u

MNI koordinatama regiona od interesa su bile: Za protokol ACC 0.24 V/m za koordinate levog, 0.24 V/m desnog ACC-a, a 0.23 V/m desnog IFG-a. U situaciji stimulacije desnog IFG-a, jačina električnog polja je bila 0.38 V/m u tački koja je prethodno određena kao desni IFG, 0.11 V/m u tački levog ACC-a, a 0.14 V/m za desni ACC. Na Slici 23 je prikaz distribucije električnog polja u okviru dva korišćena protokola.



Slika 23. Prikaz simuliranog modela jačine električnog polja za dve finalne montaže u eksperimentu. a) stimulacija ACC b) stimulacija desnog IFG. Sa leve strane su prikazani modeli sa fokusom na površinu lokacije gde je postavljena aktivna elektroda. U sredini su prikazani modeli sa fokusom na površinu zone na koju je postavljena aktivna elektroda u drugoj situaciji stimulacije, a skroz desno je sagitalni presek mozga, sa fokusom na dubljim strukturama.

Protokol lažne stimulacije je takođe trajao 20 minuta, a elektrode su postavljane na iste pozicije, kao i u dva aktivna protokola. Sham je osmišljen tako da se u prvih 30 sekundi protokola intenzitet struje podizao do 2mA i spuštao na 0 mA, nakon čega je bio konstantno na nuli do poslednjih 30 sekundi kada je ponovljen obrazac podizanja do 2mA i spuštanja na nulu. Ispitanici su bili na slučajan način raspoređeni u dve grupe: jednoj je bio aplikovan sham protokol u kojem su se u aktivirale elektrode na pozicijama za stimulaciju ACC-a, a drugoj za stimulaciju desnog IFG-a. Na Slici 24 je šematski prikaz dinamike promene intenziteta struje u okviru lažne stimulacije.



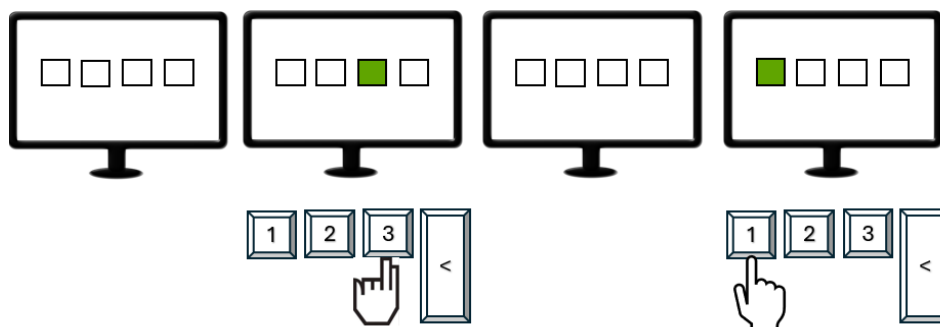
Slika 24. Prikaz intenziteta i vremenske dinamike sham protokola. Crvena boja predstavlja podizanje intenziteta (ramp up), a zelena spuštanje (ramp down).

3.2.7 Bihevioralni zadaci

Primarni zadaci - mere inhibitorne kontrole. U ovom eksperimentu su zadaci inhibitorne kontrole zadavani ispitanicima nakon stimulacije (tzv. oflajn protokol). Za merenje inhibicije odgovaranja zadavan je *Stop-signal sa oblicima*, za merenje kontrole distraktorske interferencije (konflikta SS tipa) korišćen je zadatak *Podudaranja oblika*, a za merenje kontrole interferencije od odgovora (konflikta SR tipa) upotrebljen je *Klasični Strupov* zadatak. Zadaci su po strukturi bili identični kao u Studiji 1 (videti u odeljku 2.2 za detaljan opis). Jedina, minimalna razlika u zadacima koji su korišćeni u eksperimentu u odnosu na one koji su bili zadavani u prethodno opisanoj studiji jeste u trajanju prikazivanja fiksacionog krstića. Naime, u prethodnoj studiji je to vreme bilo fiksno, u trajanju od 500ms, a u ovom eksperimentu je bilo podešeno da u koracima od 50 ms varira između vrednosti 400 i 650 ms, kako bi se smanjila prediktabilnost vremena pojavljivanja stimulusa i izbeglo korišćenje strategija vezanih za dinamiku prikazivanja stimulusa (Jazayeri & Shadlen, 2010).

Kontrolni zadatak – mera implicitnog motornog učenja. Osim zadataka inhibitorne kontrole, nakon tDCS je zadavan i kontrolni zadatak *Serijskog vremena reakcije* (engl *Serial Reaction Time Task* - SRTT) (Nissen & Bullemer, 1987) u okviru kojeg su na ekranu bele pozadine kontinuirano bila prikazana 4 kvadrata crnih ivica, jedan pored drugog, u horizontalnoj ravni. Jedan od četiri kvadrata bi dobio zelenu boju, a ispitanici su imali instrukciju da što brže i sa što manje grešaka pritisnu odgovarajući taster, u skladu sa kvadratom koji je u datom izlaganju pozeleneo. Od ispitanika se zahtevalo da daju odgovore na numeričkoj tastaturi i da specifično postavie prste desne, dominantne šake na sledeće tastere: Kažiprst na broj 1, srednji prst na broj 2, domali na broj tri, a mali na taster „enter“ na numeričkoj tastaturi. Time, ukoliko bi na ekranu pozeleneo prvi kvadrat u nizu sa leve na desnu stranu, tačan odgovor bi bilo pritiskanje tastera 1, ukoliko bi pozeleneo prvi kvadrat sa leve strane u sredini, tačan odgovor bi bio taster 2 i tako redom. Zadatak je bio podeljen u 6 blokova. Prvi blok je imao svrhu familijarizacije ispitanika sa načinom odgovaranja i zahteva u zadatku i u njemu je redosled kojim bi kvadrati menjali boju u zeleno bio slučajan. Nakon toga, sledi 4 bloka u kojima se ukupno 17 puta ponavljala fiksna sekvenca tačnih odgovora. Nakon ovih 5 blokova, sledi drugi blok sa slučajnom sekvencom. Između blokova je bila pauza u trajanju od 10 sekundi. Na Slici 25 je prikaz sekvence izlaganja u zadatku serijskog vremena reakcije. Iz ovog zadatka se mogu izračunati dva skora: prosečno RT za 6. blok (2. sa slučajnom sekvencom) predstavlja meru izbornog RT. Diferencijalni skor u kojem se prosečno RT 5. bloka (poslednjeg bloka u kojem je ponavljana ista sekvenca) oduzima od prosečnog RT 6. bloka daje meru implicitnog motornog učenja (Robertson, 2007). Ovaj zadatak je uveden u eksperiment sa svrhom provere (ne)specifičnosti

efekata tDCS na različite funkcije inhibitorne kontrole, nezavisno od vremena reakcije i motorne komponente.



Slika 25. Prikaz dva izlaganja zadatka Serijskog vremena reakcije.

Zadaci tokom tDCS. Radi ujednačavanja kognitivne aktivnosti ispitanika u toku same stimulacije, u toku primene tDCS zadavana su dva zadatka inhibitorne kontrole. Ovi zadaci su bili izabrani sa ciljem da ne budu previše opterećujući za ispitanike, ali i da bi ispitanici u toku izvršavanja zadataka endogeno angažovali neuralne strukture koje su zahvaćene stimulacijom. Stoga, su za ovu svrhu odabrani zadatak *Kreni-stani* i verzija *Flanker zadatka sa strelicama*, na osnovu čega je balansirano da ispitanici u toku stimulacije rade jedan zadatak inhibicije odgovaranja i jedan zadatak kontrole interferencije. Zbog vremenskih ograničenja trajanja protokola od 20 minuta odabrana su dva zadatka čije bi trajanje u sumi bilo između 12 i 15 minuta, ako se uračuna i čitanje uputstava. Detaljan opis ovih zadataka *Kreni-stani* je dat u odeljku 2.2.2, njihova struktura je bila identična kao i u prvoj studiji, a zbog vremenskih ograničenja protokola, u zadacima tokom tDCS nije bilo bloka za vežbanje.

Paralelne forme. S obzirom na to da je dizajn eksperimenta bio potpuno ponovljen, svi ispitanici su dolazili na ukupno 3 sesije, pa su samim tim 3 puta radili iste zadatke. Paralelne forme su konstruisane tako što je promenjen redosled prikazivanja stimulusa različitih kategorija u okviru svakog zadatka. Liste redosleda izlaganja stimulusa su za formu 2 obrnute tako da počinju unazad, dok je redosled izlaganja kod forme 3 preuređen tako da lista izlaganja počinje drugom polovinom liste forme 1, a sledi joj prva polovina forme 1 obrnuta unazad. Na taj način je po različitim formama ostao isti razmak između ponavljanja različitih kategorija stimulusa. Takođe, ovakvim postupkom je u različitim formama prosek razmaka između „go“ i Stop izlaganja u Stop-signal zadatku držan konstantnim. Kod zadatka Podudaranja oblika su pored ovog postupka slike oblika rotirane za 180°, a za formu 3 za 225°. Tim postupkom je po različitim formama održana konstantna kompleksnost upoređivanih oblika, ali i stepen sličnosti objekta „mete“ i uporednog oblika, kao i preklapanja distraktorskog oblika i oblika „mete“.

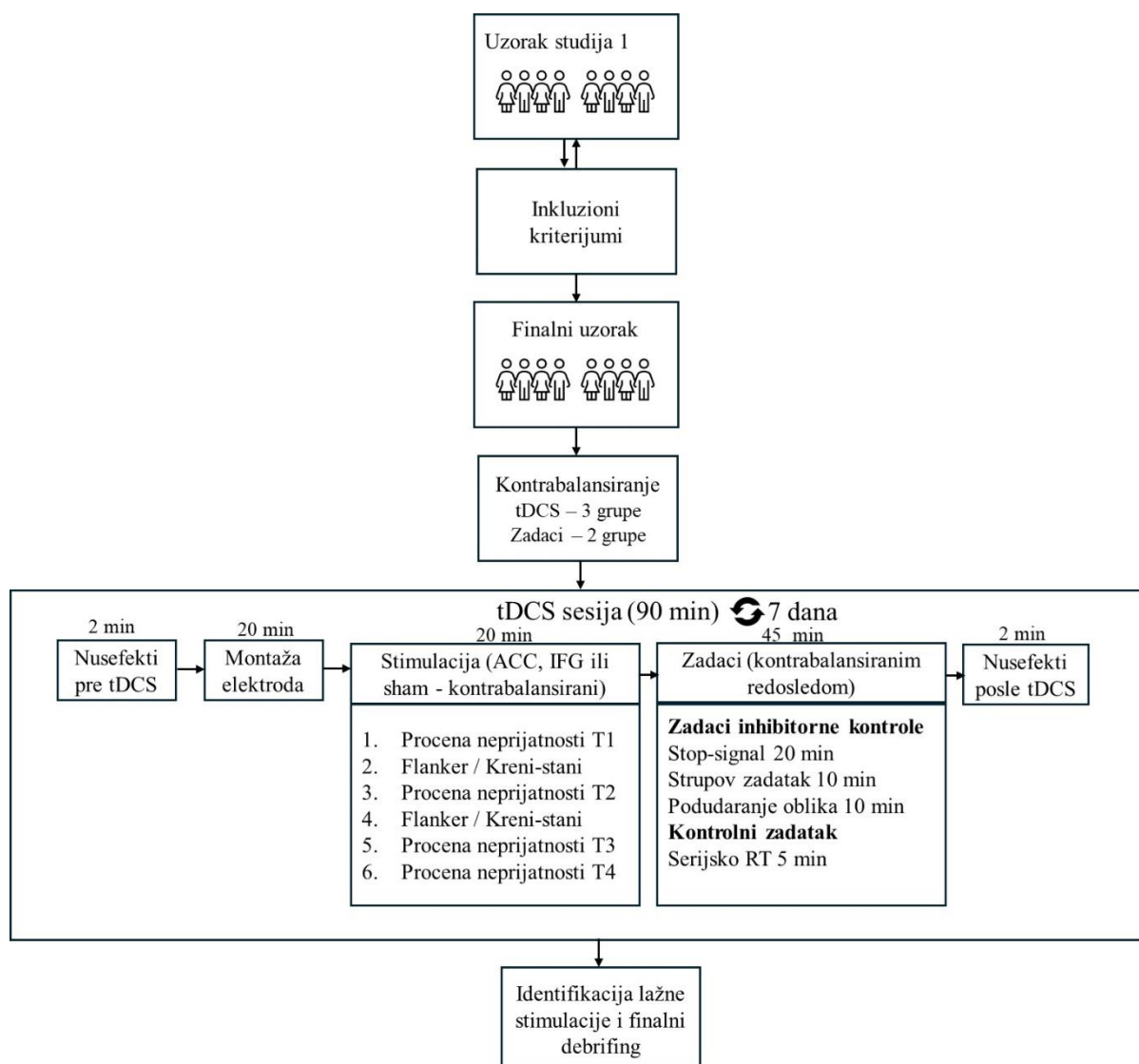
3.2.8 Upitnici

Praćenje nusefekata pre i posle stimulacije. Ispitanici su popunjavali upitnik o nusefektima (simptomima) koji se potencijalno mogu osetiti posle primene tDCS-a. Upitnik sadrži listu od 14 nusefekata (kao npr. peckanje, svrab, glavobolja itd.) i ispitanici na desetostepenoj skali (1 simptom nije prisutan uopšte – 10 simptom je intenzivan) vrše samoprocenu stepena prisutnosti navedenih nusefekata pre i posle primene tDCS.

Praćenje senzacija neprijatnosti. U toku primene tDCS, ispitanici su bili pitani da procene u kojoj meri su im senzacije koje osećaju usled stimulacije neprijatne (na desetostepenoj skali, 1 – Nimalo, 10 Intenzivno).

3.2.9 Procedura

Ukupno trajanje sesije je bilo približno 90 minuta, na Slici 26 je šematski prikaz procedure i trajanja opisanih koraka.



Slika 26. Šematski prikaz procedure eksperimenta.

Ispitanici koji su učestvovali u prvoj fazi istraživanja su kontaktirani putem elektronske pošte sa informacijama o eksperimentu i pristupali su preko linka ka upitniku sa inkluzionim kriterijumima. Nakon što je utvrđeno da ispunjavaju inkluzione kriterijume, formiran je finalni uzorak za eksperiment. Ispitanici su raspoređeni u tri grupe kojima se kontrabalansiranim redosledom primenjivalo tri tDCS protokola: stimulacija ACC-a, stimulacija desnog IFG-a i lažna stimulacija. U svakoj od tri grupe je bio isti razmer ženskih i muških ispitanika (3:1), a grupe su bile i ujednačene i nisu se značajno razlikovale po prosečnom uzrastu ($M_1 = 24.8$; $M_2 = 22.8$; $M_3 = 24.3$), $F(2) = 0.861$, $p = .433$. Rastojanje između dve sesije za istog ispitanika je bilo predodređeno na najmanje 7 dana, kako bi se izbeglo potencijalno prenošenje efekata stimulacije iz prethodne sesije (engl. carryover effect).

Sesija je počinjala tako što bi ispitanici prvo popunjavali upitnik o prisustvu nusefekata pre primene stimulacije. Nakon što bi popunili upitnik, sledio je niz postupaka koji će rezultirati montiranjem elektroda i uređaja za stimulaciju. Prvo se alkoholom čisti mesto na levom obrazu

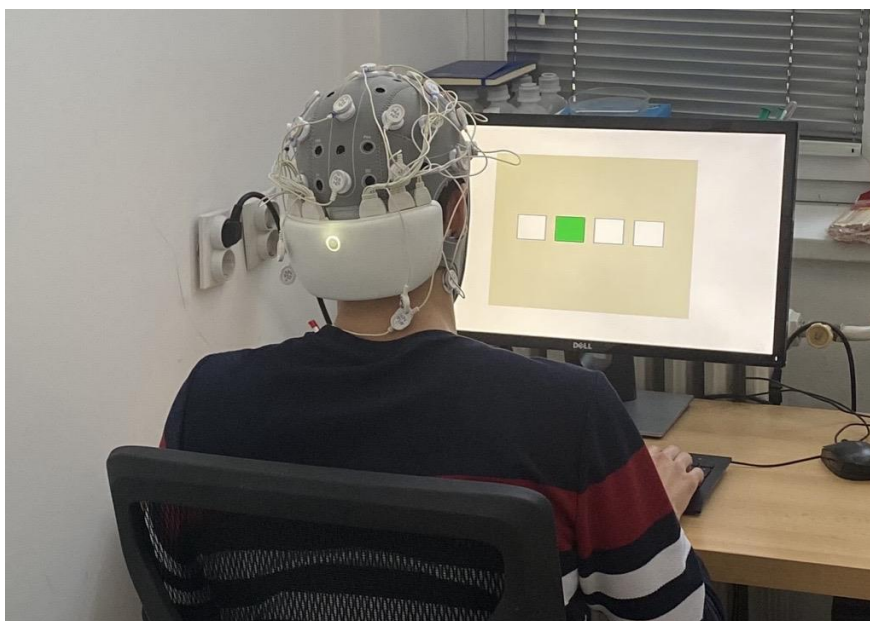
na kojem će se postavljati jedina veća elektroda, (bez obzira na to da li će biti primenjen protokol za stimulaciju desnog IFG). Zatim sledi postupak postavljanja kape i elektroda. Kako bi kapa bila precizno postavljena, sa ciljem pronalaženja verteksa (tačke Cz) vrši se postupak merenja dimenzija glave, od vrha nosa, između očiju (naison) do ispupčenja na potiljačnoj kosti (inion), kao i od jednog do drugog uha. Na 50% oba rastojanja se olovkom fluorescentne boje obeležavala tačka, koja predstavlja Cz. Kada bi tačka Cz bila obeležena, na glavu ispitanika se nameštala kapa, tako da se kroz otvor koji je predviđen za elektrodu na lokaciji Cz mogla videti prethodno obeležena tačka, što je bio indikator da su svi otvori za elektrode na dobrim lokacijama. Ispitanicima je nakon toga, po potrebi, kroz otvore na kapi na koje će se nameštati elektrode razmicana kosa drvenim tupim štapićima, kako bi se ostvario što bolji kontakt sa elektrodama. Kroz navedene otvore se na kožu glave nanosio gel koji je imao svojstvo konduktora, a preko njega su se nameštale elektrode koje su kablovima bile povezane za bežični uređaj zalepljen na kapi, ispod potiljka ispitanika.

Stimulacija je trajala 20 minuta, a u toku stimulacije ispitanici su radili zadatak Kreni-stani i Flanker zadatak sa strelicama. Redosled zadavanja zadataka u toku stimulacije je bio kontrabalansiran, tako da je polovina ispitanika prvo radila Flanker pa Kreni-stani, a druga polovina obrnutim redosledom. Neprijatnost senzacija stimulacije je praćena u 4 vremenske tačke: T1 - na početku, kada se uspostavi konstantan intenzitet struje; T2 – nakon završetka prvog zadatka; T3 – nakon završetka drugog zadatka; T4 – na kraju kada se protokol završava. Nakon završetka protokola, ispitanicima je ponovo dat upitnik o nusefektima usled upotrebe tDCS-a, u kojem bi izvršili samoprocenu stepena u kojem osećaju navedene simptome nakon primene stimulacije.

Posle završetka stimulacije, ispitanici su pristupali glavnim zadacima inhibitorne kontrole. Redosled zadataka inhibicije je bio kontrabalansiran u dva redosleda tako da je polovina ispitanika prvo radila zadatak inhibicije odgovaranja pa kontrole interferencije konflikta, a druga polovina obrnuto (grupa 1. Stop-signal, Klasični Strup, Podudaranje oblika; grupa 2. Klasični Strup, Podudaranje oblika, Stop-signal). Dve grupe su bile ujednačene po uzrastu $M1 = 23.94$; $M2 = 24.00$, $F(1,34) = 0.002$, $p = .967$, a imale su i isti razmer muških i ženskih ispitanika (1:3). Zbog skoro duplo dužeg trajanja Stop-signala u odnosu na druga dva zadatka inhibicije, kontrolni zadatak serijskog vremena reakcije je konstantno bio zadavan na polovini bloka sa zadacima, što je bilo ili odmah pre ili odmah posle Stop-signal zadatka.

Na samom kraju eksperimenta, posle treće sesije ispitanici su bili usmeno upitani da odgovore u okviru koje od tri sesije je bila primenjena lažna stimulacija, a nakon tog odgovora su, takođe usmeno, samoprocenjivali stepen sigurnosti u taj odgovor na skali od 1 do 10. Nakon ove evaluacije prepoznavanja protokola lažne stimulacije je sledio finalni debriefing u okviru kojeg su ispitanici ponovo dobili informacije o ciljevima istraživanja, a imali su i priliku da dodatno pitaju sve što žele u vezi sa istraživanjem.

Sa svrhom što realističnijeg prikaza eksperimentalnog setinga, na Slici 27 je fotografija zabeležena u toku izvođenja eksperimenta.



Slika 27. Ispitanik u toku izvođenja eksperimenta.

3.3 Rezultati

3.3.1 Transformacija podataka

Pre računanja skorova prosečnih RT za svaku od kategorija stimulusa u okvir primarnih zadataka inhibitorne kontrole kod kojih se računa diferencijalni skor (Strupov zadatak, i zadatku Podudaranja Oblika) sprovedeno je vinzorizovanje aritmetičkih sredina unutar subjekata za svaki od tipova izlaganja, u okviru svake pojedinačne sesije, na isti način kao i u već opisanom odeljku 2.3.1. Za svakog ispitanika, za svaku kategoriju stimulusa, u svakoj sesiji je izračunata individualna vrednost odstupanja $\pm 3SD$ od individualnog proseka date situacije, i svaka vrednost ispod ili iznad navedene granice je transformisana u individualnu vrednost $\pm 3SD$. Sve dalje analize su sprovedene na transformisanim podacima. S obzirom na to da je redosled situacija tDCS bio kontrabalansiran, nisu primenjivane transformacije između subjekata jer ne bi bilo moguće izračunavanje kritičnih vrednosti koje bi bile nezavisne od potencijalnih efekata uvežbavanja i stimulacije. Takođe, na uzorku od 36 ispitanika bi dobijene standardne devijacije između subjekata bile manje pouzdane u odnosu na slučaj u istraživanju prikazanom u okviru psihometrijske studije.

3.3.2 Provera uspešnosti identifikacije lažne stimulacije

Uspešnost manipulacije lažnom stimulacijom je proverena na kraju studije kada su ispitanici pitani da probaju da identifikuju u kojoj od 3 sesije je bila primenjena lažna stimulacija. Ukupno 22 ispitanika (61,3%) je tačno pogodilo u kojoj sesiji je bila primenjena lažna stimulacija, što je statistički značajno više od nivoa slučajnosti, odnosno 33.3%, $t(35) = 3.411$, $p < .01$. Prosečna sigurnost (na skali od 1 do 10) ispitanika pri odgovaranju na ovo pitanje je bila 6.55 ($SD = 1.97$), kada su bili uspešni u prepoznavanju lažne stimulacije, a 5.86 ($SD = 1.10$) kada su dali pogrešan odgovor, što se nije statistički značajno razlikovalo $t = 1.343$, $p = .188$, kada se uzme u obzir da varijanse nisu homogene, zbog kršenja uslova o homoscedastičnosti $F = 5.054$, $p < .05$. Približno slični proseoci sigurnosti navedene dve grupe i veća varijabilnost izbora ispitanika koji su tačno odgovorili ukazuje na mogućnost da je deo

ispitanika slučajnim pogađanjem došao do tačnog odgovora. Kao najčešća, u 38.9% slučajeva, je birana sesija u kojoj je bila primenjena ACC varijanta lažne stimulacije, nešto ređe, u 25% slučajeva je birana situacija u kojoj je bila stimulacija IFG, lažni IFG protokol je izabralo 22.2 %, a aktivni ACC protokol samo 13.9 % ispitanika. Ovo ukazuje na veću prepoznatljivost ACC lažnog protokola, koji je uspešno identifikovalo ukupno 77.8 % ispitanika iz te grupe, dok taj procenat niži u grupi sa IFG lažnim protokolom i iznosi 44.4%, što je u skladu sa nižim intenzitetima na pojedinačnim elektrodama tog protokola. Ipak, ne treba očekivati da je uspešnost identifikacije protokola lažne stimulacije uticala na efekte tDCS na inhibitornu kontrolu s obzirom na dinamiku zadataka i ograničenja vremena za odgovaranje. Takođe, ispitanici su tek na kraju studije dobijali povratnu informaciju o tome u kojoj sesiji je bio primenjen sham, tako da u toku izvršavanja zadataka inhibitorne kontrole i dalje nisu imali tu informaciju.

3.3.3 Senzacije u toku tDCS i potencijalni nusefekti stimulacije

Uvidom u Tabelu 12 se može zaključiti da je samoprocenjeni stepen neprijatnosti senzacija u toku stimulacije u proseku blagog intenziteta, a da je njen najveći stepen na samom početku protokola, dok se kod sham-a javlja skok i u poslednjoj tački merenja, što je i očekivano, s obzirom na strukturu samog protokola. Takođe, u sham protokolima se javlja veći pad intenziteta i varijabilnosti neprijatnosti u srednjim vremenskim tačkama, dok je kod aktivnih protokola ovaj pad sporiji, a individualne razlike u jačini senzacija veće.

Tabela 12. Senzacije neprijatnosti po vremenskim tačkama i nivoima tDCS

tDCS	Vreme	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Maks</i>
ACC	T1	3.91	1.80	1.00	8.00
	T2	1.86	1.20	1.00	5.00
	T3	1.51	1.00	1.00	4.00
	T4	1.45	0.96	1.00	4.00
IFG	T1	3.83	1.88	1.00	8.00
	T2	2.11	1.43	1.00	6.00
	T3	1.67	1.12	1.00	5.00
	T4	1.32	0.70	1.00	4.00
sham ACC	T1	3.61	1.82	1.00	8.00
	T2	1.11	0.32	1.00	3.00
	T3	1.00	0.00	1.00	1.00
	T4	3.00	1.53	1.00	8.00
sham IFG	T1	4.00	1.86	1.00	7.00
	T2	1.18	0.54	1.00	3.00
	T3	1.06	0.25	1.00	2.00
	T4	3.81	1.87	1.00	7.00

T1 - početak stimulacije; T2 – posle prvog zadatka; T3 – posle drugog zadatka; T4- na kraju stimulacije

Rezultati dvofaktorske analize varijanse sa ponovljenim merenjima (VREME*STIMULACIJA) ukazuju na značajan glavni efekat faktora VREME(T1,T2,T3,T4) na senzacije neprijatnosti $F = 85.271, p < .001, \eta^2 = .436$, što ukazuje na značajne razlike između različitih vremenskih tačaka

u toku stimulacije. Ovaj rezultat je očekivan, s obzirom na pad senzacija neprijatnosti nakon prve tačke merenja, što se i može pretpostaviti iz rezultata prikazanih u Tabeli 12. Sa druge strane, glavni efekat faktora STIMULACIJA (ACC, IFG, sham) nije bio značajan $F = 0.212$, $p = .809$, $\eta^2 = .001$, iz čega se može zaključiti da generalno nije bilo razlika u senzacijama neprijatnosti između različitih protokola tDCS-a. Efekat interakcije VREME*STIMULACIJA je bio značajan $F = 29.778$, $p < .001$, $\eta^2 = .157$, što je takođe u skladu sa nešto višim procenama neprijatnosti u toku sham protokola, na poslednjoj tački merenja, prilikom aplikovanja *ramp up / ramp down* postupka.

Tabela 13 prikazuje samoprocenjene prijavljene potencijalne nusefekte ispitanika u tri protokola stimulacije ovog eksperimenta. Pregledom tabele se može utvrditi veoma niska zastupljenost svih nusefekata kako pre, tako i posle tDCS. Rezultati t testa za zavisne uzorke su za sva tri tipa stimulacije pokazali blago povećanje kožnih senzacija kao što su peckanje, iritacija poglavine i svrab. Treba istaći i statistički značajne efekte na smanjenje anksioznosti i naleta vrućine nakon stimulacije desnog IFG, dok rezultati ukazuju i na statistički značajno blago povećanje zamagljenosti vida, ali samo posle lažne stimulacije. Sumirano, prisustvo nusefekata i njihove promene nakon tretmana su u zadatim protokolima u apsolutnom pogledu bile veoma niske, i podjednako su se javljale i kod lažne i aktivne stimulacije u vidu blagih kožnih senzacija.

Tabela 13. Samoprocenjeni nusefekti pre i posle tDCS po situacijama stimulacije

Nusefekati	ACC					IFG					sham				
	pre tDCS		posle tDCS		<i>t</i> (35)	pre tDCS		posle tDCS		<i>t</i> (35)	pre tDCS		posle tDCS		<i>t</i> (35)
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>		<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>		<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	
glavobolja	1.31	1.31	1.40	0.78	-0.72	1.39	1.20	1.47	1.06	-1.00	1.28	0.62	1.39	0.93	-0.73
bol u vratu	1.36	1.36	1.60	1.01	-1.68	1.58	1.11	1.69	1.14	-1.44	1.58	1.05	1.64	1.10	-1.00
bol u leđima	1.42	1.42	1.49	0.95	-0.63	1.72	1.14	1.72	1.11	0.00	1.75	1.05	1.75	1.13	0.00
zamagljen vid	1.22	1.22	1.31	0.76	-1.14	1.25	0.91	1.33	0.99	-1.36	1.17	0.56	1.42	1.00	-2.31*
iritacija poglavine	1.06	1.06	1.46	0.98	-2.42*	1.08	0.37	1.36	0.72	-2.14*	1.11	0.40	1.47	0.81	-3.00**
peckanje	1.08	1.08	1.63	1.03	-3.38**	1.08	0.37	1.67	1.22	-2.91**	1.06	0.33	1.64	0.68	-5.39**
svrab	1.14	1.14	1.83	1.32	-3.23**	1.17	0.45	1.56	1.05	-2.17*	1.14	0.42	1.47	0.74	-3.16**
ubrzan rad srca	1.11	1.11	1.09	0.28	0.57	1.22	0.54	1.06	0.23	1.78	1.17	0.51	1.08	0.50	0.68
osećaj pečenja	1.00	1.00	1.31	1.23	/	1.00	0.00	1.31	0.92	/	1.00	0.00	1.11	0.32	/
naleti vrućine	1.17	1.17	1.06	0.24	1.68	1.14	0.35	1.03	0.17	2.09*	1.08	0.28	1.06	0.23	0.57
vrtoiglavice	1.28	1.28	1.26	0.56	0.37	1.14	0.49	1.17	0.51	-1.00	1.08	0.37	1.08	0.28	0.00
akutne promene raspoloženja	1.11	1.11	1.06	0.24	1.00	1.19	0.53	1.06	0.33	1.96 ⁺	1.14	0.42	1.06	0.23	1.36
zamor	1.81	1.81	1.86	1.12	-0.26	1.72	1.03	1.72	1.09	0.00	1.83	1.03	1.97	1.23	-1.54
anksioznost	1.36	1.36	1.20	0.63	1.97 ⁺	1.36	0.90	1.17	0.61	2.22*	1.26	0.85	1.25	0.97	0.00

- $p < .05$ ** - $p < .01$, + - $p < .10$

3.3.4 Validnost zadataka inhibitorne kontrole

Stop-signal zadatak. U Tabeli 14 su prikazane mere deskriptivne statistike određenih parametara Stop-signal zadatka. Po različitim nivoima stimulacije je izvršena provera ispunjenosti Nezavisnog Horce-race modela.

Tabela 14. Deskriptivni statistički pokazatelji parametara u okviru Stop-signal zadatka po različitim nivoima stimulacije

tDCS	Mera	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Maks</i>
ACC	p(odgovor signal)	0.43	0.10	0.23	0.63
ACC	SSD	313.01	88.45	160.94	450.78
ACC	"go" propušteni	0.02	0.02	0.00	0.06
ACC	"go" greške	0.05	0.03	0.01	0.15
IFG	p(odgovor signal)	0.41	0.12	0.14	0.59
IFG	SSD	320.49	98.55	145.31	470.31
IFG	"go" propušteni	0.02	0.02	0.00	0.08
IFG	"go" greške	0.04	0.03	0.01	0.12
sham	p(odgovor signal)	0.42	0.12	0.17	0.66
sham	SSD	318.71	100.60	126.56	467.97
sham	"go" propušteni	0.01	0.02	0.00	0.05
sham	"go" greške	0.03	0.02	0.00	0.07

Na osnovu rezultata *t*-testa za jedan uzorak ispitano je da li se prosečno p(odgovor|signal) razlikuje od 0.5 i kolike su vrednosti 95% intervala poverenja ove mere po različitim tipovima tDCS-a. Dobijena je značajna razlika proseka od 0.5 za sva tri nivoa: za ACC, $t(35) = -4.397$, $p < .001$ sa donjom i gornjom granicom 95% intervala poverenja na 0.33 i 0.47, dok je za sve ispitanike prosečno „go“ RT bilo značajno duže od prosečnog RT na stop pogrešnim izlaganjima: $t(35) = -16.562$, $p < .001$. Za IFG su dobijene slične vrednosti: $t(35) = -4.539$, $p < .001$ sa granicama intervala poverenja na 0.28 i 0.46, sa kraćim prosečnim RT za pogrešna stop izlaganja u odnosu na prosečno „go“ RT $t(35) = -11.542$, $p < .001$. Za lažnu stimulaciju je takođe dobijena značajna razlika $t(35) = -4.268$, $p < .001$ sa granicama na 0.29 i 0.46, a „go“ RT je bilo značajno duže od stop RT-a: $t(35) = -10.156$, $p < .001$. Takođe, iz tabele se može uvideti da su ispitanici pravili mali procenat grešaka na „go“ izlaganjima, i da je prosečno vreme odlaganja Stop-signala bilo približno isto u sve tri situacije stimulacije. Broj individualnih ispitanika čiji rezultati nisu ispunjavali pretpostavke nezavisnog Horce-race modela je bio jedan za situaciju stimulacije ACC-a, šest kada je stimulisan desni IFG, i šest pri lažnoj stimulaciji.

Strupov zadatak. U Tabeli 15 su prikazani deskriptivni statistički pokazatelji mera vremena reakcije i tačnosti za različite kategorije stimulusa u okviru Strupovog zadatka, po različitim nivoima stimulacije.

Tabela 15. Deskriptivni statistički pokazatelji vremena reakcije i tačnosti učinka u okviru različitih kategorija stimulusa u Klasičnom Strupovom zadatku po različitim tipovima stimulacije.

tDCS	Kategorija	RT				tačnost			
		<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Maks</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Maks</i>
ACC	kongruentni	681.03	119.17	516.00	1000.93	0.96	0.03	0.86	1.00
ACC	neutralni	737.24	116.98	585.34	1070.76	0.92	0.08	0.64	1.00
ACC	nekongruentni	804.89	141.75	596.43	1241.57	0.90	0.07	0.72	1.00
IFG	kongruentni	686.74	131.49	494.97	1036.31	0.96	0.04	0.83	1.00
IFG	neutralni	738.79	136.3	522.19	1091.88	0.95	0.05	0.83	1.00
IFG	nekongruentni	818.96	156.62	516.81	1280.45	0.90	0.08	0.67	1.00
sham	kongruentni	664.33	120.95	504.31	991.77	0.96	0.04	0.83	1.00
sham	neutralni	700.63	137.07	523.68	1126.00	0.92	0.06	0.75	1.00
sham	nekongruentni	778.45	154.42	556.79	1153.97	0.91	0.07	0.75	1.00

Radi provere validnosti diferencijalnog skora, sprovedeni su *t* testovi za zavisne uzorke za procenu značajnosti razlika između prosečnog RT na neutralnim i prosečnog RT na nekongruentnim stimulusima u okviru svake od tri situacija tDCS stimulacije. U situaciji stimulacije ACC-a rezultati su pokazali značajnu razliku u očekivanom smeru između neutralnih i nekongruentnih izlaganja, $t(184.137) = -5.043$, $p < .001$. Takođe, značajna razlika je dobijena i kod stimulacije desnog IFG, $t(184.137) = -5.976$, $p < .001$, i u situaciji lažne stimulacije, $t(184.137) = -5.801$, $p < .001$. Ovi rezultati ukazuju na to da su ispitanici na različite kategorije stimulusa u zadatku odgovarali očekivanom brzinom i da je stoga opravdano koristiti diferencijalni skor prosečnog vremena reakcije u daljim analizama efekata tDCS na učinak u Strupovom zadatku.

Aritmetičke sredine tačnosti odgovaranja na neutralne i nekongruentne stimulse ukazuju na postojanje trenda veće tačnosti na neutralnim u odnosu na nekongruentne stimulse. Međutim, rezultati *t* testa za zavisne uzorke su ukazali na statistički značajnu razliku samo u situaciji stimulacije desnog IFG, $t(195.860) = 3.900$, $p < .001$, dok pri stimulaciji ACC, $t(195.860) = 1.510$, $p = .133$, kao i u okviru lažne stimulacije $t(195.860) = 0.818$, $p = .414$, ova razlika nije dostigla statističku značajnost. Rezultati ukazuju na to da se težina zadatka u vidu tačnosti odgovaranja distribuirala u očekivanom smeru samo situaciji stimulacije IFG, mada treba istaći i to da je tačnost bila visoka na nivou celog zadatka, u svim situacijama stimulacije.

Zadatak podudaranja oblika. U Tabeli 16 su prikazani deskriptivni statistički pokazatelji mera vremena reakcije i tačnosti u izlaganja sa distraktorima i neutralnih izlaganja (bez distraktora) u zadatku Podudaranja oblika, po različitim nivoima tDCS-a.

Tabela 16. Mere deskriptivne statistike vremena reakcije i tačnosti učinka zadatku Podudaranja Oblika po različitim kategorijama stimulusa

tDCS	Kategorija	RT				Tačnost			
		<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Maks</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Maks</i>
ACC	distraktorski	805.95	124.02	636.90	1198.27	0.92	0.07	0.75	1.00
ACC	neutralni	648.91	73.50	518.64	818.74	0.94	0.04	0.85	1.00
IFG	distraktorski	802.58	139.11	629.56	1200.54	0.92	0.06	0.80	1.00
IFG	neutralni	649.64	87.56	532.50	935.32	0.94	0.05	0.78	1.00
sham	distraktorski	794.01	149.50	594.34	1213.56	0.93	0.07	0.65	1.00
sham	neutralni	640.48	94.58	524.38	912.23	0.95	0.04	0.80	1.00

Kako bi se proverila validnost diferencijalnih skorova, u okviru svake od situacija stimulacije, sprovedeni su *t* testovi za zavisne uzorke sa ciljem testiranja razlika u vremenu reakcije između situacije sa distraktorima i neutralnih stimulusa. U sve tri situacije stimulacije je bila značajna razlika i u očekivanom smeru: za ACC $t(55.456) = -13.591$, $p < .001$, za IFG, $t(55.456) = -13.236$, $p < .001$, i lažnu stimulaciju $t(55.456) = -13.287$, $p < .001$. Ovaj rezultat ukazuje na to da je bilo opravdano koristiti diferencijalne skorove prosečnog RT u daljim analizama efekata tDCS na kontrolu distraktorske interferencije.

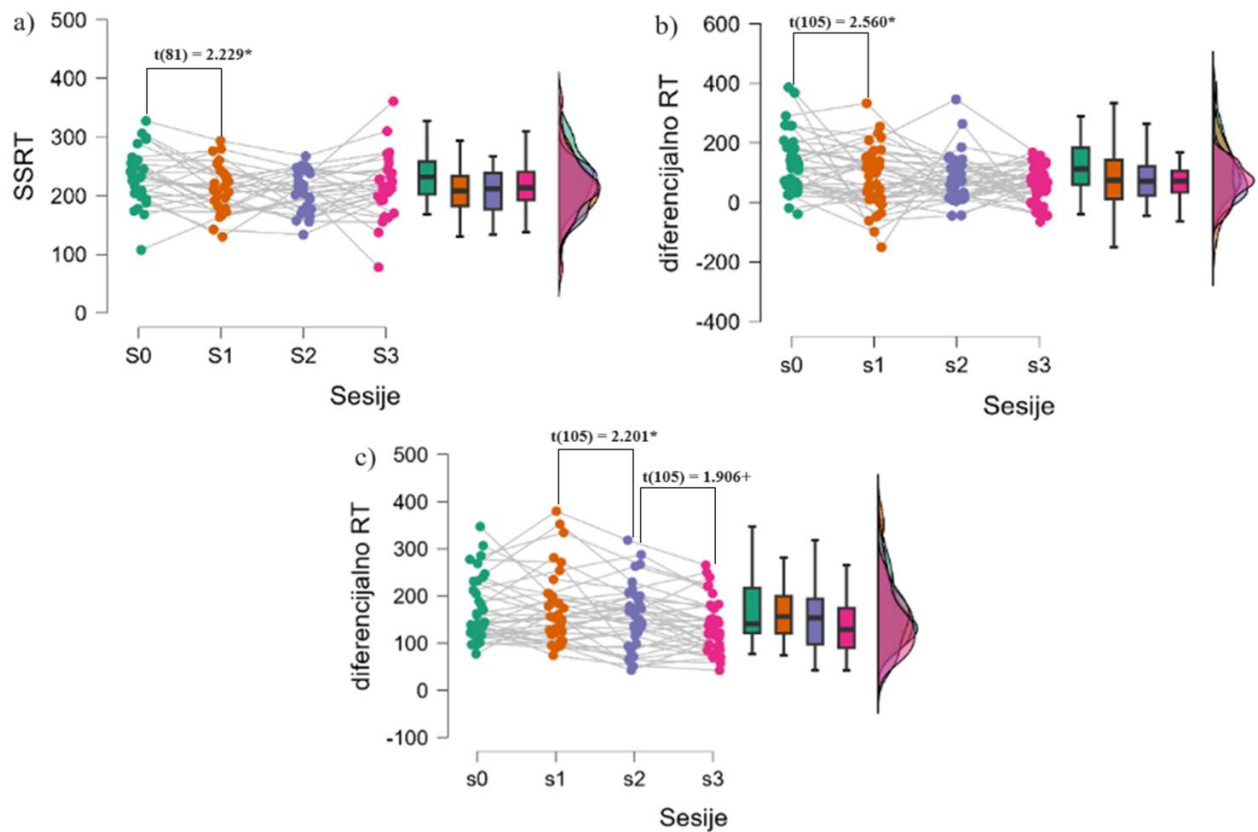
Validnost zadatka po merama tačnosti u okviru situacija stimulacije je takođe proverena *t* testovima za zavisne uzorke u okviru kojih su poređeni proseci proporcija tačnosti za neutralna i distraktorska izlaganja za svaku situaciju tDCS. Kod stimulacije ACC-a je dobijena razlika bila tačno na nivou značajnosti $t(104.273) = 1.961$, $p = .05$, dok je u situaciji stimulacije IFG-a $t(104.273) = 2.732$, $p < .01$ i lažne stimulacije $t(104.273) = 2.241$, $p < .01$ navedeni efekat bio statistički značajan, što ukazuje na to da su ispitanici u okviru svake situacije tDCS značajno tačniji bili na neutralnim izlaganjima u odnosu na ona sa distraktorima, što je i u skladu sa očekivanjima o težini dve kategorije izlaganja.

3.3.5 Efekti uvežbavanja na mere inhibitorne kontrole

U Tabeli 17 su prikazane mere deskriptivne statistike glavnih mera zadataka inhibicije podeljene po rednom broju sesije u eksperimentu. Sa svrhom detaljnijeg uvida u efekte uvežbavanja, u analizu su, za sve ispitanike dodati i skorovi iz prethodne studije, pre tDCS eksperimenta (sesija 0) koja je opisana u odeljku 2. Jedan od razloga zašto su isti ispitanici učestvovali u obe studije je bilo ujednačavanje familijarizacije sa zadacima pre samog eksperimenta, što bi neutralizovalo ili bar umanjilo potencijalne efekte uvežbavanja. U Tabeli 18 su prikazani rezultati analize varijanse sa ponovljenim merenjima kojom su analizirane razlike u postignuću po sesijama u okviru zadataka Stop-signal, Klasični Strup i Podudaranje oblika. Na Slici 28 je grafički prikaz efekata uvežbavanja na ovim zadacima, od sesije pre eksperimenta, do treće sesije u okviru eksperimenta.

Tabela 17. Deskriptivni statistici glavnih mera inhibitorne kontrole po rednom broju sesije

Zadatak	Sesija	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Maks</i>
Stop-signal	s0	226.678	47.008	107.375	327.313
	s1	206.337	39.425	130.031	293.563
	s2	200.662	37.858	131.156	267.063
	s3	205.165	64.446	19.219	360.625
Klasični Strup	s0	128.487	100.897	-38.833	386.512
	s1	80.922	104.598	-150.452	333.194
	s2	79.983	79.131	-44.460	346.34
	s3	64.729	61.227	-64.362	168.076
Podudaranje oblika	s0	170.851	67.662	77.371	347.035
	s1	173.440	75.765	74.179	379.724
	s2	153.613	68.793	42.565	318.231
	s3	136.450	57.023	42.285	265.227



Slika 28. Grafički prikaz efekata uvežbavanja na glavne mere inhibitorne kontrole. a) Efekti uvežbavanja na SSRT b) Efekti uvežbavanja na diferencijalni skor Strupovog zadatka; c) Efekti uvežbavanja na diferencijalni skor zadatka Podudaranja oblika

Uvidom u rezultate prikazane u Tabeli 18 se na osnovu značajnosti glavnih efekata rednog broja sesije može zaključiti da je do efekata uvežbavanja dolazilo u svakom od zadataka, kada se u obzir uzme učinak na sesiji 0, pre eksperimenta, kao i na preostale tri sesije, koje su činile integralni deo eksperimenta. Detaljnije, na osnovu rezultata planiranih kontrasta se može zaključiti da na učinak u Strupovom i Stop-signal zadatku samo u okviru eksperimentalnih sesija (bez sesije 0) nije bilo efekata uvežbavanja. Jedini napredak je ostvaren u odnosu na sesiju 0, tako da se time može uvideti da je u slučaju ova dva zadatka, prethodna izloženost uspešno neutralizovala efekte uvežbavanja u toku samog eksperimenta. Sa druge strane, kod zadatka Podudaranja oblika su dobijeni suprotni rezultati. Učinak u zadatku se nije popravio između sesije 0 i početne sesije u eksperimentu, a zatim se gradualno popravljao svakom sledećom sesijom, sa efektom marginalne značajnosti između učinka u sesiji 2 i sesiji 3. Bez obzira na ove rezultate, opravdano je tvrditi da značajan efekat uvežbavanja nije imao uticaj na testiranje efekata tDCS na postignuće u zadatku Podudaranja oblika, s obzirom na to da je redosled stimulacije bio kontrabalansiran.

Tabela 18. Efekti uvežbavanja na merama inhibitorne kontrole

Zadatak	Glavni efekti uvežbavanja				Planirani kontrasti	
	Mera	$F (df)$	p	η^2	Kontrast	$t (df)$
Stop-signal	SSRT	2.701 (3,81)	.051	.091	s0-s1	2.229* (81)
					s1-s2	0.419 (81)
					s2-s3	-0.984 (81)
Klasični Strup	diferencijalno RT	4.431 (3,105)	.006	.112	s0-s1	2.560* (105)
					s1-s2	0.051 (105)
					s2-s3	0.821 (105)
Podudaranje Oblika	diferencijalno RT	7.281 (3,105)	<.001	.172	s0-s1	-0.287 (105)
					s1-s2	2.201* (105)
					s2-s3	1.906 ⁺ (105)

*- $p < .05$; + - $p < .1$

Za procenu stabilnosti individualnih razlika u učinku u zadacima korišćenim u eksperimentu, od sesije 0 do sesije 3 izračunati su uprosečeni koeficijenti intarklasne korelacije (ICC) za finalne skorove korišćene u zadacima inhibitorne kontrole u okviru eksperimenta. Za SSRT je dobijen ICC .739, za Klasični Strupov zadatak .480, a za zadatak Podudaranja Oblika .879. Na osnovu dobijenih vrednosti ICC-a se može zaključiti da je stabilnost individualnih razlika u zadatku Stop-signal prihvatljiva, u zadatku Podudaranje oblika visoka, a u Strupovom zadatku niska.

3.3.6 Efekti tDCS na glavne mere inhibitorne kontrole

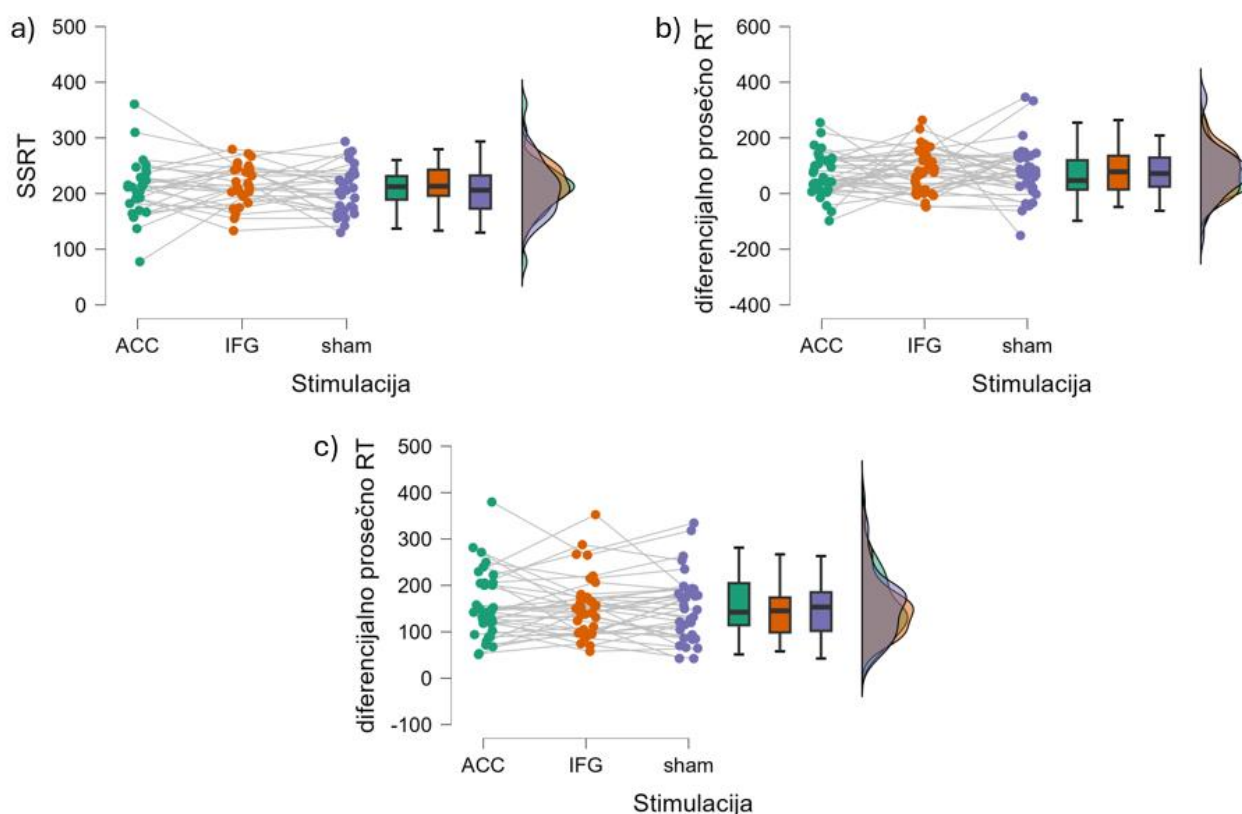
U Tabeli 19 su prikazane mere deskriptivne statistike za finalne skorove zadataka inhibicije . Tabela 20 sadrži rezultate analize varijanse za ponovljena merenja u vezi efekata tDCS na učinak u navedenim zadacima.

Tabela 19 Deskriptivni statistički pokazatelji učinka u zadacima inhibitorne kontrole po situacijama tDCS

Zadatak	tDCS	Mera	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Maks</i>
Stop-signal	ACC	SSRT	200.85	52.14	77.69	360.63
	IFG	SSRT	213.57	35.59	133.38	279.56
	sham	SSRT	206.56	41.83	130.03	293.56
Klasični Strup	ACC	dif RT	67.65	75.42	-97.83	255.07
	IFG	dif RT	80.17	78.09	-48.01	263.98
	sham	dif RT	77.82	96.15	-150.45	346.34
Podudaranje oblika	ACC	dif RT	157.04	72.01	51.10	379.72
	IFG	dif RT	152.93	65.4	57.70	352.48
	sham	dif RT	153.53	70.4	42.29	334.38

Dif RT – skor diferencijalnog prosečnog vremena reakcije, SSRT – Stop-signal vreme reakcije Min – Minimum; Maks – Maksimum

Na Slici 29 je grafički prikaz efekata stimulacije na SSRT i diferencijalne skorove RT, kao krajnje mere zadataka inhibitorne kontrole. Sa grafikona se može zaključiti da su efekti stimulacije na nivou pojedinačnih ispitanika poprilično varijabilni, kada se uporedi postignuće na zadacima inhibitorne kontrole u sesijama sa protokolima aktivne i lažne stimulacije. Naime, kod nekih ispitanika je postignuće bolje u situacijama aktivne stimulacije u odnosu na lažnu, kod drugih ispitanika je obrazac obrnut, tako što je postignuće na lažnoj stimulaciji bolje u odnosu na situacije aktivnih protokola. Takođe, kod određenog broja ispitanika izgleda kao da je postignuće bilo značajno bolje samo u jednoj od tri situacije. Pored pojave ovog nesistematskog variranja skorova između sesija, na osnovu vizuelne inspekcije grafikona i vrednosti aritmetičkih sredina prikazanih u Tabeli 19, može se pretpostaviti da se postignuće na glavnim merama zadataka inhibicije u proseku ne razlikuje između različitih situacija stimulacije. U Tabeli 20 su rezultati analize varijanse sa ponovljenim merenjima u okviru koje su statistički testirane razlike u postignuću u zadacima inhibitorne kontrole po situacijama stimulacije.



Slika 29. Grafički prikaz efekata stimulacije na glavne mere inhibitorne kontrole. a)Efekti na SSRT b)Efekti na diferencijalni skor u Strupovom zadatku. c) Efekti na diferencijalni skor u zadatku podudaranja oblika.

Pregledom rezultata iz Tabele 20 se može uvideti da na učinak nijednog od zadataka inhibitorne kontrole nisu dobijeni značajni efekti stimulacije. Takođe, planirani kontrasti nisu pokazali razliku u postignuću prilikom stimulacije ACC-a i lažne stimulacije na zadacima kontrole interferencije, niti razliku u inhibiciji odgovaranja prilikom stimulacije desnog IFG i lažne stimulacije

Tabela 20. Efekti tDCS na SSRT i diferencijalno prosečno RT

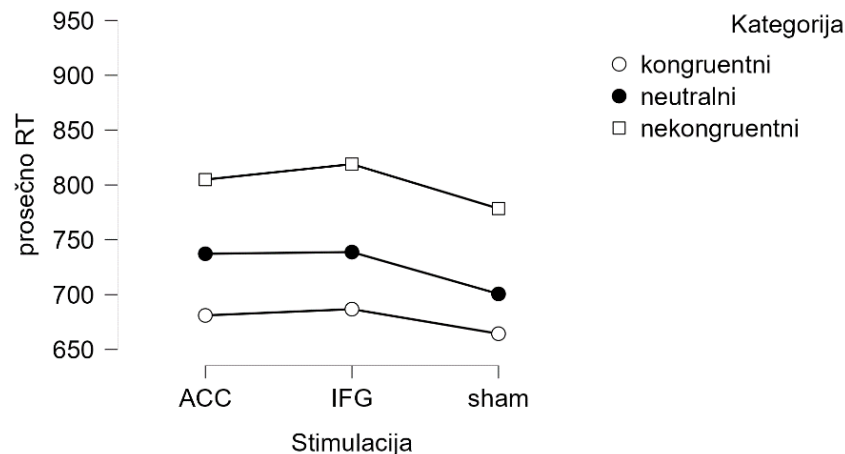
Zadatak	Mera	Glavni efekti tDCS			Planirani kontrasti	
		F (df)	p	η^2	Kontrast	t (df)
Stop-signal ¹⁸	SSRT	0.417 (2,54)	.661	.015	sham-acc sham-ifg	0.485 (54) 0.813 (54)
Klasični Strup	diferencijalno RT	0.287 (2, 70)	.752	.008	sham-acc sham-ifg	0.579 (70) -0.134 (70)
Podudaranje Oblika	diferencijalno RT	0.111 (2, 70)	.895	.003	sham-acc sham-ifg	0.372 (70) -0.064 (70)

3.3.7 Dodatne analize pojedinačnih kategorija stimulusa

U prethodnom odeljku je utvrđeno da nisu dobijeni značajni efekti na glavne mere inhibitorne kontrole, odnosno SSRT i diferencijalno prosečno RT. Međutim, po ugledu na značajan broj prethodnih istraživanja prikazanih u Tabeli 2, za zadatke kontrole interferencije su sprovedene analize efekata stimulacije i na prosečno RT i tačnost pojedinačnih kategorija stimulusa.

Strupov zadatak. U okviru analizen Strupovog zadatka, sprovedena je dvofaktorska 3x3 (KATEGORIJA*STIMULACIJA) ANOVA za ponovljena merenja sa prosečnim RT kao zavisnom varijablom. Dobijen je značajan glavni efekat faktora KATEGORIJA (kongruentni, neutralni, nekongruentni) sa Greenhouse-Geisser korekcijom značajnosti zbog neispunjenosti uslova sferičnosti $W(2) = 0.737, p < .01, F(1.584, 55.432) = 843.273, p < .001, \eta^2 = .331$ što ukazuje na jak efekat kategorije stimulusa u okviru Strupovog zadatka, nezavisno od eksperimentalne situacije, što je i u skladu sa prethodno prikazanim rezultatima o validnosti diferencijalnih skorova RT Strupovog zadatka u ovom istraživanju. Glavni efekat STIMULACIJE (ACC, IFG, sham) je dostigao trend nivo značajnosti, $F(2, 70) = 2.545, p = .086, \eta^2 = .027$. Ovaj efekat ukazuje na postojanje trenda razlikovanja brzine reagovanja u različitim situacijama stimulacije. Za detaljniji uvid u razlike u prosečnom RT u okviru različitih situacije stimulacije sprovedeni su planirani kontrasti koji su prikazani u sledećem paragrafu. Faktor interakcije KATEGORIJA*STIMULACIJA nije bio statistički značajan $F(4, 140) = 0.596, p = .666, \eta^2 = .002$ što ukazuje na to da nije bilo razlika u vremenu reagovanja na stimulse istih kategorija u različitim situacijama stimulacije. Na Slici 30 je grafički prikaz efekata stimulacije na RT različitih kategorija u okviru Strupovog zadatka.

¹⁸ S obzirom na to da je broj ispitanika koji su zbog neispunjenosti uslova isključeni iz analize nije bio zanemarljiv, potrebno je napomenuti da je za proveru efekata stimulacije na SSRT sprovedena analiza varijanse za ponovljena merenja na celom uzorku, i ti rezultati su prikazani u prilogu E. Nisu dobijeni značajni efekti ni na celom uzorku, bez obzira na ispunjenost uslova nezavisnog Horce-race modela.



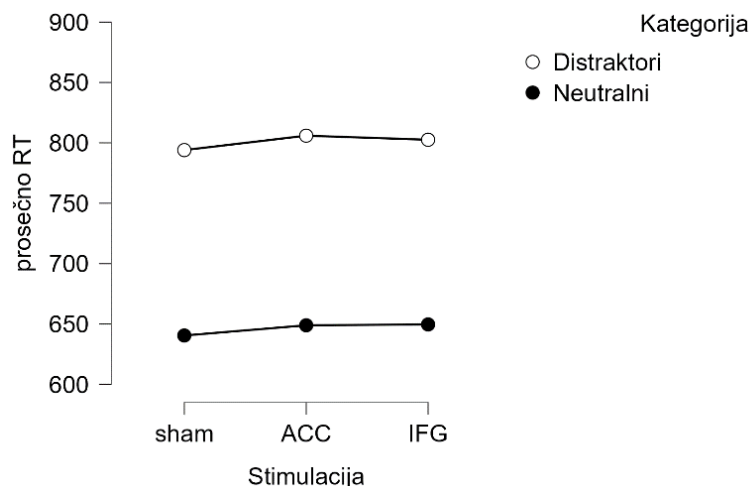
Slika 30. Grafički prikaz efekata tDCS na RT različitih kategorija stimulusa u okviru Strupovog zadatka.

Sa svrhom testiranja razlika u učinku u okviru pojedinačnih kategorija stimulusa između pojedinačnih situacija aktivne stimulacije, u poređenju sa situacijom lažne stimulacije, sprovedeni su planirani kontrasti. Kod kongruentnih stimulusa planirani kontrasti nisu bili značajni, kada je bio stimulisan ACC $t(121.016) = 0.911$, $p = .364$, a ni desni IFG, $t(121.016) = 1.22$, $p = .224$. Za neutralne stimuluse je dobijena značajna razlika kod oba poređenja, tako da je RT u odnosu na sham bio viši u slučaju stimulacije ACC, $t(121.016) = 1.997$, $p < .05$, kao i kada je stimulisan desni IFG, $t(121.016) = 2.082$, $p < .05$. Ovaj rezultat je pomalo neočekivan jer ukazuje na to da su ispitanici na stimuluse na kojima nema konflikta reagovali sporije u situacijama aktivne stimulacije u odnosu na lažnu. Takođe, u skladu sa ovim nalazom je dobijen i značajan efekat usporavanja RT na nekongruentnim stimulusima, nakon stimulacije IFG, u komparaciji sa učinkom na sham-u, $t(121.016) = 2.210$, $p < .05$, dok razlika između stimulacije ACC i lažne stimulacije nije dostigla statističku značajnost $t(121.016) = 1.442$, $p = .152$. I ovaj efekat usporavanja usled stimulacije je takođe neočekivan, pogotovo jer je dobijen na nekongruentnim stimulusima koji sadrže konflikt.

Po ugledu na opisane nalaze u vezi sa vremenom reakcije, sprovedena je i analiza varijanse 3×3 (KATEGORIJA $\times$ STIMULACIJA) na merama tačnosti. Rezultati ukazuju na značajan glavni efekat faktora kategorija, $F(1.488, 52.091) = 23.425$, $p < .001$, $\eta^2 = .195$ korigovano za sferičnost Greenhouse-Geisser korekcijom, $W(2) = 0.656$, $p < .001$. Ovaj efekat potvrđuje očekivani obrazac težine različitih kategorija stimulusa na merama tačnosti. Glavni efekat stimulacije nije bio značajan, $F(2, 70) = 1.033$, $p = .361$, $\eta^2 = .004$, dok je interakcija KATEGORIJA $\times$ STIMULACIJA imala efekat na nivou trenda, $F(3.193, 111.761) = 2.165$, $p = .092$, $\eta^2 = .021$, što ukazuje na to da se potencijalno neke kategorije stimulusa razlikuju po merama tačnosti u okviru različitih tipova stimulacije.

Stoga su sprovedeni su i planirani kontrasti komparacije tačnosti za svaku od kategorija stimulusa u kojima su poređene situacije aktivne stimulacije sa situacijom lažne stimulacije. Za kongruentne stimuluse nije bilo značajnog efekta stimulacije ACC $t(208.883) = -0.052$, $p = 1$, ni desnog IFG $t(208.883) = 0.502$, $p = .616$. Za neutralne stimuluse nije bilo značajnog efekta stimulacije ACC, $t(208.883) = 0.502$, $p = .616$, ali jeste stimulacije desnog IFG, koja je poboljšala tačnost u odnosu na lažnu stimulaciju, $t(208.883) = -2.222$, $p = .027$. Na RT nekongruentnih izlaganja takođe nije bilo značajnih efekata stimulacije ACC, $t(208.883) = 1.290$, $p = .198$, ni desnog IFG $t(208.883) = 1.290$, $p = .198$. Rezultati kontrasta prikazanih u ovom pasusu ukazuju na ???

Zadatak Podudaranja oblika. Slično kao i za Strupov zadatak, sprovedena je 2x3 (DISTRAKTOR*STIMULACIJA) analize varijanse sa ponovljenim merenjima, sa prosečnim RT kao zavisnom varijablom. Rezultati pokazuju značajan efekat faktora DISTRAKTORA, $F(1,35) = 229.796$, $p < .001$, $\eta^2 = .656$, što je i u skladu sa rezultatima o validnosti zadataka inhibitorne kontrole dobijenim u odeljku 3.3.4. Sa druge strane, nije dobijen značajan efekat faktora STIMULACIJA, $F(2,70) = 0.368$, $p = .693$, a ni efekta interakcije DISTRAKTOR*STIMULACIJA, $F(2,70) = 0.111$, $p = .895$. Ovi rezultati ukazuju da stimulacija generalno, a ni u kombinaciji sa kategorijom stimulusa, nije imala uticaja na vreme reakcije u ovom zadatku. Na Slici 31 je prikaz efekata distraktora i stimulacije na RT u okviru zadatka Podudaranja oblika.



Slika 31. Grafički prikaz efekata tDCS na

Prosečno RT postignuće na različitim kategorijama stimulusa u situacijama aktivne stimulacije poređeno je planiranim kontrastima sa učinkom u situaciji lažne stimulacije. Za neutralne stimuluse nije dobijena značajna razlika u poređenju učinka u situaciji lažne stimulacije sa učinkom u situaciji u kojoj je stimulisan ACC, $t(88.366) = 0.614$, $p = .541$, niti kada je stimulisan desni IFG, $t(88.366) = 0.667$, $p = .506$. Značajni efekti nisu dobijeni ni za stimuluse sa distraktorima, $t(88.366) = 0.869$, $p = .387$ za ACC, kao i kada je bio stimulisan desni IFG $t(88.366) = 0.623$, $p = .535$. Ovi rezultati su u skladu sa rezultatima opisanim u prethodnom pasusu, s obzirom na to da nije dobijen značajan efekat interakcije DISTRAKTOR*STIMULACIJA.

Iste analize su sprovedene na merama tačnosti. Rezultati analize varijanse sa ponovljenim merenjima 2x3 ukazuju na bolji učinak u situaciji bez distraktora, sa statistički značajnim glavnim efektom DISTRAKTORA, $F(1,35) = 14.334$, $p < .001$, $\eta^2 = .083$. Ovaj efekat ukazuje na veću težinu kategorije stimulusa sa distraktorom u odnosu na neutralna izlaganja, što je i u skladu sa rezultatima o validnosti zadatka u okviru različitih tipova stimulacije. Glavni efekat faktora STIMULACIJA nije bio statistički značajan $F(2,70) = 0.563$, $p = .572$, $\eta^2 = .006$, niti interakcija DISTRAKTOR*STIMULACIJA, $F(1.616,56.564) = 0.162$, $p = .806$, $\eta^2 = .002$, dobijeno Greenhouse-Geisser korekcijom zbog prekršene pretpostavke o sferičnosti podataka, $W(2) = 0.762$, $p < .01$.

Sprovedeni su i planirani kontrasti za poređenje tačnosti odgovaranja prilikom situacija aktivne stimulacije sa tačnošću nakon lažne stimulacije, u okviru odgovora na stimuluse iste kategorije. Nisu dobijeni značajne razlike za neutralne stimuluse kada je stimulisan ACC, $t(139.885) = -.640$, $p = .523$ i desni IFG, $t(139.885) = -.498$, $p = .619$, niti za stimuluse sa distraktorom, kada je stimulisan ACC $t(139.885) = -.356$, $p = .723$ i desni IFG, $t(139.885) = -.0996$, $p = .321$, što je očekivano, s obzirom na to da je značajnost interakcije distraktora i stimulacije izostala.

3.3.8 Efekti tDCS na globalno vreme reakcije

Osim efekata na glavne mere inhibitorne kontrole, provereni su efekti tDCS na agregirane mere prosečnog vremena reakcije u okviru celih zadataka, nezavisno od tipa izlaganja, osim kod Stop-signal zadatka, gde je skor dobijen uprosečavanjem RT mera za tačne odgovore na „go“ izlaganjima, s obzirom na to da učinak na „go“ izlaganjima, predstavlja meru izbornog RT, analogno agregiranim prosecima u okviru zadataka kontrole interferencije. Pregledom Tabele 21 se može utvrditi da nije bilo značajnih efekata tDCS na agregirano RT u zadacima Stop-signal i Podudaranje oblika. Dobijen je značajan efekat stimulacije na brzinu vremena reakcije u okviru Strupovog zadatka, i planirani kontrasti u kojima su situacije aktivne stimulacije poređene sa situacijom lažne stimulacije ukazuju na značajno sporije vreme reakcije u situaciji stimulacije IFG, u odnosu na sham, i marginalno značajan efekat sporijeg vremena reakcije u situaciji ACC stimulacije.

Tabela 21 Prikaz efekata tDCS na globalno vreme reakcije zadataka inhibitorne kontrole

Zadatak	tDCS	M	SD	Glavni efekti tDCS			Planirani kontrasti	
				F (df)	p	η^2	Kontrast	t (df)
Stop-signal („go“ RT)	ACC	211.07	52.43					
	IFG	214.99	36.42	0.417 (2,54)	.661	0.015	sham-acc	0.354 (54)
	sham	206.63	42.81				sham-ifg	-1.337 (54)
Klasični Strup	ACC	741.59	134.21					
	IFG	747.93	134.21	2.857 (2,70)	.082 ⁺	0.069	sham-acc	-1.734 ⁺ (70)
	sham	714.62	129.08				sham-ifg	-2.142* (70)
Podudaranje Oblika	ACC	726.86	95.97					
	IFG	725.06	111.62	0.358 (2,70)	.701	0.003	sham-acc	-0.792 (70)
	sham	716.6	120.75				sham-ifg	-0.653 (70)

3.3.9 Efekti na kontrolni zadatak implicitnog motornog učenja

Efekti stimulacije na kontrolni zadatak serijskog vremena reakcije su testirani primarno na ishodišnu meru implicitnog motornog učenja koja je diferencijalni skor i dobija se oduzimanjem prosečnog RT u situaciji 4. bloka učenog obrasca od prosečnog RT u 2. bloku slučajnog obrasca. Drugi skor koji je analiziran je prosečno RT u 2. bloku slučajnog obrasca stimulusa i ovaj skor predstavlja meru izbornog RT. Rezultati analize varijanse za ponovljena merenja pokazuju da nisu dobijeni statistički značajni efekti tDCS na implicitno učenje, $F(2,70) = 0.540$, $p = .585$, niti na skor prostog izbornog RT: $F(2,70) = 0.340$, $p = .713$. U Tabeli 22 su prikazane deskriptivni statistički pokazatelji navedenih skorova u ovom zadatku, po različitim nivoima tDCS. Skorovi na ovom zadatku su imali status kontrolnih mera u ovom istraživanju, pa su dobijeni rezultati u skladu sa očekivanjima jer stimulacija navedenih regija ni ne bi trebalo da ima uticaja na postignuće koje se ogleda primarno u motornom funkcionisanju i bez procesa vezanih za inhibitornu kontrolu. Stoga, testiranje efekata tDCS na postignuće u ovom zadatku bi imalo dodatnu vrednost u slučaju da su dobijeni značajni efekti

stimulacije na glavne mere inhibitorne kontrole jer bi onda ukazivali na specifičnost efekata stimulacije na funkcije inhibicije. Međutim, s obzirom na to da su efekti stimulacije na inhibitornu kontrolu izostali, rezultati u vezi sa kontrolnim zadatkom implicitnog motornog učenja nisu informativni.

Tabela 22. Deskriptivni statistički pokazatelji učinka u kontrolnom zadatku serijskog vremena reakcije po situacijama stimulacije

tDCS	mera	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Maks</i>
ACC	učenje	110.36	71.36	-6.06	267.41
IFG	učenje	107.73	80.98	-13.56	309.52
sham	učenje	95.03	79.95	-56.75	307.43
ACC	izborno RT	412.46	56.49	309.56	549.09
ifg	izborno RT	414.04	60.15	315.63	633.73
sham	izborno RT	405.37	59.83	283.08	543.67

3.3.10 Efekti na učinak u zadacima u toku stimulacije

U tabeli 23 su prikazani deskriptivni statistički pokazatelji po situacijama stimulacije za zadatak Kreni-Stani i Flanker zadatak sa strelicama. Tabela 24 sadrži rezultate analize varijanse za ponovljena merenja kojom su testirani efekti tDCS na mere inhibitorne kontrole u okviru zadataka koji su izvršeni u toku stimulacije.

Tabela 23 Deskriptivni statistički pokazatelji zadataka u toku stimulacije po tipovima tDCS

Zadatak	Mera	ACC		IFG		sham	
		<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Kreni-Stani	tačnost	0.94	0.07	0.92	0.08	0.92	0.10
Kreni-Stani	"go" RT	337.68	32.38	335.80	42.75	327.84	38.69
Kreni-Stani	IES	362.39	39.03	366.38	46.71	358.75	40.81
Flanker	dif RT	33.53	18.15	30.59	27.19	36.64	25.16
Flanker	kongruentni RT	413.97	35.87	417.90	44.37	414.50	36.10
Flanker	neutralni RT	407.45	30.68	411.92	49.43	406.45	34.18
Flanker	nekompatibilni RT	484.13	40.94	488.15	53.69	485.16	48.34
Flanker	Odg-neutralni RT	440.98	38.00	442.51	41.82	443.10	52.48
Flanker	kongruentni T	0.99	0.02	0.99	0.02	0.99	0.02
Flanker	neutralni T	0.99	0.02	0.99	0.02	0.99	0.02
Flanker	nekompatibilni T	0.95	0.06	0.93	0.07	0.93	0.07
Flanker	odg-neutralni T	0.98	0.03	0.98	0.03	0.97	0.05

Legenda: T – tačnost; RT – vreme reakcije; odg-neutralni – odgovor-neutralni

Rezultati prikazani u Tabeli 24 ukazuju da nije bilo značajnog efekta tDCS na učinak u Flanker zadatku, kao i na mere tačnosti, odnosno IES skor u okviru zadatka Kreni-stani. Međutim, dobijen je mali značajan efekat na RT u „go“ izlaganjima zadatka Kreni-stani. Planirani kontrasti neočekivano upućuju na značajno usporavanje u situaciji stimulacije ACC u odnosu na vreme reakcije pri lažnoj stimulaciji, $t(70) = 2.385$, $p < .05$, dok je razlika između stimulacije IFG i lažne stimulacije bila na marginalnom nivou značajnosti $t(70) = 1.930$, $p = .058$.

Tabela 24. Glavni efekti tDCS na skorove u zadacima u toku stimulacije

Zadatak	Mera	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2
Kreni-stani	Tačnost „no-go“	1.736	.259	.038
Kreni-stani	“go” RT	3.206	.047	.084
Kreni-stani	IES	1.135	.327	.031
Flanker strelice	dif RT	1.381	.469	.019

Takođe, sprovedene su dve 2x4 analize varijanse sa ponovljenim merenjima, u vezi sa efektima kategorije stimulusa i tipa stimulacije na mere vremena reakcije i tačnosti. Rezultati su pokazali značajan glavni efekat kategorije stimulusa na prosečno RT, $F(3, 2) = 379.633$, $p < .001$, $\eta^2 = .661$ i tačnost $F(3,1.3) = 32.070$, $p < .001$, $\eta^2 = .316$ ali i statistički neznačajne efekte tDCS na prosečno RT, $F(2, 1.905) = 0.406$, $p = .668$ i tačnost $F(2, 1.8) = 1.062$, $p = .351$. Ni interakcija dva faktora (KATEGORIJE*STIMULACIJA) nije dostigla statističku značajnost niti na prosečnom RT $F(6, 3.9) = 0.295$, $p = .877$, niti na merama tačnosti $F(6,3.46) = 1.351$, $p = .259$. S obzirom na to da se radi o zadacima koje su ispitanici izvršavali u toku stimulacije, sa ciljem dodatnog angažovanja regiona zahvaćenih stimulacijom, dobijeni efekti koji nisu dostigli statističku značajnost ukazuju na to da su ispitanici kroz različite situacije stimulacije imali ujednačenu kognitivnu aktivnost.

Sprovedeni su i planirani kontrasti u okviru kojih je poređeno postignuće na svim pojedinačnim kategorijama u toku situacija aktivnih stimulacija sa postignućem u toku lažne stimulacije. Na merama prosečnog RT nije dobijen nijedan značajan planiran kontrast, dok je na merama tačnosti dobijena značajna razlika samo između postignuća na nekompatibilnim stimulusima, ukazujući da je tačnost bila veća u toku stimulacije ACC-a u poređenju sa tačnošću u toku lažne stimulacije $t(260.756) = 2.304$, $p < .05$. Kompletni rezultati planiranih kontrasta za RT i tačnost u okviru Flanker zadatka se mogu detaljnije videti u Prilogu F.

3.3.11 Efekti tDCS na inhibitornu kontrolu – korekcija za početni učinak

Učinak u zadacima u okviru prve studije, opisane u poglavlju 2 se kod ispitanika koji su regrutovani u eksperimentu može upotrebiti kao mera početnog nivoa učinka (engl. *baseline*). Skorovi ispitanika u zadacima tokom eksperimenta se mogu korigovati za početni učinak tako što se prosto od skora svake situacije stimulacije u eksperimentu oduzme skor sesije 0. Kako nisu dobijeni značajni efekti tDCS na glavne skorove inhibitorne kontrole u okviru eksperimenta (SSRT i diferencijalni skor prosečnog RT), ovi efekti su testirani na skorovima zadataka koji su korigovani za početni učinak.

Rezultati analize varijanse za ponovljena merenja nisu pokazali značajan efekat stimulacije na SSRT korigovano za početni učinak $F(2,64) = 0.749$, $p = .477$, na diferencijalni skor Strupovog zadatka $F(2,70) = 0.287$, $p = .752$, niti na diferencijalni skor u zadatku Podudaranja Oblika $F(2,70) = 0.11$, $p = .895$. Konačno, može se zaključiti da korekcijom za početni učinak nisu dobijeni drugačiji rezultati u vezi sa efektima tDCS na glavne mere inhibitorne kontrole.

4 DISKUSIJA

Glavni cilj ovog rada je bilo ispitivanje razjedinjenosti nasuprot jedinstvenosti različitih aspekata inhibitorne kontrole kako na psihometrijskom tako i na neuralnom planu. Diskusija ovog rada je takođe organizovana po specifičnim ciljevima, tako da će prvo biti diskutovani rezultati u vezi sa dobijenom psihometrijskom strukturom funkcija inhibicije. Zatim će se diskutovati o potencijalu disocijativnog egzogenog uticaja, neuromodulacijom, na različite pretpostavljene funkcije dobijene modelom latentnih varijabli.

4.1 Struktura funkcija inhibitorne kontrole

Iz literature se može uvideti da je inhibitorna kontrola multidimenzionalnog karaktera u pogledu funkcija koje se mogu svrstati pod krovni termin egzekutivna funkcija inhibicije. Za inhibiciju postoji više definicija (Nigg, 2017), i stoga ona obuhvata više različitih procesa i konceptualizuje se kao porodica funkcija (Harnishfeger, 1995). U ovom radu je fokus na inhibiciji kao svesnom procesu suzbijanja i zaustavljanja automatizovanih i/ili dominantnih reakcija i odgovora.

U prethodnim studijama su testirani različiti modeli i osvrtno na rezultate više istraživanja se može izdvojiti inhibicija odgovaranja – funkcija kojom se zaustavlja davanje bilo kakvog odgovora i kontrola interferencije – funkcija koja se koristi kada treba dati tačan odgovor uprkos interferenciji koja se može biti iz različitog izvora. Interferencija može poticati od irelevantnih, distraktorskih karakteristika stimulusa, kada postoji SS konflikt, ili od netačnog, a automatizovanog i dominantnog odgovora, u kom slučaju postoji SR konflikt. Distinkcija između inhibicije odgovaranja i kontrole distraktorske interferencije je empirijski potvrđena kroz više studija (Bender et al., 2016; Friedman & Miyake, 2004; Gartner & Strobel, 2020; Stahl et al., 2014; Tiego et al., 2018), dok je status kontrole interferencije odgovora nejasan s obzirom da se mere ove pretpostavljene funkcije nekada koriste kao indikatori inhibicije odgovaranja, a nekada, zajedno sa merama kontrole distraktorske interferencije, kao indikatori generalne kontrole interferencije (Bender et al., 2016; Friedman & Miyake, 2004; Gartner & Strobel, 2020; Pettigrew & Martin, 2014; Rey-Mermet et al., 2018; Unsworth & Spillers, 2010). U ovom radu je, zadavanjem široke baterije od 10 zadataka inhibitorne kontrole, koji se u literaturi navode kao neke od najčešće upotrebljivanih paradigmi za merenje ova tri tipa inhibicije, ispitana struktura funkcija inhibitorne kontrole. Pretpostavljeno je da će mere kontrole interferencije konvergirati u jednu, opštu dimenziju kontrole interferencije konflikta (H1), kao i da će biti jasna distinkcija između te dimenzije i inhibicije odgovaranja (H2).

Uopšteno, dobijene korelacije između zadataka su niske ili ispod nivoa statističke značajnosti, pogotovo kod mera kontrole interferencije, kod kojih su opservirane nulte korelacije čak i između indikatora iste pretpostavljene funkcije inhibicije. Za razliku od njih, mere inhibicije odgovaranja su sve međusobno korelirale značajno. Ovako nizak ili nulti intenzitet korelacija nije sasvim neočekivan nalaz, s obzirom na to da je u više istraživanja dobijen sličan rezultat (Rey-Mermet et al., 2018). Jedno od objašnjenja u vezi sa niskim korelacijama između pojedinačnih mera inhibitorne kontrole je nečistoća zadataka, problem koji se dovodi u vezu sa većinom mera egzekutivnih funkcija i koji se odnosi na to da značajan procenat varijanse učinka u zadacima inhibicije biva objašnjen karakteristikama specifičnim za izvršavanje konkretnog zadatka. Na taj način, korišćenje mera inhibitorne kontrole na osnovu pojedinačnih zadataka povećava verovatnoću da data mera bude nereprezentativna. Neki autori (MacLeod

et al., 2003) idu korak dalje sa ovim tumačenjima, navodeći kako diferencijalni skorovi u zadacima kontrole interferencije ne predstavljaju meru inhibicije, već meru podložnosti interferenciji koja se specifično javlja u okviru korišćenog zadatka. Jedan od načina da se problem nečistoće zadataka preovlada jeste zadavanje većeg broja zadataka, koji mere pretpostavljenu funkciju i analiza njihove zajedničke varijanse koja se može izdvojiti kao latentna dimenzija pretpostavljene funkcije. Ovakav pristup i upotreba metoda analize latentnih varijabli (konfirmatorna faktorska analiza i modeliranje strukturalnih jednačina) je od rada Miyakija i saradnika (2000) postao standard u istraživanjima individualnih razlika u domenu egzekutivnih funkcija, samim tim i inhibitorne kontrole. Stoga, u ovom istraživanju je primenjena konfirmatorna faktorska analiza sa ciljem ispitivanja strukture, odnosno konvergencije naspram razjedinjenosti različitih funkcija inhibitorne kontrole. Međutim, uprkos svemu navedenom, korelacije dobijene u rezultatima ovog rada su niže nego što je očekivano, s obzirom na to da bi trebalo da, pored specifične varijanse vezane za konkretni zadatak, manifestuju i određeni stepen zajedničke varijanse.

Model koji je najbolje fitovao podacima je trofaktorski model, sa faktorima inhibicije odgovaranja, kontrole distraktorske interferencije i kontrole interferencije odgovora. Ipak, usled niskih korelacija između pojedinačnih zadataka, indeksi fita modela koji je najbolje fitovao nisu bili idealni, stoga zaključke i tumačenja na osnovu ove analize treba donositi sa dozom rezerve. Na osnovu tih rezultata se može zaključiti da H1 o konvergenciji kontrole distraktorske interferencije i kontrole interferencije odgovora u opšti faktor kontrole interferencije konflikta nije potvrđena. Ovi rezultati nisu u skladu sa relevantnom empirijskom građom koja visokim korelacijama između latentnih dimenzija (Friedman & Miyake, 2004; Pettigrew & Martin, 2014) ili adekvatnim zasićenjima mera oba tipa kontrole interferencije na jednom faktoru (Unsworth et al., 2020) ukazuje na jedinstvenost opšte kontrole interferencije. Međutim, postoje i nalazi (Stahl et al., 2014) u skladu sa rezultatima dobijenim u ovom radu, koji ukazuju na razdvojenost kontrole interferencije SS i SR konflikta. Takođe, dobijeni trofaktorski model ukazuje na to da je druga hipoteza o razdvojenosti inhibicije odgovaranja i kontrole interferencije potvrđena, s obzirom na to da je dobijena latentna dimenzija inhibicije odgovaranja bila nezavisna i bez značajne povezanosti sa druga dva faktora kontrole interferencije. Ovi rezultati su u skladu sa dobijenim modelima iz nekih od prethodnih istraživanja (Bender et al., 2016; Gartner & Strobel, 2020; Stahl et al., 2014; Tiego et al., 2018) u kojima je latentna dimenzija inhibicija odgovaranja bila nezavisna od drugih funkcija inhibitorne kontrole, ali su nekonzistentni sa drugim modelima u okviru kojih se mere inhibicije odgovaranja zasićuju na istom faktoru kao i mere kontrole interferencije odgovora i konvergiraju u jednu funkciju (Friedman & Miyake, 2004; Unsworth et al., 2020).

Dobijene korelacije između faktora su iznenađujuće niske, faktor kontrole distraktorske interferencije nije ostvario značajne korelacije ni sa jednim faktorom, dok je najveća, ali statistički marginalno značajna korelacija bila između inhibicije odgovaranja i kontrole interferencije odgovora. U prethodnim istraživanjima su dobijane više korelacije između pretpostavljenih faktora inhibicije dominantnih odgovora i kontrole distraktorske interferencije (Gartner & Strobel, 2020; Rey-Mermet et al., 2018), a ova povezanost je u još nekim prethodnim istraživanjima bila još jača, pa autori iznose tumačenje ovih nalaza kao konvergenciju ovih funkcija inhibicije u jedan opštiji faktor interferencije odgovora i distraktora (Friedman & Miyake, 2004; Pettigrew & Martin, 2014). Treba napomenuti da se u ovim istraživanjima inhibicija odgovaranja nije konceptualizovala kao nezavisna funkcija inhibitorne kontrole pa je npr. zadatak Stop-Signal zajedno sa Strupovim zadatkom merio pretpostavljeni faktor inhibicije dominantnih odgovora. Ipak, slično nalazu dobijenom u ovom istraživanju, postoje i nalazi o niskim korelacijama između dva navedena faktora (Stahl et al., 2014), ili između inhibicije odgovaranja i selekcije odgovora (Bender et al., 2016), ali i o

njenom odsustvu, kada se kontroliše varijansa koju dve funkcije inhibitorne kontrole dele sa kapacitetom radne memorije (Tiego et al., 2018).

Stoga, dobijeni trofaktorski model koji je najbolje fitovao podacima je neočekivan nalaz, s obzirom na to da se u većini prethodnih istraživanja dobijala dva relativno visoko povezana faktora za koje se, na osnovu zadataka koji su imali zasićenja na njima, može reći da predstavljaju dimenzije kontrole distraktorske interferencije i inhibicije dominantnih odgovora (Bender et al., 2016; Friedman & Miyake, 2004; Gartner & Strobel, 2020; Pettigrew & Martin, 2014; Tiego et al., 2018). U svim navedenim studijama su se u okviru biranja mera inhibicije dominantnih odgovora pomešano koristili zadaci inhibicije odgovaranja i kontrole interferencije odgovora. Jedina studija koja je uzela u obzir potencijalnu razliku između ove dve funkcije (Stahl et al., 2014) je ujedno i jedina u kojoj je dobijena trofaktorska struktura, što je u skladu sa nalazom o strukturi funkcija inhibicije dobijenim u ovom istraživanju.

4.1.1 Inhibicija odgovaranja

Od tri faktora koji su dobijeni u rezultatima konfirmatorne faktorske analize, inhibicija odgovaranja se, u pogledu svojih indikatora, može izdvojiti kao najrobusnija latentna dimenzija. U okviru ovog tipa inhibicije su svi zadaci međusobno značajno korelirali i sva zasićenja su bila umerena do visoka, za razliku od druge dve dobijene latentne dimenzije, gde neke korelacije nisu bile statistički značajne. Obe verzije Stop-signal zadatka su se istakle kao podjednako dobar indikator inhibicije odgovaranja, sa visokim zasićenjima, dok su zadaci Kreni-stani i SEM SART imali nešto niža zasićenja.

Značajno je napomenuti da se u prethodnim istraživanjima zadatak Kreni-stani nije bio toliko često korišćen kao mera inhibicije odgovaranja, osim u nekoliko studija (Stahl et al., 2014; Tiego et al., 2018, McVay & Kane, 2012), i u tim istraživanjima se kao glavna mera ovog tipa zadatka koristila tačnost na „No-Go“ izlaganjima, ili standardna devijacija vremena reakcije „go“ izlaganja, sa pretpostavkom da manja varijabilnost „go“ u vremenu reakcije reflektuje veću sposobnost inhibicije odgovaranja. Jedan od razloga manje zastupljenosti ovog tipa zadatka u drugim modelima jeste mala varijansa skorova i visoki procenat tačnosti. Slično je dobijeno i u rezultatima ovog rada, stoga je, kao finalni skor zadataka Kreni-stani i semantičkog SART zadatka korišćeno prosečno „go“ vreme reakcije korigovano za tačnost, u vidu IES skora, što je novina u odnosu na druga istraživanja koja su se bavila individualnim razlikama u inhibitornoj kontroli. Uopšteno, IES skorovi nisu korišćeni u prethodnim istraživanjima, osim u jednoj studiji, u kojoj nisu zadavani zadaci tipa Kreni-stani (Gartner & Strobel, 2020) već je IES metod skorovanja primenjen na drugim zadacima inhibicije. S obzirom na to da se i pri računanju SSRT, uzima u obzir kako vreme reakcije, tako i tačnost, odnosno $p(\text{odgovor}|\text{signal})$, skorovi svih zadataka u okviru ovog faktora su relativno podjednako bili proizvod i brzine i tačnosti.

Sa druge strane, zadatak koji se u većini modela iz drugih istraživanja, koristio za merenje inhibicije dominantnih odgovora i inhibicije odgovaranja, ali ne i u ovom radu, jeste zadatak Antisakada. Zasićenja učinka u zadatku Antisakada na faktorima inhibicije dominantnih odgovora ili inhibicije odgovaranja su u prethodnim istraživanjima bila visoka, a u nekim slučajevima i najviša u poređenju sa ostalim zadacima (Miyake et al., 2000; Friedman & Miyake, 2004; Shipstead et al., 2014; Unsworth & McMillan, 2014; Unsworth, 2015). Iako baterija zadataka koja je zadavana u ovom istraživanju nije sadržala zadatak Antisakada, dobijene korelacije i zasićenja mera inhibicije odgovaranja u ovom radu su bile zadovoljavajuće. Međutim, ne može se isključiti mogućnost da je usled drugačijeg sadržaja faktora inhibicije odgovaranja u poređenju sa ranijim istraživanjima, u ovom istraživanju

dobijena niža korelacija faktora inhibicije odgovaranja sa drugim latentnim varijablama u modelu. Ipak, s obzirom na to da su za merenje ove funkcije korišćena četiri zadatka, može se pretpostaviti da oni adekvatno reprezentuju inhibiciju odgovaranja i da dodavanje zadatka Antisakada u bateriju ne bi značajno uticalo na rezultate.

Za dodatno razumevanje procesa u okviru inhibicije odgovaranja, potrebno je istaći i distinkciju između proaktivne i reaktivne inhibicije. Reaktivna inhibicija predstavlja zaustavljanje koje je prouzrokovano nekim eksternim stimulusom i kao takva odgovara procesima koji su mereni u okviru zadataka inhibicije odgovaranja u ovom radu – SSRT i $p(\text{odgovor}|\text{signal})$ su mere reaktivne inhibicije. Proaktivna inhibicija, za razliku od reaktivne se javlja u toku zadataka, u zavisnosti od očekivanja ispitanika o budućem javljanju Stop-signala, i može se ispoljavati kroz usporavanje „go“ RT-a, ili njegovim modifikovanjem i usporavanjem usled promene strategije odgovaranja nakon grešaka na stop izlaganjima. U nekim istraživanjima (Verbruggen & Logan, 2009) je Stop-signal zadatak dizajniran tako da se u određenim blokovima ili izlaganjima ispitaniku unapred da informacija o tome da li će biti stop izlaganja, čime se odvajaju mere proaktivne i reaktivne inhibicije odgovaranja. S obzirom na standardni dizajn Stop-signal zadataka, i ostalih zadataka koji mere inhibiciju odgovaranja, može se zaključiti da u prethodnim istraživanjima u kojima je iz perspektive individualnih razlika ispitivana struktura funkcija inhibitorne kontrole, a i u ovom radu nije uzet u obzir potencijalno mešanje procesa proaktivne i reaktivne inhibicije odgovaranja.

4.1.2 Kontrola distraktorske interferencije

Dobijeni faktor kontrole distraktorske interferencije je, na osnovu dobijenih zasićenja i niskih korelacija između zadataka, manje robustan u odnosu na inhibiciju odgovaranja. Jedan od čestih problema u istraživanjima u kojima se sprovodi analiza latentnih varijabli na korelacijama zadataka inhibicije, pogotovo onih kod kojih se skor izražava diferencijalnim prosečnim RT, jeste pojava da, usled niskih interkorelacija, jedan zadatak ima dominantno najviše zasićenje na pretpostavljenoj latentnoj dimenziji u odnosu na druge (Rey-Mermet et al., 2018). U ovom istraživanju je u okviru faktora kontrole distraktorske interferencije Flanker zadatak sa strelicama jedini značajno korelirao sa obe preostale mere u odnosu na preostala dva zadatka u okviru funkcije, pa je posledično dobijeno i dominantno visoko zasićenje ovog zadatka.

U poređenju sa drugim istraživanjima u kojima je ekstrahovan faktor kontrole distraktorske interferencije, sadržinski nije bilo značajnih odstupanja u pogledu zadataka koji su u ovom radu zadavani za merenje navedene funkcije inhibitorne kontrole. Uopšteno, zadaci kojima se meri kontrola distraktorske interferencije su u većini slučajeva sadržinske modifikacije Eriksen Flanker zadatka (npr. sa strelicama) i zadatka Podudaranja oblika (npr. Strupovo podudaranje). Treći tip zadatka koji se relativno često, ali ređe od navedena dva koristi je zadatak imenovanja reči, u okviru kojeg ispitanici treba naglas da imenuju reč koja je npr. prikazana jednom bojom, a da, u situaciji sa distraktorima ignorišu drugu reč iste dužine koja je napisana drugom bojom iznad ili ispod reči „mete“. U nekim istraživanjima su faktori sadržinski izbalansirani po zadacima, tako da su sva tri tipa zadatka podjednako zastupljena (Friedman & Miyake, 2004; Gartner & Strobel, 2020), dok se u nekim koriste samo zadaci podudaranja (Stahl et al., 2014) ili razne modifikacije Flanker zadatka (Kane et al., 2016). U jednom modelu su korišćene dve verzije Flanker zadatka, sa dodatim numeričkim Strupovim zadatkom (Gartner & Strobel, 2020), koji je u tom modelu imao najviše zasićenje na dimenziji kontrole distraktorske interferencije, a po svojoj strukturi i instrukcijama navodi na zaključak da meri kontrolu

interferencije odgovora¹⁹. U najvećem broju slučajeva je u navedenim istraživanjima zadatak Podudaranja oblika imao najviše zasićenje na latentnoj dimenziji kontrole distraktorske interferencije. Iako je sadržaj ovog faktora relativno heterogen kroz različite studije, nije moguće pronaći neku sistematsku i nedvosmislenu vezu između varijacija u sadržaju faktora u različitim studijama i dobijenih korelacija sa drugim latentnim dimenzijama. U ovom radu su korišćene dve verzije flanker zadatka i jedan zadatak podudaranja oblika, ali se na osnovu zasićenja i interkorelacija može zaključiti da ova podela nije imala specifičnog uticaja na korelacije kontrole distraktorske interferencije sa drugim dobijenim funkcijama inhibitorne kontrole.

Međutim, značajno je istaći način skorovanja Flanker zadataka u prethodnim istraživanjima i uporediti ga sa onim koji je primenjen u ovom radu. Naime, u značajnom broju istraživanja (Friedman & Miyake, 2004; Gartner & Strobel, 2020; Rey-Mermet et al., 2018), flanker efekat se računa oduzimanjem prosečnog RT neutralne situacije od prosečnog RT odgovor-nekompatibilne situacije. Time je finalni skor reflektovan mešavinom SS i SR konflikta po Kornblumovoj taksonomiji (Kornblum et al., 1990; Paap et al., 2020). Po ugledu na autore (Tiego et al., 2018), u ovom radu su u okviru flanker zadataka konstruisane odgovor-neutralne situacije, u kojima je otklonjena komponenta SR konflikta, i prosečno RT ove situacije se koristilo prilikom računanja finalnog diferencijalnog skora. Tiego i saradnici (2018), kao i u ovom radu, nisu dobili značajnu korelaciju kontrole distraktorske interferencije sa inhibicijom odgovaranja, dok je nedostatak ove korelacije dobijen i u rezultatima autora (Stahl et al., 2014), kod kojih je faktor kontrole distraktorske interferencije bio meren samo različitim modifikacijama zadataka podudaranja oblika. Ovi rezultati navode na zaključak da bi za korelaciju dimenzija kontrole distraktorske interferencije i inhibicije odgovaranja / inhibicije dominantnih odgovora mogao da bude odgovoran upliv SR konflikta u finalne mere flanker zadatka, ali ovoj tvrdnji postoje i suprotstavljeni nalazi o niskim i neznčajnim korelacijama flanker zadataka sa ostalim zadacima inhibicije (Gartner & Strobel, 2020; Paap et al., 2020; Rey-Mermet et al., 2018).

4.1.3 Kontrola interferencije odgovora

Dobijena latentna dimenzija kontrole interferencije odgovora je po zasićenjima i interkorelacijama najslabiji od 3 faktora modela. Kod ovog faktora je dominantno zasićenje Klasičnog Strupovog zadatka, a i samo je on ostvario niske marginalno značajne korelacije sa ostalim merama kontrole interferencije odgovora. Zasićenja i interkorelacije u okviru ovog faktora navode na zaključak da se ova latentna dimenzija može nazvati i „Strupovim faktorom“. Sadržinski, ovaj faktor se, kao što je već rečeno, preklapao najviše sa faktorom inhibicije dominantnih odgovora, a jedini autori (Stahl et al., 2014) koji su u modelu razdvojili kontrolu interferencije odgovora od inhibicije odgovaranja i kontrole distraktorske interferencije su za merenje ove dimenzije koristili zadatke koji se inače koriste za merenje egzekutivne funkcije premeštanja. Stoga, koncepcija kontrole interferencije odgovora koja se u ovom radu meri korišćenjem široko upotrebljivanih zadataka inhibitorne kontrole je novina u pristupu datom problemu. Ipak, treba uzeti u obzir nezanemarljivo niske korelacije između pojedinačnih zadataka, i slaba zasićenja na ovoj funkciji što dovodi u pitanje status ove latentne dimenzije kao nezavisne funkcije inhibicije.

¹⁹ Naime, u ovom zadatku se od ispitanika traži da odgovore na pitanje koliko elemenata ima u nizovima istih elemenata koji se prikazuju na ekranu. U nekongruentnoj situaciji su elementi niza cifre čiji je broj elemenata nekongruentan sa brojem koji označavaju. Na taj način, ispitanik slično kao i u Klasičnom Strupovom zadatku kontroliše interferenciju od odgovora, odnosno čitanja, i procesuiranja značenja elemenata niza.

Dodatan problem koji se javio kod zadataka u okviru ove dimenzije jeste lošija validnost i značajno visoka frekvencija ispitanika kod kojih na dobijenim RT merama nije detektovan efekat interferencije, na osnovu čega se može pretpostaviti da je finalni skor konfundiran drugim procesima, što utiče na korelacije navedenih mera sa drugim merama u bateriji zadataka. Autori (Haaf & Rouder, 2017) su koristeći Bajesove mešane modele (engl. Bayesian Mixed Models) na 7 setova podataka sa Klasičnim Strupovim i Sajmonovim zadacima vršili procene postojanja efekata interferencije. Podaci su ukazivali na značajan broj ispitanika kod kojih empirijski nije dobijen značajan efekat interferencije, odnosno da su bili brži na nekongruentnim stimulusima u odnosu na neutralne ili kongruentne. Autori su u tom radu testirali četiri različita Bajesova modela: 1) da se efekat interferencije ne javlja kod nijednog ispitanika; 2) da se efekat iste jačine javlja kod svih ispitanika; 3) da se efekat javlja u istom smeru kod svih ispitanika; 4) i da efekat varira u jačini i smeru kod različitih ispitanika. Rezultati poređenja modela su ukazali da „Svi strupuju“ (engl. „Everyone Stroops“) (Haaf & Rouder, 2017, p 780), odnosno da se Strupov efekat javlja u očekivanom smeru kod svih ispitanika tako da su brži na neutralnim izlaganjima u odnosu na nekongruentne. Za razliku od Klasičnog Strupovog zadatka, rezultati u vezi sa efektom interferencije u Sajmonovom zadatku su drugačiji – razrešavanje interferencije od spacijalno dominantnog odgovora nije kod svih ispitanika bilo sporije u odnosu na kongruentnu situaciju, što znači da je Sajmon efekat bio varijabilan u jačini i smeru za različite ispitanike (Haaf & Rouder, 2017). Pomenuti rezultati su i u skladu sa rezultatima dobijenim u ovom radu s obzirom da je najveća frekvencija ispitanika kod kojih nije bilo očekivanog efekta interferencije bio upravo kod Sajmon zadatka. Takođe, sličan nalaz je u ovom radu dobijen i na spacijalnom Strupovom zadatku, u okviru kojeg se takođe razrešava spacijalna interferencija, a rezultati su pokazali da značajan broj ispitanika nije bio brži na kongruentnim u odnosu na nekongruentna suprotna izlaganja.

Potrebno je istaći da se zadaci kontrole interferencije odgovora razlikuju po domenu reakcije u kojem se javljaju odgovori koji čine konflikt u zadatku. Tako, u Klasičnom Strupovom zadatku odgovor koji pravi interferenciju je čitanje značenja reči, a odgovor koji se traži od ispitanika – verbalno imenovanje boje. Kod spacijalnog Strupovog zadatka se pak od ispitanika traži da odgovore na značenje reči, dok je izvor interferencije pozicija reči koja navodi na odgovor koji je kongruentan sa njenom spacijalnom orijentacijom. Kod Sajmonovog zadatka, izvor interferencije je, kao kod spacijalnog Strupovog zadatka, spacijalna pozicija stimulusa, a odgovor koji se traži od ispitanika je reakcija na prethodno spacijalno mapiranje stimulusa u okviru kojeg su dva tastera za odgovaranje među sobom spacijalno odvojeni na levi i desni. Različitost izvora interferencije kao i domena u okviru kojih se daje tačan odgovor bi potencijalno mogli da utiču na pojavu niskih i statistički neznačajnih korelacija u okviru ovih zadataka. Međutim, u tom slučaju bi se ipak očekivala veća korelacija između spacijalnog Strupovog zadatka i Sajmon zadatka, s obzirom na njihovu zajedničku spacijalnu komponentu. Treba napomenuti da se u prvobitnim studijama latentne strukture egzekutivnih funkcija, samim tim i inhibicije (Friedman & Miyake, 2004; Miyake et al., 2000), odgovor u Klasičnom Strupovom zadatku davao vokalno, preko detektora glasa koji je merio i RT, dok u većem broju drugih radova (Gartner & Strobel, 2020; Rey-Mermet et al., 2018; Stahl et al., 2014; Tiego et al., 2018), pa i ovom, odgovor uključuje i motornu komponentu jer se daje pritiskanjem tastera koji odgovara datoj boji. Očekivano je da se usled „prevođenja“ odgovora iz verbalnog u motorni domen u finalnom skoru povećava varijansa greške, što bi i dalje/posledično moglo da utiče i na visinu korelacija. Ipak, krajnji odgovor u svim zadacima je uključivao motornu komponentu, što bi pak vodilo povećavanju, a ne smanjenju korelacija. Međutim, i pored toga što je kod Klasičnog Strupovog zadatka način odgovaranja bio više udaljen od odgovora koji stvara interferenciju, ovaj zadatak kontrole interferencije odgovora je jedini ostvario

interkorelacije sa ostalim merama na rubu statističke značajnosti. Možda još jedna zaključna rečenica o tome da se baš i nije dobio jasno interpretabilan faktor...

4.1.4 Egzekutivna funkcija inhibicije kao konstrukt

Pojava da mere inhibitorne kontrole pokazuju slabe pokazatelje fita i ograničena mogućnost dobijanja zadovoljavajućih modela latentnih varijabli navodi na preispitivanje statusa ove funkcije kao robusnog konstrukta na biheviornom planu (Rey-Mermet et al., 2018). Takođe, empirijski podaci o nezavisnosti inhibicije kao konstrukta nisu dovoljno ubedljivi. Naime, u nekim slučajevima se faktor inhibicije ne izdvaja kao nezavisan od ostalih egzekutivnih funkcija, a zadaci inhibicije se zasićuju na zajedničkom faktoru egzekutivnih funkcija (Friedman et al., 2008) ili je bilo teškoća da se odvoji od faktora opšte brzine (Jewsbury et al., 2016) i održavanja reprezentacije cilja (Singh et al., 2018). Uzevši u obzir rezultate ovog rada i prethodne nalaze u okviru kojih su se javljale teškoće u identifikovanju robusnog latentnog modela inhibitorne kontrole, sa visokim zasićenjima i značajnim korelacijama između zadataka, može se izvesti potreba za daljom reevaluacijom korišćenih paradigmi i načina merenja inhibitorne kontrole. Unapređenim načinom merenja bi se povećala verovatnoća detektovanja viših korelacija, koje su manje pod uticajem greške merenja, a više reflektuju procese egzekutivne funkcije inhibicije. Sa druge strane, alternativni pravac u rešavanju datih problema bi mogao da se ogleda i razdvajanjem, odnosno dodatnim specifikovanjem različitih funkcija inhibitorne kontrole. U ovom radu se to najviše odnosi na faktor kontrole interferencije odgovora, koji je pokazao najlošiji fit. Međutim, dodatna specifikacija u pogledu sadržaja bi potencijalno pojačala međusobnu ortogonalnost funkcija inhibicije, gde bi se potencijalno poboljšale korelacije unutar funkcije, a smanjile one između funkcija, usled čega bi i podesnost egzekutivne funkcije inhibicije u kontekstu ostalih egzekutivnih funkcija bila narušena. Stoga, umesto dodatnog specifikovanja sadržaja je potencijalno optimalnije rešenje kritički razmotriti načine i adekvatnost merenja kontrole interferencije pre svega, jer i u kontekstu rezultata ovog rada su ti zadaci pokazali niske korelacije.

4.1.5 Diferencijalni skorovi vremena reakcije kao bihejvioralne mere

U psihologiji i kognitivnim neuronaukama je veoma široka primena diferencijalnih skorova, još od tradicionalnog Dondersovog metoda oduzimanja (Donders, 1868; Draheim et al., 2019) u okviru kojeg se na osnovu razlika u vremenima reakcije na izlaganjima različitog tipa zaključuje o kompleksnosti procesa koji je u datom zadatku predmet merenja. Mere u zadacima inhibitorne kontrole, posebno zadacima kontrole interferencije se oslanjaju na diferencijalne skorove vremena reakcije. Zadaci iz kojih se računaju diferencijalni skorovi koji se koriste kao glavne mere zadataka egzekutivnih funkcija pa i inhibitorne kontrole su inicijalno osmišljeni u kontekstu istraživanja sa eksperimentalnim dizajnom. Stoga, diferencijalni skorovi pri merenju egzekutivnih funkcija predstavljaju robusne efekte eksperimenata u okviru kojih je fokus na minimizovanju varijanse između subjekata. Grupa autora (Hedge et al., 2018) ističe potencijalnu problematičnost translacije efekata iz eksperimentalnih istraživanja kao optimalnog metoda u istraživanjima kojima su u fokusu individualne razlike, u okviru kojih je poželjan upravo suprotan ishod - maksimizacija varijanse između subjekata.

Česta primedba na korišćenje diferencijalnih skorova se odnosi na pouzdanost ovih mera. Psihometrijski, skorovi prosečnog RT pojedinačnih kategorija stimulusa pokazuju višu pouzdanost u odnosu na razliku dve kategorije, s obzirom na to da se oduzimanjem dva skora povećava varijansa greške, a smanjuje zajednička varijansa između dva procesa. Ovde sad nije

jasno na šta misliš. Da li je: Ova zajednička varijansa, pritom, u određenoj meri zahvata i kognitivne procese od interesa koje želimo da merimo diferencijalnim skorovima. Rad u kojem je ispitivana test-retest pouzdanost diferencijalnih skorova mera kontrole interferencije (Flanker, i Sajmon zadatak) je pokazao nižu pouzdaonost diferencijalnog RT (raspona .43 do .62) u odnosu na mere prosečnog RT (Paap & Sawi, 2016). Takođe, paradoksalno, što je viša korelacija između dve mere koje se oduzimaju da bi se dobio finalni diferencijalni skor, to je veće ograničenje maksimalne pouzdanosti koju diferencijalni skor može da ostvari (Draheim et al., 2019). U zadacima inhibitorne kontrole se učinak izražava kroz vreme reakcije, a usled značajnog udela faktora opšte brzine reagovanja, prosečna vremena reakcije izračunata na različitim kategorijama stimulusa značajno koreliraju među sobom. Stoga, pouzdanost navedenih skorova je ograničena samim metodom računanja, što posledično ograničava maksimalne korelacije sa drugim merama. Kada se uzmu u obzir navedena ograničenja pouzdanosti, može se doći do zaključka kako se u slučaju ispitivanja korelacije učinka u dva zadatka koji su skorovani diferencijalnim merama RT navedeno smanjenje pouzdanosti može dogoditi na obe strane, i time još dodatno smanjiti korelaciju između dve mere. Draheim i saradnici (2019) navode kako je to čest slučaj upravo pri računanju korelacija između skorova na Strupovom zadatku i Flanker zadatku, navodeći empirijske korelacije intenziteta $r = .10$ kao najčešće dobijane, što je potvrđeno i podacima koje su autori prikazali u navedenom radu. Korelacije ovog intenziteta se dobijaju često u studijama koje ispituju inhibitornu kontrolu, što ispod nivoa bilo kakve relevantne povezanosti i posledično utiče na slabe karakteristike podesnosti latentnih modela.

Ipak, i pored navedenih problema sa korišćenjem diferencijalnih skorova, njihova upotreba je široka usled praktičnosti računanja ali i mogućnosti da se oduzimanjem prosečnih RT različitih situacija relativno uspešno izoluje varijansa kognitivnog procesa koji želimo da merimo. što nije moguće korišćenjem prosečnog RT za određenu kategoriju stimulusa²⁰. Takođe, korišćenje diferencijalnih skorova je i u funkciji potrebe za komparabilnošću rezultata sa prethodnim nalazima, s obzirom na to da je praktično cela empirijska građa u vezi sa egzekutivnom funkcijama ispitivanim na elementarnim kognitivnim zadacima, u kontekstu diferencijalne psihologije počiva na tradicionalno korišćenim merama diferencijalnog RT.

U literaturi se mogu naći potencijalni alternativni načini skorovanja zadataka kontrole interferencije. Jedan od pristupa drugih načina skorovanja jeste kombinovanje mera brzine reakcije i tačnosti u jednu meru. Kombinovani skor RT i tačnosti koji se najčešće koristi jeste skor inverzne efikasnosti (IES) (Bruyer & Brysbaert, 2011), koji se dobija deljenjem prosečnog vremena reakcije sa proporcijom tačnosti datog tipa stimulusa (pogledaj odeljak 2.3.2). Postoje nalazi o dobijenim višim korelacijama i boljem fitu modela latentnih varijabli kada se umesto klasičnih diferencijalnih skorova upotrebljavaju diferencijalni skorovi IES (Gartner & Strobel, 2020), mada rezultati dobijeni u ovom radu nisu to pokazali, s obzirom da nijedan od modela sa IES skorovima nije dostigao zadovoljavajuće mere fita. Upotreba ostalih skorova je uglavnom ograničena na jednu studiju ili grupu autora. Drugi skor koji kombinuje brzinu i tačnost je skor balansirane integracije (engl. *balanced integration score* - BIS) koji predstavlja razliku standardizovanih skorova prosečnog RT i proporcije tačnosti (Liesefeld & Janczyk, 2019). Neki autori (Kane et al., 2016) su umesto prostog oduzimanja proseka dve situacije izvodili rezidualne linearne regresije u kojoj se skor prosečnog RT jedne kategorije stimulusa predviđa skorom prosečnog RT druge. Ovakav postupak je doveo do poboljšanja korelacija između pojedinačnih mera, ali je njihova pouzdanost bila niska. Konačno, značajno je i

²⁰ Postojanje konflikta koji se razrešava kako bi se došlo do tačnog odgovora u okviru inkongruentnih stimulusa navodi na zaključak da bi prosečno RT te kategorije stimulusa moglo da se koristi kao mera inhibicije. Međutim, ova mera je konfundirana opštom brzinom reagovanja i ne daje mnogo informacija o samom procesu inhibicije, za razliku od diferencijalnog skora.

napomenuti nove rezultate Drejema i saradnika (Draheim et al., 2021, 2024) u vezi sa modifikovanim Strupovim i Flanker zadacima u okviru kojih je adaptivno varirano vremensko ograničenje za davanje odgovora na nekongruentnim stimulusima, tako što bi se povećavalo u slučaju greške ispitanika, a smanjivalo ukoliko bi odgovor bio tačan. Kao finalnu meru, navedeni autori su računali diferencijalni skor dobijen samo na prosečnim RT u okviru izlaganja u poslednje četiri promene u trajanju vremenskog ograničenja. Navedeni metod skorovanja je poboljšao zasićenja i korelacije između svih mera inhibitorne kontrole koje su koristili, pa se kao validan izdvojio jedan opšti faktor inhibicije, odnosno kontrole pažnje, kako su ga autori imenovali. Na osnovu prikazanih metodoloških izazova u vezi sa merenjem inhibitorne kontrole, pogotovo kontrole interferencije koja se najčešće izražava diferencijalnim skorovima se može steći uvid o trenutnom razvitku i napretku metodologije koji će u budućnosti doprineti boljem razumevanju individualnih razlika u vezi sa ovom egzekutivnom funkcijom.

4.1.5 Uloga radne memorije u zadacima inhibitorne kontrole

U više istraživanja su, sa ciljem provere preklapanja, ispitivane veze između inhibitorne kontrole i kapaciteta radne memorije. U jednoj studiji (Unsworth et al., 2020) koja je kombinovala veći broj setova podataka i imala agregirani uzorak od preko 3000 ispitanika je dobijena značajna korelacija ($r = .50$) između latentne varijable kapaciteta radne memorije (merene različitim tipovima zadataka raspona radne memorije) i latentne mere inhibitorne kontrole (kontrole pažnje), faktora na kojem su značajno bili zasićeni zadaci kontrole interferencije kao npr. klasični Strupov zadatak i Flanker zadatak, ali i zadaci inhibicije odgovaranja, kao na primer zadatak Antisakada i SART. Pored ovih rezultata, postoje nalazi o povezanosti nadređenog faktora kapaciteta radne memorije sa međusobno ortogonalnim faktorima inhibicije odgovaranja i kontrole distraktorske interferencije (Tiego et al., 2018). Takođe, autori (Draheim et al., 2021, 2024) dobijaju visoku korelaciju između latentne dimenzije kapaciteta radne memorije i opšteg faktora inhibitorne kontrole merene adaptivnim zadacima u okviru kojih se težina zadatka u vidu vremenskog ograničenja za davanje odgovora, prilagođava ispitanikovom postignuću. Za dublje razumevanje između različitih funkcija inhibitorne kontrole i kapaciteta radne memorije je potrebno još istraživanja, ali se, na osnovu dosadašnjih rezultata može tvrditi da su navedena dva konstrukta pozitivno povezana.

Jedan od aspekata koji može uticati na dobijene korelacije između pojedinačnih mera inhibitorne kontrole jeste stepen u kojem se može pretpostaviti da je za učinak u datom zadatku značajna radna memorija. U ovom istraživanju se mogu izdvojiti zadaci Stop signal sa brojevima i semantički SART, koji su merili inhibiciju odgovaranja i u okviru čijih zahteva je postojala komponenta pretrage skupa kako bi se dao odgovor na „go“ izlaganjima, (par ili nepar; životinja ili biljka), da bi se dao tačan odgovor, ili se pak uzdržalo od odgovora na “no-go“ izlaganjima. Takođe, klasični Strupov zadatak je bio konstruisan tako da je ispitanik u svakom izlaganju imao četiri potencijalna odgovora koji su mapirani na četiri različita tastera. Iako su ispitanici imali podsetnik u vezi tastera i njihovog na ekranu, vremenska dinamika zadatka je isključivala mogućnost da ispitanici ekscesivno koriste podsetnik u mnogo izlaganja. Stoga, može se pretpostaviti da su u toku izvršavanje klasičnog Strupovog zadatka bili aktivni procesi manipulacije sadržaja u radnoj memoriji. Osvrtom na rezultate i matricu korelacija, može se uvideti da je upravo klasičan Strupov zadatak, jedini od zadataka kontrole interferencije odgovora korelirao sa drugim merama, a između ostalog i značajno sa verzijom Stop-signal zadatka sa brojevima. U okviru faktora inhibicije odgovaranja, najveća korelacija ako se ne uzme u obzir ona između dve verzije Stop-signal zadatka je bila između Stop-signal

zadatka sa brojevima i semantičkog SART zadatka za čije izvršavanje je bilo potrebno pretraživanje skupa elemenata. Sa druge strane, Eriksen Flanker zadatak nije pokazao značajne korelacije sa ovim merama, a za njegovo izvršavanje je takođe bilo potrebno zapamtiti i mapirati dva tastera sa četiri slova „mete“ koja su se prikazivala u zadatku. Stoga, može se pretpostaviti da procesi radne memorije mogu, uz individualne razlike u okviru inhibitorne kontrole, uticati na učinak u zadatku, a samim tim i na dobijenu jačinu korelacije između različitih mera inhibitorne kontrole.

4.2 Neuromodulacija funkcija inhibitorne kontrole

Opšti cilj eksperimentalnog dela ovog rada je bilo ispitivanje mogućnosti egzogenog uticaja transkranijalnom električnom stimulacijom na različite funkcije inhibitorne kontrole.

Efekti na inhibiciju odgovaranja. Uvidom u rezultate studija koje su koristile tehnike neuroodslikavanja u vezi sa aktivnošću različitih moždanih struktura prilikom izvršavanja zadataka inhibicije odgovaranja se, kao regija od najvećeg značaja za učinak u može izdvojiti desni inferiorni frontalni girus (IFG) (Aron et al., 2004, 2014; Schaum et al., 2021). Stoga, u okviru treće hipoteze u ovom radu se očekivalo da će stimulacija desnog IFG dovesti do poboljšanja u učinku na zadacima inhibicije odgovaranja, specifično smanjenju SSRT mere u Stop-signal zadatku. Ova hipoteza nije potvrđena, s obzirom na to da nisu dobijeni značajni efekti stimulacije na SSRT. Dobijeni rezultati su neočekivani s obzirom na to da nisu u skladu sa brojnim studijama u kojima je dobijeno smanjenje SSRT usled stimulacije desnog IFG (Cai et al., 2016; Chen et al., 2019; Cunillera et al., 2014; Ditye et al., 2012; Hogeveen et al., 2016; Jacobson et al., 2011; Li et al., 2019; Sandrini et al., 2020; Stramaccia et al., 2015; Castro-Meneses et al., 2016). Ipak, kako rezultati tDCS studija u kojima su ispitivani efekti neuromodulacije IFG na inhibiciju odgovaranja nisu jednoznačno pozitivni, rezultati dobijeni u ovom radu se uklapaju u nezanemarljiv broj studija u kojima su dobijeni nulti efekti (Cunillera et al., 2016; Stramaccia et al., 2017; Thunberg et al., 2020). Ova varijabilnost efekata tDS na inhibiciju odgovaranja se može dovesti u vezu sa primetnom metodološkom heterogenošću tDCS studija inhibitorne kontrole, u pogledu parametara stimulacije ali i ishodišnih mera, čime se dodatno komplikuje validna komparacija nalaza kroz različite studije.

Kada se uzmu u obzir parametri stimulacije u okviru ovog rada, i uporede sa parametrima iz prethodnih studija u kojima je stimulisan desni IFG, može se uvideti da je tačka na koju je najčešće postavljana aktivna elektroda bila FC4, za razliku od tačke na koju je aktivna elektroda postavljena u ovom radu, odnosno FC6. Iako bi to moglo da navede na zaključak da efekti nisu dobijeni usled nedovoljno adekvatnog pozicioniranja elektroda, treba istaći nalaze autora (Hogeveen et al., 2016) koji ne idu tom zaključku u prilog. Autori su stimulacijom desnog IFG-a preko FC6 dobili značajne efekte na SSRT nakon bipolarnog i HD protokola. Takođe, rezultati simulacija električnog polja ukazuju na približno jednak intenzitet stimulacije desnog IFG-a kada se aktivna elektroda postavi na FC4 i FC6. Stoga, može se opravdano tvrditi da pozicija aktivne elektrode nije uticala na izostanak značajnog efekta stimulacije desnog IFG na SSRT.

Pored toga, ukupan intenzitet stimulacije je u prethodnim studijama u najvećem broju slučajeva bio između 1 i 1.5 mA. Ukupan intenzitet struje u protokolu stimulacije desnog IFG-a u ovom radu je bio nešto viši i iznosio je 2 mA. Toliki intenzitet stimulacije korišćen je samo u još jednoj prethodnoj studiji (Li et al., 2019) u kojoj je stimulacija desnog IFG uticala na skraćanje SSRT u toku stimulacije. Osim navedenog rada, nema drugih empirijskih podataka o efikasnosti protokola stimulacije IFG intenziteta 2 mA na SSRT. Dodatno, u drugim studijama su uglavnom korišćene elektrode većih dimenzija (od 9 cm² do 35 cm²), dok je u ovom radu

aktivna elektroda bila značajno manja, površine 1 cm². Rezultati jedinog eksperimenta (Hogeveen et al., 2016) u kojem je u HD montaži veličina aktivne elektrode takođe bila 1 cm² ukazuju na poboljšanje SSRT nakon stimulacije desnog IFG, ali u tom protokolu je intenzitet stimulacije bio 1 mA. Na osnovu prikazanih parametara stimulacije u prethodnim studijama se može utvrditi da je gustina struje u ovom radu bila veća nego u prethodnim istraživanjima što ukazuje na potencijalno veću dozu stimulacije koju su imali ispitanici u ovom radu, u poređenju sa prethodnim eksperimentima. Kako je u prvom poglavlju navedeno, doza stimulacije nije nužno u linearnom odnosu sa indukovanim plasticitetom (Stagg & Nitsche, 2011), stoga postoji verovatnoća da bi manji intenzitet stimulacije potencijalno imao optimalnije efekte na SSRT. Ipak, ovu tvrdnju treba uzeti sa rezervom jer postoji stabilna empirijska potpora koja ukazuje da sitne razlike u intenzitetu od 0.5 mA do 2 mA ostvaruju približno podjednake efekte na ekscitabilnost motornog korteksa (Jamil et al., 2017), dok i dalje nema sistematske empirijske građe o odnosu intenziteta i indukovane ekscitabilnosti na frontalnom korteksu ili drugim regionima. Drugim rečima, ne deluje da je intenzitet, odnosno „doza“ stimulacije bila razlog za izostanak efekta.

Efekti na kontrolu interferencije. Kao najznačajniji regioni mozga u vezi sa kontrolom interferencije konflikta (i SS i SR tipa) se mogu izdvojiti dorzolateralni prefrontalni korteks (DLPFC) i anteriorni cingulatni korteks (ACC) (Botvinick et al., 2004; Botvinick & Cohen, 2014; Fan et al., 2003; Kerns et al., 2011; Van Veen et al., 2001). Jedan od ciljeva ovog rada je bio ispitivanje efekata neuromodulacije ACC-a na različite funkcije inhibitorne kontrole. U okviru četvrte hipoteze je pretpostavljeno da će stimulacija ACC-a doprineti boljem učinku na zadacima kontrole interferencije i uspešnijem procesiranju SS i SR konflikta. Četvrta hipoteza nije potvrđena, s obzirom na to da nisu dobijeni značajni efekti stimulacije ACC-a na diferencijalne skorove zadatka podudaranja oblika i klasičnog Strupovog zadatka. Treba istaći da se, kada su u pitanju mere kontrole interferencije, u literaturi kao efekti na funkciju od interesa ne tumače samo efekti na diferencijalne skorove, već i na prosečno RT na nekongruentnim stimulusima.

Što se tiče kontrole distraktorske interferencije, rezultati dobijeni u ovom radu su konzistentni sa nalazima malobrojnih prethodnih studija (Bellaïche et al., 2013; Mattavelli et al., 2022) u kojima nisu dobijeni značajni efekti anodalne stimulacije ACC na diferencijalno RT niti prosečno RT nekongruentnih stimulusa u okviru Flanker zadatka. Treba napomenuti da se i u ovim studijama diferencijalno RT računalo na način koji nije isključivao uticaj SR konflikta s obzirom na to da u zadacima nije postojala odgovor-neutralna kategorija stimulusa. Kao što je već i napomenuto u ranijim odeljcima, za sada ne postoje nalazi o potencijalnim efektima stimulacije na učinak u zadatku podudaranja oblika, tako da su nulti efekti dobijeni u ovom radu, na nivou tog pojedinačnog zadatka, nekomparabilni sa prethodnim istraživanjima.

Dobijeni nulti efekti na kontrolu interferencije odgovora se mogu uporediti sa takođe malim brojem studija u okviru kojih je stimulisan ACC. Kan i saradnici (Khan et al., 2020, 2022) prijavljuju značajne efekte bipolarnе i HD stimulacije ACC-a na prosečno RT i diferencijalni skor u okviru klasičnog Strupovog zadatka, međutim dizajn tih studija je bio nešto drugačiji u odnosu na ovaj rad, što usložnjava poređenje rezultata. Naime, navedeni autori su koristili paralelni dizajn sa dve grupe, a Strupov zadatak je zadavan pre, u toku i posle stimulacije. Značajni efekti stimulacije su dobijeni samo u okviru eksperimentalne grupe, u vidu poređenja unutar subjekta kroz različite vremenske tačke. S obzirom na to da je taj efekat izostao u kontrolnoj, sham grupi, autori te rezultate tumače kao poboljšanje kontrole interferencije usled stimulacije ACC-a. Međutim, ako se izdvoji učinak na Strupovom zadatku samo posle tDCS, i uporedi između kontrolne i eksperimentalne grupe, dolazi se do zaključka o nultim efektima stimulacije ACC-a na diferencijalni skor i RT nekongruentnih stimulusa, što je u skladu sa

dobijenim rezultatima u ovom radu. Sa druge strane, rezultati dobijeni u ovom radu nisu konzistentni sa nalazima jedne prethodne studije u kojoj su dobijeni značajni efekti stimulacije ACC-a na RT nekongruentnih stimulusa u okviru numeričkog Strupovog zadatka (To et al., 2018). Navedena studija bila je u metodološkom smislu veoma slična ovom istraživanju - imala je imala kros-over dizajn, i ispitivani su samo oflajn efekti stimulacije na učinak u Strupovom zadatku.

Efekti dobijeni na dodatnim merama. Potrebno je osvrnuti se i na neočekivane efekte stimulacije koji su zabeleženi u ovom radu. Naime, nakon stimulacije desnog IFG-a, u okviru klasičnog Strupovog zadatka je na nivou prosečnog RT pojedinačnih kategorija dobijeno usporenje RT na nekongruentnim i neutralnim stimulusima, u odnosu na učinak u sham situaciji. Ovo je nov nalaz, jer jedno prethodno istraživanje u kom je stimulisan desni IFG-a nije zabeležena promena u učinku na Strupovom zadatku (Perrotta et al., 2021). Aktivnost desnog IFG nije isključivo vezana za reaktivno stopiranje, već ima ulogu i u proaktivnoj inhibiciji, odnosno endogenom „kočenju“, i u izlaganjima kada nije prisutan stop signal (Aron et al., 2014). Sa navedenom tvrdnjom, a i rezultatima stimulacije IFG u ovom radu su kongruentni i rezultati (Cunillera et al., 2016) o usporavanju reagovanja na „go“ izlaganjima, a izostanku efekta na SSRT u toku stimulacije. Treba napomenuti da je u ovom radu, usled stimulacije IFG, pored usporavanja na nekongruentnim i neutralnim stimulusima dobijena i statistički značajno povećana proporcija tačnosti na neutralnim stimulusima u odnosu na učinak u sham situaciji. Kada se svi navedeni rezultati uzmu u obzir, nameće se tumačenje da je stimulacija desnog IFG u kontekstu Strupovog zadatka potencijalno uticala na poboljšanje procesa proaktivne inhibicije, što je posledično dovelo do sporijih RT i delimično veće tačnosti. Međutim, ovo tumačenje treba uzeti sa rezervom jer nisu dobijeni značajni efekti stimulacije desnog IFG na usporavanje u okviru drugih zadataka, a prvenstveno na RT „go“ izlaganja u okviru Stop-signal zadatka, ali ni na merama izbornog RT u okviru kontrolnog zadatka serijskog vremena reakcije.

Značajno je napomenuti i efekte na učinak u zadacima u toku stimulacije. Naime, glavna suština zadavanja ovih zadataka je bila u ujednačavanju kognitivne aktivnosti ispitanika u toku stimulacije i dodatnom angažovanju stimulacijom ciljanih struktura u toku izvršavanja datih zadataka. U okviru zadataka u toku stimulacije, jedini značajan efekat je dobijen na zadatku Kreni-stani, i to na usporavanje prosečnog RT na „go“ izlaganjima u toku stimulacije ACC-a, dok nije bilo značajnih efekata stimulacije na merama tačnosti niti na IES skorovima. Takođe, nisu opservirani značajni efekti stimulacije na vreme reakcije i meru inhibitorne kontrole u Flanker zadatku, dok jesu na merama tačnosti nekongruentnih stimulusa, ali je ovaj efekat bio mali, s obzirom na to da se u apsolutnim vrednostima reflektovao u minimalnom poboljšanju učinka. Ovi rezultati ukazuju na to da su ispitanici generalno imali ujednačenu kognitivnu aktivnost kroz različite situacije stimulacije u eksperimentu, s obzirom na to da nije bilo značajnih odstupanja u postignuću. Stoga se može zaključiti da je nivo pažnje ispitanika u toku stimulacije bio ujednačen po različitim situacijama stimulacije. Time se isključuje potencijalno konfundirajuće dejstvo različitog nivoa pažnje u toku stimulacije, na ispoljavanje efekata na učinak u glavnim merama inhibitorne kontrole koje su zadavane posle tDCS. Dobijeni značajan efekat stimulacije ACC na usporavanje „go“ RT je neočekivan nalaz iz dva razloga: zbog lokacije stimulacije, jer se pretpostavlja veći efekat stimulacije desnog IFG nego ACC na učinak u zadatku inhibicije odgovaranja; zbog uticaja na usporavanje RT, s obzirom na to da se očekivao efekat poboljšanja u učinku usled stimulacije.

Potrebno je istaći da dobijeni značajni efekti na učinak u Strupovom zadatku i zadatku Kreni-stani nisu dovoljno konkluzivni s obzirom na to da je do značajnog efekta kod oba zadatka došlo usled stimulacije regije za koju se nije primarno očekivalo da će dovesti do efekta.

Dodatno, dobijeni efekti su bili izolovani na jedan zadatak ili isključivo jednu meru u okviru konkretnog zadatka, što je bio slučaj sa efektom na učinak u zadatku Kreni-stani. Za kompletniji uvid i validnije tumačenje efekata stimulacije ACC ili desnog IFG, bi bilo pouzdanije ako bi se došlo do rezultata i zaključka koji je potkrepljen značajnim efektima u istom smeru na merama iz više zadataka. Takođe, potrebno je razgraničiti da dobijeni efekti ne govore mnogo o samim funkcijama inhibitorne kontrole, već su više ograničeni na jednostavno vreme reagovanja.

U vezi sa jednostavnim RT, dobijeni su i značajni efekti stimulacije na agregirani prosek RT mera jedino na Strupovom zadatku. Smer dobijenih efekata je u skladu sa efektima na RT nekongruentnih i neutralnih stimulusa i ukazuju na to da je stimulacija IFG usporila globalno RT na Strupovom zadatku, što je takođe neočekivan nalaz s obzirom na to da je očekivana efikasnija kontrola interferencije nakon stimulacije koja bi doprinela bržem odgovaranju i prevazilaženju, u ovom konkretnom slučaju, interferencije odgovora.

Kada se uzmu u obzir svi rezultati u okviru eksperimenta, oni se mogu dovesti u vezu sa određenim meta-analitičkim podacima. Naime, autori (Horvath et al., 2015) su u okviru meta-analize obuhvatili sve studije kojima su ispitivani efekti jedne sesije tDCS-a na, široko definisane, kognitivne funkcije, pa samim tim i egzekutivne funkcije. Na osnovu rezultata ove meta-analize, autori su došli do zaključka da jedna sesija tDCS-a, primenjena na mladim i zdravim ispitanicima, ostvaruje nulte efekte na kognitivne mere generalno. Međutim, ova meta-analiza je kritikovana (Price & Hamilton, 2015) zbog više metodoloških nedostataka kao što su: nedosledni kriterijumi pri izboru podataka, pogrešno klasifikovanje studija, greške u prikazanom broju subjekata i pogrešno upotrebljene određene statističke analize, pa navedeni autori u okviru svoje meta-analize dolaze do drugačijih zaključaka, koji ističu i pozitivne efekte tDCS-a na kognitivne funkcije. U skladu sa rezultatima ovog rada su i rezultati meta-analize o efektima tDCS na egzekutivne funkcije uopšte (Imburgio & Orr, 2018) koji ukazuju da su efekti stimulacije na inhibiciju u proseku nulti. Međutim, ova meta-analiza je bila ograničena samo na studije stimulacije DLPFC, i uključivala je samo studije u kojima su korišćeni zadaci kontrole interferencije (kao npr. Strupov zadatak, Sajmon, Flanker itd). S obzirom na to da je DLPFC jedan od najčešće stimulisanih regiona kada imamo u vidu egzekutivne funkcije, može se doći do zaključka da su rezultati dobijeni u eksperimentalnom delu ovog rada kongruentni u kontekstu neke šire empirijske građe, što se pogotovo odnosi na dobijene efekte tDCS na mere kontrole interferencije.

Teorijska razmatranja. Teorijski okvir o funkcionalnim efektima tehnika neinvazivne stimulacije mozga u koji se mogu smestiti rezultati ovog rada jeste hipoteza o generisanju šuma u okviru nelinearnog sistema (Miniussi et al., 2013). Kako je već opisano, prilikom zadavanja protokola tDCS se potpuno utiče na ekscitabilnost targetirane regije, čime se indirektno utiče i na spontanu frekvencu „okidanja“ neurona. Radi boljeg razumevanja ove teorije, potrebno je napraviti distinkciju između signala i šuma. Signal predstavlja željene efekte stimulacije koji se ogledaju u promenama u ekscitabilnosti, stimulacijom ciljanih regija koje su relevantne za funkciju koju želimo da moduliramo. Sa druge strane, šum predstavlja nespecifične neurofiziološke odgovore na stimulaciju, njene sporedne efekte i artefakte. Po teoriji se pretpostavlja da se stimulacijom u sistem unosi određena količina šuma koja može varirati u zavisnosti od parametara samog protokola ali šum može poticati i iz drugih izvora kao što je aktivnost ispitanika, karakteristike zadatka u toku stimulacije, ali i samo trenutno stanje sistema. Odnos signala i šuma nije linearan, već je u vidu sigmoidalne krive, a za optimalne efekte stimulacije je potreban optimalan nivo generisanog šuma. Stoga, kada se rezultati ovog rada posmatraju kroz prizmu navedene teorije, može se zaključiti da potencijalni optimalni balans između signala i šuma nije bio ostvaren na dovoljnom procentu uzorka, pa stoga i ne

iznenađuju različiti obrasci skokova i padova u postignuću na glavnim merama inhibicije, na nivou pojedinačnih ispitanika, kroz različite sesije u okviru eksperimenta.

4.2.1 Metodološki izazovi

Kao što je opservirano u rezultatima, značajan broj ispitanika (preko 60%) je na kraju studije pogodio u kojoj sesiji je bio primenjen sham protokol. Ovaj podatak navodi na zaključak da manipulacija kojom je prikrivena lažna stimulacijanije bila u potpunosti uspešna. Međutim, dodatnom inspekcijom rezultata o stepenu sigurnosti ispitanika u odluku kada je bio primenjen sham protokol se moglo doći do zaključka da je određeni deo ispitanika dao tačan odgovor na osnovu slučajnosti. Dodatno, tačna identifikacija protokola lažne stimulacije ne bi trebalo da utiče na primarne rezultate u ovom radu – efekte stimulacije na ishodišne mere inhibitorne kontrole. Generalno, za studije u kojima je ispitivan efekat tDCS na kognitivne funkcije postoje empirijski podaci da uspešnost „blinding“ manipulacije nema uticaja na javljanje efekata tDCS na različite mere asocijativnog pamćenja i radne memorije (Stanković et al., 2022). Potrebno je istaći vremensko ograničenje za davanje odgovora koje postojalo u zadacima u ovom radu, kao i činjenicu da su svi skorovi računati na osnovu mera vremena reakcije i to da nije bilo ekstremnih odstupanja u skorovima. Kada se sve navedeno uzme u obzir može se zaključiti da je veoma mala verovatnoća da su ispitanici koji su tačno identifikovali sham protokol usled te informacije svesno simulirali ili disimulirali svoj učinak na zadacima. Takođe, rezultati o tolerabilnosti ukazuju na to da su protokoli koji su korišćeni u eksperimentu po senzacijama i potencijalnim nusefektima stimulacije nisu odstupali od standardno dobijanih rezultata (Brunoni et al., 2011) kao i od rezultata dobijenih u studiji sličnog dizajna (Živanović, 2019). Stoga, nema razloga razmatrati senzacije i nusefekte stimulacije kao potencijalne moderatore efekata tDCS na inhibitornu kontrolu ali i na uspešnost identifikacije lažne stimulacije.

Značajno je prokomentarisati i to da su u određenim protokolima, pored željenog regiona, stimulacijom zahvaćene i neke od regija za koje to nije specifično predviđeno²¹. Ovaj problem preklapanja se javlja u vezi sa protokolima stimulacije ACC-a. Naime, kao što je već opisano u trećem poglavlju, protokol stimulacije ACC-a je kreiran tako da maksimizuje intenzitet stimulacije u ACC-u, ali električno polje se u okviru tog protokola distribuira i na desnom IFG. Druga, za inhibitornu kontrolu relevantna zona, koja je u protokolu stimulacije ACC-a neizbežno stimulisana jeste pre-SMA.

Stimulacijom pre-SMA regiona su nekim od ranijih studija dobijani efekti na merama inhibitorne kontrole (Liang et al., 2014; Yu et al., 2015), ali postoje i nalazi o nultim efektima (Bender et al., 2017; Hsu et al., 2011). Ovo implicira da se rezultati ovog rada u vezi stimulacije ACC-a mogu delimično tumačiti i kao efekti stimulacije pre-SMA regiona. U ovom radu nisu dobijeni značajni efekti stimulacije ACC na glavnim merama inhibitorne kontrole, pa se pri tumačenju rezultata ne zalazi u problem nedostatka diferencijalne specifičnosti stimulacije u vezi sa dva navedena regiona. Ovaj problem preklapanja se u većini drugih radova u kojima je stimulisan ACC ne uzima u obzir, stoga je važno osim bihejvioralnih mera imati i dodatnu fiziološku meru koja bi dodatno ukazala na razlike u neurofiziološkim efektima protokola stimulacije na ACC i pre-SMA. Za neurofiziološku validaciju stimulacije ACC se, po ugledu na autore (To et al., 2018), kao dodatna mera može koristiti EEG i metoda lokalizacije izvora (engl. *source localization*), što predstavlja ekonomičnije i manje precizno rešenje. Manje ekonomično i anatomske preciznije rešenje bi bilo korišćenje tehnika neuroodslikavanja,

²¹ Pod regionima koji su zahvaćeni stimulacijom se podrazumevaju samo regioni koji se preklapaju sa distribucijom indukovano električnog polja. Ovo ne podrazumeva potencijalne efekte koji se ostvaruju indirektno, putem modulacije nekog od čvorišta konkretne neuralne mreže što može da utiče na propagaciju modulacije i do čvorišta koje nisu direktno zahvaćeni električnim poljem indukovanim stimulacijom.

odnosno funkcionalne magnetne rezonance (engl. *functional magnetic resonance imaging* - fMRI) u stanju mirovanja (engl. *resting state*) koja bi se primenjivala neposredno pre i neposredno posle stimulacije, ali i potencijalno u toku zadatka, na osnovu čega bi postojalo direktno poređenje efekata stimulacije sa konektivnošću različitih čvorišta konkretne mreže u kontekstu ispitivane kognitivne funkcije. Ovakva procedura je korišćena u radu (Sandrini et al., 2020) u kojem su ispitivani efekti stimulacije desnog IFG, dok empirijskih podataka o sličnim efektima na stimulaciju ACC-a i dalje nema.

4.2.2 Ka dodatnoj optimizaciji protokola za modulaciju inhibitorne kontrole

U domenu tehnika transkranijalne električne stimulacije, za potrebe optimizacije protokola mogu se varirati različiti parametri stimulacije, uključujući intenzitet, trajanje, veličinu, oblik i broj elektroda. Uvođenjem frekvencije stimulacije, kao dodatnog parametra koji se može varirati pri kreiranju protokola nastaje nova tehnika, transkranijalna stimulacija naizmeničnom strujom (engl. *transcranial alternating current stimulation* - tACS²²). U okviru tACS-a struja je sinusoidalnog oblika i, u predefinisanoj frekvenciji, ritmično menja polaritet od pozitivnog do negativnog. Za razliku od tDCS koji deluje isključivo na ekscitabilnost stimulisanih regija, pretpostavlja se da je mehanizam delovanja tACS-a sinhronizacija endogenih neuralnih oscilacija sa frekvencijom eksternog stimulatora (Antal & Paulus, 2013). Stoga, značajno je istaći rezultate studija koje su za cilj imale modulaciju različitih funkcija inhibitorne kontrole putem protokola u kojima je struja aplikovana u frekvenciji koja je dominantna za aktivnost regija koje imaju značajnu ulogu u datoj funkciji inhibitorne kontrole.

Prominentna frekvencija koja se dovodi u vezu sa aktivnošću moždanih struktura koje imaju ulogu u inhibiciji odgovaranja su beta oscilacije, odnosno brzi endogeni moždani ritam koji osciluje u frekvenciji od 20 Hz do 40 Hz. Naime, prenos informacija u putevima koji povezuju frontalne regione sa bazalnim ganglijama dominantno oscilira u beta ritmu (Ding et al., 2023; Swann et al., 2012), a postoje i nalazi da desni IFG inicira aktivnost u beta ritmu pri prenosu informacija ka pre-SMA regionu (Schaum et al., 2021). Stoga, u nekoliko novijih studija je ispitivana mogućnost modulacije inhibitorne kontrole putem tACS protokola koji osciluje u beta frekvenciji. Novi nalazi autora ukazuju na značajno poboljšanje SSRT mera usled korišćenja tACS protokola koji je u beta ritmu oscilirao između desnog IFG i pre-SMA regiona (Fujiyama et al., 2022) ili desnog IFG i primarne motorne zone (Meng et al., 2023). Ipak, postoje i nalazi koji ukazuju na nulte efekte beta IFG-pre-SMA tACS protokola na učinak u Stop-signal zadatku (Tan et al., 2022).

Sa druge strane, u vezi sa procesima kontrole interferencije se dovodi teta (5-8 Hz) oscilatorna aktivnost ACC-a i DLPFC-a u (Hanslmayr et al., 2008; Oehrns et al., 2014), mada postoje i rezultati da stimulacija ACC-a tDCS protokolom dovodi do ritmičke aktivnosti u beta ritmu (To et al., 2018). Postoje nalazi o značajnom efektu na učinak u Strupovom zadatku, kada je teta tACS primenjen između dorzalnog ACC-a i levog DLPFC-a (Kim et al., 2024), mada postoje i nalazi o nultim efektima individualizovanog i univerzalnog²³ teta tACS protokola, na većem broju zadataka inhibitorne kontrole (Krilova et al., 2021).

Usled izazova što preciznijeg stimulisanja moždanih struktura koje nisu anatomske pozicionirane na samoj površini korteksa, poslednjih godina se razvija nova tehnika neinvazivne stimulacije – stimulacija temporalne interferencije (engl. *temporal interference stimulation* - TIS). Suština primene ove tehnike je u tome što se na glavu ispitanika aplikuju

²² Slično kao i za tDCS, i u slučaju ove tehnike se u literaturi dominantno koristi skraćenica tACS, pa će se tako ona upotrebljavati i u nastavku teksta.

²³ Individualizovani protokol se bazirao na modelima glave svakog ispitanika, na osnovu čega je odlučeno gde će se postaviti electrode, dok su kod univerzalnog protokola elektrode bile postavljene na FCz i Pz.

dva (ili više) električna polja visoke frekvencije oscilovanja (Grossman et al., 2017). Dva indukovana polja se susreću na određenom ciljanom mestu u mozgu i formiraju talas niže frekvencije koji zapravo predstavlja frekvenciju željene stimulacije. Visina željene frekvencije se dobija razlikom frekvencija aplikovanih polja. Na taj način, ukoliko je frekvencija željene stimulacije, na primer, 5 Hz, frekvencije dve primenjene struje bi trebalo da budu 2005 Hz i 2000 Hz. Prethodnim matematičkim modelovanjem se proračunava na kojoj međusobnoj distanci i gde treba postaviti elektrode, kako bi se stimulisala željena regija. Značajna prednost ove tehnike je u tome što visoke frekvence koje se primenjuju nisu biološki relevantan signal i nemaju nikakav fiziološki uticaj, čime se izbegavaju nespecifični efekti stimulacije regiona koji nisu od interesa ali su zahvaćeni indukovanim električnim poljem, za razliku od tDCS protokola. S obzirom na to da se pri stimulaciji ACC-a zahvataju druge strukture, što je diskutovano u prethodnom odeljku, korišćenje TIS protokola se nameće kao obećavajuće rešenje za modulaciju funkcija kontrole interferencije. Trenutno nema empirijskih studija u kojima je ispitivan potencijal stimulacije ACC-a, kada se koristi TIS. Međutim, postoje nalazi (Violante et al., 2023) o uspešnoj i izolovanoj stimulaciji hipokampusa ovom tehnikom, što je i validirano rezultatima fMRI-a i bihevioralnim efektima na epizodičko pamćenje.

4.3 Kritički osvrt

Potrebno je i osvrnuti se integrisano na rezultate dobijene u ovom radu. U obrazloženju problema istraživanja ovog rada je između ostalog istaknuto kako će se dobijena psihometrijska struktura funkcija inhibitorne kontrole ispitati i na neuralnom nivou, usled čega bi potencijalno značajni efekti neuromodulacije, u idealnom slučaju u kojem bi sve hipoteze bile potvrđene, mogli da ukažu i na dvostruku disocijaciju funkcija inhibicije. Dobijeni trofaktorski model je relativno neočekivano, u poređenju sa većinom drugih studija u kojima je ispitivana struktura funkcija inhibitorne kontrole, imao najbolji fit. Međutim, u narednoj fazi istraživanja nisu dobijeni značajni efekti stimulacije na inhibitornu kontrolu merenu zadacima koji su određeni kao optimalne mere u skladu sa dobijenom trofaktorskom strukturom funkcija inhibicije. Potrebno je istaknuti da nije opravdano ove rezultate tumačiti u smeru neznačajne uloge stimulisanih regiona za procese inhibicije, s obzirom na postojanje velikog broja nalaza koji ističu ključne uloge desnog IFG-a i ACC-a u vezi sa inhibicijom odgovaranja i kontrolom interferencije (Aron et al., 2014; Botvinick & Cohen, 2014; Fan et al., 2003; Huang et al., 2020; Schroeder et al., 2020). Stoga, rezultati dobijeni u ovom radu nisu konkluzivni u pogledu „preslikavanja“ strukture funkcija inhibitorne kontrole sa psihometrijskog na neuralni nivo. Stoga, pitanje o jedinstvenosti nasuprot razjedinjenosti funkcija inhibitorne kontrole na neuralnom planu ostaje otvoreno, pogotovo u kontekstu neuromodulacije.

Iako tri od četiri hipoteze u ovom radu nisu potvrđene, dobijeni rezultati su konkluzivni u pogledu izazova u vezi istraživanja inhibitorne kontrole. Na psihometrijskom planu, istraživači se susreću sa izazovima adekvatnog načina merenja inhibitorne kontrole, a najčešće posledice u vezi sa tim su niske ili neznačajne korelacije između pojedinačnih mera i nedovoljno dobri parametri fita u modelima latentnih varijabli (Draheim et al., 2019; Paap & Sawi, 2016; Rey-Mermet et al., 2018; Rouder & Haaf, 2019). Ipak, postoje istraživačke linije u okviru kojih se teži unapređenju i modifikaciji već postojeći paradigmi za merenje inhibitorne kontrole, ili čak i kreiranju sasvim novih (Draheim et al., 2021, 2024) što bi posledično dovelo do validnije procene korelacija između zadataka i strukture funkcija inhibicije.

Sa druge strane, osvrtom na rezultate ovog rada, i prethodnih studija neuromodulacije kognitivnih funkcija uopšte, a posebno egzekutivne funkcije inhibicije se može uvideti visoka varijabilnost u pogledu dobijenih efekata stimulacije na ishodišne mere. Naime, nije retka pojava, da se u studijama u kojima se stimulišu isti regioni mozga dobijaju pozitivni i nulti efekti na postignuće u zadacima inhibitorne kontrole. Stoga, može se postaviti pitanje koliko

su efekti tDCS-a na inhibitornu kontrolu podložni replikaciji, uzimajući u obzir generalnu replikacionu krizu u psihologiji i neuronaukama (Button et al., 2013; Open Science Collaboration, 2015), a i nalaze o velikom uticaju pristrasnosti publikovanja (engl. *publication bias*) u kognitivnim naukama uopšte (Ioannidis et al., 2014). Ova vrsta pristrasnosti ima uticaj i na rezultate meta-analiza i kada nije statistički uzeta u obzir dovodi do preceanjivanja efekata tDCS na kognitivne funkcije, s obzirom na nepoznat broj studija sa nultim efektima koje su odbijene za objavljivanje (Medina & Cason, 2017; Price & Hamilton, 2015). Osim toga, kao jedna od smetnji u razgraničavanju značajnih od nultih efekata tDCS na kognitivne funkcije, navodi to da nezanemarljiv broj studija nema dovoljno veliki uzorak koji ostvaruje statističku snagu potrebnu za detektovanje efekata stimulacije (Button et al., 2013). Stoga, i zaključci koji su dobijeni u meta-analizama nisu nezavisni od navedenih ograničenja. U jednom sistematskom pregledu (Farhat et al., 2022) „kišobran“ tipa (engl. *umbrella review*) su evaluirane meta-analize koje su ispitivale efekte prefrontalnog tDCS na kognitivne funkcije uopšte. U ovom pregledu su evaluirani i efekti na pojedinačne kognitivne funkcije, pa tako i na inhibitornu kontrolu, a rezultati ukazuju na nepostojanje pozitivnih efekata stimulacije, u studijama na zdravim ljudima. Dodatno, obrađene meta-analize (Dedoncker et al., 2016; Horvath et al., 2015; Salehinejad et al., 2019) koje su sadržale i procenu efekata tDCS na inhibiciju, autori evaluiraju kao nisko kvalitetne u pogledu postojanja rizika pristrasnosti, sa niskom sigurnošću da je procenjena veličina efekta različita od slučajne i visokim variranjem veličina efekata kroz različite pojedinačne studije.

Međutim, primetan je problem iscrpnosti prethodno diskutovanih meta-analiza koje su najčešće fokusirane na širi spektar kognitivnih funkcija, usled čega se dešava da finalni pregled rezultira sa svega nekoliko eksperimenata u vezi pojedinačne kognitivne funkcije. Na primer, pregledni rad (Farhat et al., 2022) koji je obradio 11 meta-analiza, finalno prijavljuje samo pet efekata na inhibitornu kontrolu, na zdravim ispitanicima. Stoga, može se istaći potreba za novim meta-analizama koje bi bile fokusiranije na neku od funkcija inhibitorne kontrole, ili čak na pojedinačan zadatak, što je takođe opravdano jer smanjuje metodološku heterogenost na nivou ishodišnih mera, a biva moguće jer je poslednjih godina sve brži rast broja objavljenih članaka u kojima je korišćena metodologija tDCS (Sun et al., 2022). Jedna meta-analiza (Schroeder et al., 2020) je bila fokusirana na inhibiciju odgovaranja i samo na efekte tDCS-a na učinak u Stop-signal zadatku i zadatku Kreni-stani i u nju je ukupno bilo uključeno preko 50 studija. Druge meta-analize koje bi se oslanjale na rezultate studija koje ispituju latentnu strukturu funkcija inhibitorne kontrole i onda iscrpno pristupila evaluaciji efekata tDCS-a na neku od funkcija inhibicije (na primer. kontrolu interferencije, ili postignuće u Strupovom zadatku), i dalje nisu urađene.

Na kraju, kada se uzmu u obzir navedeni izazovi u vezi sa procenom veličine efekta tDCS na kognitivne funkcije uopšte, a specifično na inhibitornu kontrolu, može se doći do zaključka da nulti efekti na glavne mere inhibitorne kontrole, dobijeni u ovom radu, nisu sasvim neočekivani i u skladu su sa rezultatima drugih studija.

4.4 Ograničenja i sugestije za naredna istraživanja

Jedno od ograničenja koje je postojalo u ovom radu je homogenost u pogledu uzrasta ispitanika koji su mahom bili studentska populacija. Naime, postoje nalazi o razlikama između mlađih i starijih ispitanika na merama inhibicije dominantnih odgovora, konkretno da su mlađi uspešniji u zadacima navedene funkcije. Rezultati u vezi kontrole distraktorske interferencije su nekonzistentni, ukazujući čak i na to da je određeni deo starijih ispitanika bio uspešniji u odnosu na mlađe (Pettigrew & Martin, 2014; Rey-Mermet et al., 2018). Postoji verovatnoća da bi u uzorku koji bi bio konstituisan od ispitanika različitih uzrasnih grupa bila veća varijabilnost i potencijalno više korelacije između pojedinačnih mera. Takođe, i u eksperimentalnom delu

ovog rada je uzorak bio ograničen na studentsku populaciju, visoko obrazovanih, funkcionalnih, mladih i zdravih ispitanika. Stoga, moguće je da je kod ispitanika funkcionisanje inhibitorne kontrole bilo na optimalnom nivou i stoga je, potencijalni napredak navedenih funkcija putem neuromodulacije bio otežan.

U okviru teorije adaptacije na konflikt koja se odnosi na kognitivnu kontrolu uopšte (Botvinick et al., 2004; Botvinick & Cohen, 2014; Keye et al., 2008), osim efekata konflikta, ističu se i efekti konteksta. Efekti konteksta predstavljaju uticaj kategorije stimulusa koja prethodi trenutnom. Naime, za vreme reakcije značajno utiče da li je prethodno prikazani stimulus pripadao istoj kategoriji kao i trenutni stimulus. Ukoliko je kategorija ista (na primer, nekongruentni stimulus prethodi nekongruentnom), onda dolazi do ubrzavanja RT, odnosno adaptacije na konflikt. Kada je prethodna kategorija različita, (na primer, kongruentni stimulus prethodi nekongruentnom), dolazi do usporavanja RT. Konflikt je najjači u situaciji kada kongruentni stimulusi prethodne nekongruentnim, kada dolazi do najvećeg usporavanja. Konflikt je najslabiji kad kongruentnim stimulusima prethodne kongruentni, kada dolazi do najvećeg ubrzanja RT. Uvođenjem efekata konteksta kao dodatnog kriterijuma za ujednačavanje pri kreiranju liste stimulusa bi zahtevalo produžavanje zadataka, kako bi se jednak broj puta ponovila svaka situacija, što bi posebno produžilo Flanker zadatke u kojima je bilo čak četiri i pet različitih kategorija stimulusa. S obzirom da efekti konteksta nisu bili od ključnog značaja za ispitivane funkcije inhibitorne kontrole, samim tim ni za hipoteze, a bilo je značajno da svi planirani zadaci budu administrirani u jednoj sesiji, odlučeno je da se efekti konteksta ne uzimaju u obzir pri kreiranju zadataka, iako bi potencijalno uticali na pojedinačna vremena reakcije. Međutim, iako kreirane liste stimulusa nisu bile sistematski ujednačavane u pogledu efekata konteksta, može se pretpostaviti da su sve kombinacije efekata konteksta bile približno podjednako prisutne u zadacima, što znači da ovi efekti verovatno nisu imali krucijalni značaj na validnost korišćenih mera u ovom radu.

Postoji i ograničenje u vidu veličine uzorka u eksperimentu koja nije dovoljna za poređenje dve situacije aktivne stimulacije između kojih se pretpostavlja da je manja razlika u postignuću i efektima stimulacije, u odnosu na razliku između aktivne i lažne stimulacije. Stoga, kako bi se, sa više statističke snage, identifikovao ovaj manji efekat, potreban je veći uzorak od onog koji je bio u ovom radu. Ipak, u kontekstu odsustva razlike između sham i aktivnih stimulacija, postavlja se pitanje opravdanosti očekivanja diferencijalnih efekata stimulacija različitih lokusa, kao i pitanje minimalne veličine efekta koji bi se smatrao supstantivnim a ne samo statistički značajnim.

Takođe, treba i napomenuti da su u okviru eksperimentalnog dela ovog rada, kao ishodišne mere korišćeni pojedinačni zadaci inhibitorne kontrole. Kako je već napomenuto u Poglavlju 1, zadaci egzekutivnih funkcija, pa i inhibicije podležu problemu nečistoće zadataka, pa je postignuće u pojedinačnim zadacima često uslovljeno i varijansom specifičnom za sam zadatak, a ne samo pretpostavljenom merenom funkcijom, usled čega se validnijom procenom egzekutivnih funkcija smatra zadavanje većeg broja zadataka i računanje latentnih skorova (Miyake et al., 2000; Friedman & Miyake, 2017). Stoga, opravdano je pretpostaviti da bi se efekti stimulacije na različite funkcije inhibitorne kontrole pouzdanije procenili ovakvim postupkom za koji bi bio potreban znatno veći uzorak. Za sada ne postoje raspoloživi empirijski nalazi o efektima neuromodulacije na latentne skorove inhibitorne kontrole. Naredna istraživanja bi mogla da se fokusiraju na ispitivanje stimulacije jednog optimalnog protokola na latentne skorove jedne funkcije. Na osnovu rezultata ovog istraživanja, opravdano bi bilo ispitati efekte stimulacije desnog IFG na latentnu dimenziju inhibicije odgovaranja, s obzirom na to da je ovaj faktor pokazao najbolja zasićenja i najviše korelacije unutar funkcije.

5 ZAKLJUČAK

Centralna tema ovog rada je bila struktura različitih funkcija inhibitorne kontrole, ispitana kako iz psihometrijskog tako i iz neuralnog ugla. U literaturi se inhibicija ne konceptualizuje kao jedinstveni konstrukt, već kao porodica različitih, više ili manje međusobno povezanih funkcija. Suština psihometrijskog dela ovog rada je bila u testiranju jedinstvenosti nasuprot razdvojenosti različitih funkcija inhibitorne kontrole putem zadavanja većeg broja kognitivnih zadataka koji se dominantno koriste u literaturi kao mere inhibicije. Sa druge strane, na neuralnom planu je ispitana mogućnost egzogenog uticaja neinvazivnom neuromodulacijom mozga na funkcije inhibitorne kontrole, prethodno određene na osnovu rezultata psihometrijskog dela rada.

Na osnovu prethodnih nalaza, u okviru različitih funkcija inhibicije pretpostavljena je razlika između inhibicije odgovaranja i kontrole interferencije, u okviru koje se razdvojeno mogu koncipirati kontrola distraktorske interferencije (stimulus-stimulus konflikta) i kontrole interferencije odgovora (stimulus-odgovor konflikta). U rezultatima se izdvojila trofaktorska struktura, odnosno razjedinjenost sve tri navedene funkcije inhibitorne kontrole. Kontrola distraktorske interferencije nije konvergirala sa kontrolom interferencije odgovora u opštu kontrolu interferencije. Ipak, treba istaknuti da se inhibicija odgovaranja pokazala kao najrobusnija dobijena funkcija, sa najvišim zasićenjima i značajnim korelacijama između pojedinačnih mera unutar funkcije. Kontrola distraktorske interferencije je imala niža zasićenja i po koju nultu korelaciju između mera unutar funkcije, pa je kao takva bila manje ali prihvatljivo robusna. Finalno, u okviru kontrole interferencije odgovora su bila najniža zasićenja, a sve korelacije između pojedinačnih mera ispod statističke značajnosti, gde je praktično samo klasičan Strupov zadatak ostvario marginalno značajne korelacije unutar funkcije, i samim tim imao najveće zasićenje na latentnom faktoru kontrole interferencije odgovora. Ovaj faktor se ispostavio kao najmanje robusan, i skoro ceo se mogao svesti na varijansu jednog zadatka. Samim tim, iako se trofaktorski model izdvojio kao najpodesniji, vrednosti pokazatelja njegovog fita nisu bile idealne, u apsolutnom smislu. Korelacije između dobijenih pojedinačnih funkcija inhibicija su bile niske, praktično nulte, što nije u skladu sa većinom prethodnih studija, a značajan broj korelacija između pojedinačnih zadataka su takođe bile nulte. Stoga, zaključak o trofaktorskoj strukturi funkcija inhibitorne kontrole i status kontrole interferencije odgovora kao nezavisne funkcije treba uzeti sa dozom rezerve. Ipak, ovaj rad se izdvaja po tome što je praktično jedini u kojem je identifikovana navedena trofaktorska struktura, a da su zadaci koji su korišćeni zapravo bili adekvatni za merenje pretpostavljenih funkcija, što rezultatima daje dodatan značaj i doprinos u oblasti istraživanja inhibitorne kontrole.

Na neuralnom nivou su identifikovana ključna čvorišta mreža koja imaju ulogu u inhibiciji odgovaranja (desni inferiorni frontalni girus, IFG) i kontroli interferencije / konflikta (anteriorni cingulatni korteks, ACC). Ipak ovi lokusi nisu jednostavne mete za neuromodulaciju s obzirom na njihovu neuronatonsku poziciju, povezanost sa drugim regionima i veličinu, o čemu svedoči veliki broj različitih montaža koje se sreću u literaturi. U ovom radu načinjen je veći broj koraka kako bi se maksimizovala fokalnost i preciznost stimulacije. Ipak, neuromodulacija navedenih regiona transkranijalnom stimulacijom jednosmernom strujom nije dovela do značajnih efekata na inhibiciju odgovaranja i kontrolu interferencije. Međutim, ovi nalazi ne ukazuju jednoznačno na to da navedene regije nemaju ulogu u procesima inhibitorne kontrole, s obzirom na obimnu empirijsku građu o značajnom doprinosu aktivnosti navedenih regija u neuronskim mrežama od značaja za inhibitornu kontrolu u studijama koje koriste tehnike neuroodslikavanja. Sa druge strane, rezultati ovog rada u se uklapaju sa prethodnim studijama o efektima stimulacije na inhibitornu kontrolu s

obzirom na to da se pregledom literature mogu naći i pozitivni i nulti efekti stimulacije na inhibiciju.

Jedan od glavnih doprinosa novom znanju u oblasti istraživanja egzekutivnih funkcija koji je ovaj rad ponudio jeste pionirski pristup u vidu sistematskog ispitivanja mogućnosti neuromodulacije različitih funkcija inhibitorne kontrole. U prethodnim eksperimentima su istraživači uglavnom bili fokusirani na mere derivirane iz pojedinačnih zadataka, bez procene efekata u kontekstu nekog šireg psihometrijskog modela funkcija inhibicije. Međutim, s obzirom na dobijene nulte efekte stimulacije, treba istaći i to da su rezultati dobijeni u eksperimentalnom delu ovog rada nekonkluzivni u pogledu odgovora na istraživačko pitanje o preslikavanju strukture funkcija inhibitorne kontrole sa psihometrijskog na neuralni plan. Takođe, eksperimentalni deo ovog rada imao je doprinos oblasti i u tome što je lokacija stimulacije bio anteriorni cingulatni korteks. Naime, u poslednjih par godina je objavljeno samo nekoliko radova u kojima je stimulisan dati region, a u kontekstu inhibitorne kontrole svega četiri, u kojima su takođe dobijani međusobno nekonzistentni rezultati. Još jedna novina u vezi sa eksperimentalnim delom ovog rada je u tome što su ispitani efekti na kontrolu distraktorske interferencije merene zadatkom Podudaranja oblika, za razliku od prethodnih studija u kojima se od mera date funkcije koristio samo Flanker zadatak ali skorovan tako da osim stimulus-stimulus konflikta reflektuje i stimulus-odgovor konflikt. Takođe, u tim studijama, postignuće na Flanker zadatku nije konceptualizovano tako da meri kontrolu distraktorske interferencije, već inhibicije uopšte. Stoga, pokušaj da se u ovom radu provere efekti stimulacije na specifične funkcije inhibicije je samo jedan od koraka daljih istraživanja u ovom smeru.

Dodatno, diskutovani su i određeni izazovi u oblasti koji se reflektuju i na rezultate ovog rada. Na psihometrijskom nivou je primetan problem niskih korelacija između pojedinačnih zadataka inhibicije, što često rezultuje i lošijim merama fita testiranih modela. Potencijalno prevazilaženje ovih poteškoća je u modifikaciji načina merenja inhibitorne kontrole, pogotovo kada se radi o diferencijalnim skorovima prosečnog vremena reakcije. Na osnovu postojeće literature su predloženi alternativni načini merenja koji se mogu svesti na konstrukciju zadataka inhibitorne kontrole sa adaptivnom težinom, sa jedne strane, i kombinovanje mera tačnosti i vremena reakcije u jedinstvenu meru uspešnosti inhibicije, sa druge strane.

U vezi sa neuromodulacijom funkcija inhibitorne kontrole predloženi su načini dalje optimizacije protokola stimulacije u vidu aplikovanja oscilatornih protokola u frekvenciji dominantnoj za određenu funkciju inhibitorne kontrole ili korišćenja nedavno razvijenih tehnika za stimulaciju dubljih moždanih struktura. Osim tehničkog usavršavanja protokola sa ciljem što veće preciznosti u stimulaciji, postoji potreba za resistematizovanjem dosadašnjih otkrića u vezi sa mogućnostima uticaja tehnikama neinvazivne stimulacije mozga na egzekutivnu funkciju inhibicije. Sprovođenje novih meta-analiza koje bi pri selekciji studija uzimale u obzir i nalaze psihometrijskih studija o strukturi inhibitorne kontrole, kao i kvalitet samih zadataka bi dovelo do bolje procene efekata stimulacije na inhibitornu kontrolu i njene funkcije. Treba uzeti u obzir mogućnost da je značajan broj sprovedenih tDCS studija u vezi sa inhibitornom kontrolom, usled nedovoljno dobre procene jačine efekata na ishodišne mere, ostalo ispod dovoljnog nivoa statističke snage, što navodi na preporuku o korišćenju većih uzoraka u budućim istraživanjima. Kombinovanje znanja iz psihometrije, teorije merenja, neurofiziologije i elektrotehničkog inženjerstva bi svakako doprinelo kvalitetu narednih istraživanja, a ovaj rad je samo jedan od mnogih koji će doprineti boljem razumevanju kognitivnih i neurofizioloških mehanizama egzekutivne funkcije inhibicije.

6. REFERENCE

- Adelhöfer, N., Stock, A. K., & Beste, C. (2021). Anodal tDCS modulates specific processing codes during conflict monitoring associated with superior and middle frontal cortices. *Brain Structure and Function*, 226(4), 1335–1351. <https://doi.org/10.1007/s00429-021-02245-4>
- Alavi, M., Visentin, D. C., Thapa, D. K., Hunt, G. E., Watson, R., & Cleary, M. (2020). Chi-square for model fit in confirmatory factor analysis. In *Journal of Advanced Nursing* 76,(9),. 2209–2211. <https://doi.org/10.1111/jan.14399>
- Alvarez, J. A., & Emory, E. (2006). Executive function and the frontal lobes: A meta-analytic review. *Neuropsychology Review*, 16(1), 17–42. <https://doi.org/10.1007/s11065-006-9002-x>
- Antal, A., Alekseichuk, I., Bikson, M., Brockmüller, J., Brunoni, A. R., Ellrich, J., Flöel, A., Fregni, F., George, M. S., Hamilton, R., Haueisen, J., Herrmann, C. S., Hummel, F. C., Lefaucheur, J. P., Liebetanz, D., Loo, C. K., Mccaig, C. D., Miniussi, C., Miranda, P. C., ... Paulus, W. (2017). Low intensity transcranial electric stimulation : Safety , ethical , legal regulatory and application guidelines. *Clinical Neurophysiology*, 128(9), 1774–1809. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2017.06.001>
- Antal, A., & Paulus, W. (2013). Transcranial alternating current stimulation (tACS). *Frontiers in Human Neuroscience*, JUN. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00317>
- Aron, A. R. (2007). The neural basis of inhibition in cognitive control. *Neuroscientist*, 13(3), 214–228. <https://doi.org/10.1177/1073858407299288>
- Aron, A. R., Fletcher, P. C., Bullmore, E. T., Sahakian, B. J., & Robbins, T. W. (2003). Stop-signal inhibition disrupted by damage to right inferior frontal gyrus in humans. *Nature Neuroscience*, 6(2), 115–116. <https://doi.org/10.1038/nn1003>
- Aron, A. R., Robbins, T. W., & Poldrack, R. A. (2004). Inhibition and the right inferior frontal cortex. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(4), 170–177. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2004.02.010>
- Aron, A. R., Robbins, T. W., & 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>
- Banich, M. T. (2019). The Stroop Effect Occurs at Multiple Points Along a Cascade of Control: Evidence From Cognitive Neuroscience Approaches. *Frontiers in Psychology*, 10(October), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02164>
- Bashir, S., Al-Hussain, F., Hamza, A., Asim Niaz, T., Albaradie, R., & Habib, S. S. (2019). Cognitive function assessment during 2 mA transcranial direct current stimulation in

- DLPFC in healthy volunteers. *Physiological Reports*, 7(20).
<https://doi.org/10.14814/phy2.14264>
- Baumert, A., Buchholz, N., Zinkernagel, A., Clarke, P., MacLeod, C., Osinsky, R., & 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 and Behavioral Neuroscience*, 20(1), 34–48. <https://doi.org/10.3758/s13415-019-00726-y>
- Bellaïche, L., Asthana, M., Ehrlis, A.-C., Polak, T., & Herrmann, M. J. (2013). The Modulation of Error Processing in the Medial Frontal Cortex by Transcranial Direct Current Stimulation. *Neuroscience Journal*, 2013, 1–10.
<https://doi.org/10.1155/2013/187692>
- Bender, A. D., Filmer, H. L., & Dux, P. E. (2017). Transcranial direct current stimulation of superior medial frontal cortex disrupts response selection during proactive response inhibition. *NeuroImage*, 158, 455–465.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.10.035>
- Bender, A. D., Filmer, H. L., Garner, K. G., Naughtin, C. K., & Dux, P. E. (2016a). On the relationship between response selection and response inhibition: An individual differences approach. *Attention, Perception, and Psychophysics*, 78(8), 2420–2432.
<https://doi.org/10.3758/s13414-016-1158-8>
- Bender, A. D., Filmer, H. L., Garner, K. G., Naughtin, C. K., & Dux, P. E. (2016b). On the relationship between response selection and response inhibition: An individual differences approach. *Attention, Perception, and Psychophysics*, 78(8), 2420–2432.
<https://doi.org/10.3758/s13414-016-1158-8>
- Bikson, M., Grossman, P., Thomas, C., Zannou, A. L., Jiang, J., Adnan, T., Mourdoukoutas, A. P., Kronberg, G., Truong, D., Boggio, P., Brunoni, A. R., Charvet, L., Fregni, F., Fritsch, B., Gillick, B., Hamilton, R. H., Hampstead, B. M., Jankord, R., Kirton, A., ... Woods, A. J. (2016). Safety of Transcranial Direct Current Stimulation: Evidence Based Update 2016. *Brain Stimulation*, 9(5), 641–661.
<https://doi.org/10.1016/j.brs.2016.06.004>
- Bjekić, J., Živanović, M., & Filipović, S. R. (2021). Transcranial direct current stimulation (TdcS) for memory enhancement. *Journal of Visualized Experiments*, 2021(175).
<https://doi.org/10.3791/62681>
- Blenner, J. L. (1993). The discriminant capacity of the Stroop test in tumor neurosurgical patients and its relationship to the visual evoked potential measure. *Personality and Individual Differences*, 15(1), 99–102. [https://doi.org/10.1016/0191-8869\(93\)90048-8](https://doi.org/10.1016/0191-8869(93)90048-8)
- Botvinick, M. M., Braver, T. S., Barch, D. M., Carter, C. S., & Cohen, J. D. (2001). Conflict monitoring and cognitive control. *Psychological Review*, 108(3), 624–652.
<https://doi.org/10.1037//0033-295x.108.3.624>
- Botvinick, M. M., & Cohen, J. D. (2014). The computational and neural basis of cognitive control: Charted territory and new frontiers. *Cognitive Science*, 38(6), 1249–1285.
<https://doi.org/10.1111/cogs.12126>

- Botvinick, M. M., Cohen, J. D., & Carter, C. S. (2004). Conflict monitoring and anterior cingulate cortex: An update. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(12), 539–546. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2004.10.003>
- Braver, T. S., Barch, D. M., Gray, J. R., Molfese, D. L., & 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>
- Brunoni, A. R., Amadera, J., Berbel, B., Volz, M. S., Rizzerio, B. G., & Fregni, F. (2011). A systematic review on reporting and assessment of adverse effects associated with transcranial direct current stimulation. *International Journal of Neuropsychopharmacology*, 14(8), 1133–1145. <https://doi.org/10.1017/S1461145710001690>
- Bruyer, R., & Brysbaert, M. (2011). Combining speed and accuracy in cognitive psychology: Is the inverse efficiency score (IES) a better dependent variable than the mean reaction time (RT) and the percentage of errors (PE)? *Psychologica Belgica*, 51(1), 5–13. <https://doi.org/10.5334/pb-51-1-5>
- Buchanan, D. M., Bogdanowicz, T., Khanna, N., Lockman-Dufour, G., Robaey, P., & D’angiulli, A. (2021). *brain sciences Systematic Review on the Safety and Tolerability of Transcranial Direct Current Stimulation in Children and Adolescents*. <https://doi.org/10.3390/brainsci>
- Bush, G., & Shin, L. M. (2006). The Multi-Source Interference Task: An fMRI task that reliably activates the cingulo-frontal-parietal cognitive/attention network. *Nature Protocols*, 1(1), 308–313. <https://doi.org/10.1038/nprot.2006.48>
- Button, K. S., Ioannidis, J. P. A., Mokrysz, C., Nosek, B. A., Flint, J., Robinson, E. S. J., & Munafò, M. R. (2013). Power failure: Why small sample size undermines the reliability of neuroscience. *Nature Reviews Neuroscience*, 14(5), 365–376. <https://doi.org/10.1038/nrn3475>
- Cai, W., Oldenkamp, C. L., & Aron, A. R. (2011). A proactive mechanism for selective suppression of response tendencies. *Journal of Neuroscience*, 31(16), 5965–5969. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.6292-10.2011>
- Cai, Y., Li, S., Liu, J., Li, D., Feng, Z., Wang, Q., Chen, C., & Xue, G. (2016). The role of the frontal and parietal cortex in proactive and reactive inhibitory control: A transcranial direct current stimulation study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 28(1), 177–186. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00888
- Campanella, S., Schroder, E., Vanderhasselt, M. A., Baeken, C., Kornreich, C., Verbanck, P., & Burle, B. (2018). Short-Term Impact of tDCS Over the Right Inferior Frontal Cortex on Impulsive Responses in a Go/No-go Task. *Clinical EEG and Neuroscience*, 49(6), 398–406. <https://doi.org/10.1177/1550059418777404>
- Castro-Meneses, L. J., Johnson, B. W., & Sowman, P. F. (2016). Vocal response inhibition is enhanced by anodal tDCS over the right prefrontal cortex. *Experimental Brain Research*, 234(1), 185–195. <https://doi.org/10.1007/s00221-015-4452-0>

- Chatham, C. H., Claus, E. D., Kim, A., Curran, T., Banich, M. T., & Munakata, Y. (2012). Cognitive control reflects context monitoring, not motoric stopping, in response inhibition. *PLoS ONE*, 7(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0031546>
- Chen, S., Jackson, T., Dong, D., Zhang, X., & Chen, H. (2019). Exploring effects of single-session anodal tDCS over the inferior frontal gyrus on responses to food cues and food cravings among highly disinhibited restrained eaters: A preliminary study. *Neuroscience Letters*, 706, 211–216. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2019.05.035>
- Cole, D. A. (1987). Methodological contributions to clinical research. Utility of Confirmatory Factor Analysis in Test Validation Research. In *Journal of Consulting and Clinical Psychology* (Vol. 55, Issue 4).
- Cunillera, T., Brignani, D., Cucurell, D., Fuentemilla, L., & Miniussi, C. (2016). The right inferior frontal cortex in response inhibition: A tDCS–ERP co-registration study. *NeuroImage*, 140, 66–75. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.11.044>
- Cunillera, T., Fuentemilla, L., Brignani, D., Cucurell, D., & Miniussi, C. (2014). A simultaneous modulation of reactive and proactive inhibition processes by anodal tDCS on the right inferior frontal cortex. *PLoS ONE*, 9(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0113537>
- Dagnino, P. C., Braboszcz, C., Kroupi, E., Splittgerber, M., Brauer, H., Dempfle, A., Breitling-Ziegler, C., Prehn-Kristensen, A., Krauel, K., Siniatchkin, M., Moliadze, V., & Soria-Frisch, A. (2023). Stratification of responses to tDCS intervention in a healthy pediatric population based on resting-state EEG profiles. *Scientific Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-34724-5>
- Dambacher, F., Schuhmann, T., Lobbestael, J., Arntz, A., Brugman, S., & Sack, A. T. (2015). No effects of bilateral tDCS over inferior frontal gyrus on response inhibition and aggression. *PLoS ONE*, 10(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0132170>
- Datta, A., Bansal, V., Diaz, J., Patel, J., Reato, D., & 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.e1. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2009.03.005>
- De Zubizaray, G. I., Andrew, C., Zelaya, F. O., Williams, S. C. R., & Dumanoir, C. (2000). Motor response suppression and the prepotent tendency to respond: A parametric fMRI study. *Neuropsychologia*, 38(9), 1280–1291. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(00\)00033-6](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(00)00033-6)
- Dedoncker, J., Brunoni, A. R., Baeken, C., & Vanderhasselt, M. A. (2016). A Systematic Review and Meta-Analysis of the Effects of Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) Over the Dorsolateral Prefrontal Cortex in Healthy and Neuropsychiatric Samples: Influence of Stimulation Parameters. *Brain Stimulation*, 9(4), 501–517. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2016.04.006>
- DeSchepper, B., & Treisman, A. (1996). Visual memory for novel shapes: Implicit coding without attention. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, 22(1), 27–47. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.22.1.27>

- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, 64, 135–168.
<https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
- Ding, Q., Lin, T., Cai, G., Ou, Z., Yao, S., Zhu, H., & Lan, Y. (2023). Individual differences in beta-band oscillations predict motor-inhibitory control. *Frontiers in Neuroscience*, 17.
<https://doi.org/10.3389/fnins.2023.1131862>
- Ditye, T., Jacobson, L., Walsh, V., & Lavidor, M. (2012). Modulating behavioral inhibition by tDCS combined with cognitive training. *Experimental Brain Research*, 219(3), 363–368.
<https://doi.org/10.1007/s00221-012-3098-4>
- Draheim, C., Mashburn, C. A., Martin, J. D., & Engle, R. W. (2019). Reaction time in differential and developmental research: A review and commentary on the problems and alternatives. *Psychological Bulletin*, 145(5), 508–535.
<https://doi.org/10.1037/bul0000192>
- Draheim, C., Tshukara, J. S., & Engle, R. W. (2024). Replication and extension of the toolbox approach to measuring attention control. *Behavior Research Methods*, 56(3), 2135–2157. <https://doi.org/10.3758/s13428-023-02140-2>
- Draheim, C., Tsukahara, J. S., Martin, J. D., Mashburn, C. A., & Engle, R. W. (2021). A toolbox approach to improving the measurement of attention control. *Journal of Experimental Psychology: General*, 150(2), 242–275.
<https://doi.org/10.1037/xge0000783>
- Duann, J. R., Ide, J. S., Luo, X., & Li, C. S. R. (2009). Functional connectivity delineates distinct roles of the inferior frontal cortex and presupplementary motor area in stop signal inhibition. *Journal of Neuroscience*, 29(32), 10171–10179.
<https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1300-09.2009>
- Dubreuil-Vall, L., Chau, P., Ruffini, G., Widge, A. S., & 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.
<https://doi.org/10.1016/j.brs.2019.06.006>
- Durston, S., Thomas, K. M., Yang, Y., Uluğ, A. M., Zimmerman, R. D., & Casey, B. J. (2002). A neural basis for the development of inhibitory control. *Developmental Science*, 5(4), 9–16. <https://doi.org/10.1111/1467-7687.00235>
- Eriksen, B., & Eriksen, C. W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task*. In *Perception & Psychophysics* (Vol. 16, Issue 1).
- Fan, J., Flombaum, J. I., McCandliss, B. D., Thomas, K. M., & Posner, M. I. (2003). Cognitive and brain consequences of conflict. *NeuroImage*, 18(1), 42–57.
<https://doi.org/10.1006/nimg.2002.1319>
- Farhat, L. C., Carvalho, A. F., Solmi, M., & Brunoni, A. R. (2022). Evidence-based umbrella review of cognitive effects of prefrontal tDCS. In *Social Cognitive and Affective Neuroscience* (Vol. 17, Issue 1, pp. 43–60). Oxford University Press.
<https://doi.org/10.1093/scan/nsaa084>

- Faria, P., Hallett, M., & Miranda, P. C. (2011). A finite element analysis of the effect of electrode area and inter-electrode distance on the spatial distribution of the current density in tDCS. *Journal of Neural Engineering*, 8(6). <https://doi.org/10.1088/1741-2560/8/6/066017>
- Faul, A., & Lang. (2007). *G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences*. 39(2) 175–191.
- Fecteau, S., Pascual-Leone, A., Zald, D. H., Liguori, P., Théoret, H., Boggio, P. S., & Fregni, F. (2007). Activation of prefrontal cortex by transcranial direct current stimulation reduces appetite for risk during ambiguous decision making. *Journal of Neuroscience*, 27(23), 6212–6218. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0314-07.2007>
- Fehring, D. J., Illipparampil, R., Acevedo, N., Jaberzadeh, S., Fitzgerald, P. B., & Mansouri, F. A. (2019). Interaction of task-related learning and transcranial direct current stimulation of the prefrontal cortex in modulating executive functions. *Neuropsychologia*, 131, 148–159. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2019.05.011>
- Fertonani, A., Ferrari, C., & Miniussi, C. (2015). What do you feel if I apply transcranial electric stimulation? Safety, sensations and secondary induced effects. *Clinical Neurophysiology*, 126(11), 2181–2188. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2015.03.015>
- Fregni, F., Boggio, P. S., Lima, M. C., Ferreira, M. J. L., Wagner, T., Rigonatti, S. P., Castro, A. W., Souza, D. R., Riberto, M., Freedman, S. D., Nitsche, M. A., & Pascual-Leone, A. (2006). A sham-controlled, phase II trial of transcranial direct current stimulation for the treatment of central pain in traumatic spinal cord injury. *Pain*, 122(1–2), 197–209. <https://doi.org/10.1016/j.pain.2006.02.023>
- Friedman, N. P., & Miyake, A. (2004). The Relations Among Inhibition and Interference Control Functions: A Latent-Variable Analysis. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133(1), 101–135. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.133.1.101>
- Friedman, N. P., & Miyake, A. (2017). Unity and diversity of executive functions: Individual differences as a window on cognitive structure. *Cortex*, 86, 186–204. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2016.04.023>
- Friedman, N. P., Miyake, A., Young, S. E., DeFries, J. C., Corley, R. P., & Hewitt, J. K. (2008). Individual Differences in Executive Functions Are Almost Entirely Genetic in Origin. *Journal of Experimental Psychology: General*, 137(2), 201–225. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.137.2.201>
- Friebs, M. A., & Frings, C. (2019). Cathodal tDCS increases stop-signal reaction time. *Cognitive, Affective and Behavioral Neuroscience*, 19(5), 1129–1142. <https://doi.org/10.3758/s13415-019-00740-0>
- Frings, C., Brinkmann, T., Friebs, M. A., & van Lipzig, T. (2018). Single session tDCS over the left DLPFC disrupts interference processing. *Brain and Cognition*, 120, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2017.11.005>
- Fujiyama, H., Tan, J., Puri, R., & Hinder, M. R. (2022). Influence of tDCS over right inferior frontal gyrus and pre-supplementary motor area on perceptual decision-making and

- response inhibition: A healthy ageing perspective. *Neurobiology of Aging*, 109, 11–21. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2021.09.014>
- Gartner, A., & Strobel, A. (2020). Individual differences in inhibitory control: A latent variable analysis. *Journal of Cognition*, 4(1), 1–18. <https://doi.org/10.5334/joc.150>
- Gbadeyan, O., McMahon, K., Steinhauer, M., & 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>
- Gorrino, I., Canessa, N., & Mattavelli, G. (2023). Testing the effect of high-definition transcranial direct current stimulation of the insular cortex to modulate decision-making and executive control. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 17. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2023.1234837>
- Grossman, N., Bono, D., Dedic, N., Kodandaramaiah, S. B., Rudenko, A., Suk, H. J., Cassara, A. M., Neufeld, E., Kuster, N., Tsai, L. H., Pascual-Leone, A., & Boyden, E. S. (2017). Noninvasive Deep Brain Stimulation via Temporally Interfering Electric Fields. *Cell*, 169(6), 1029–1041.e16. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2017.05.024>
- Guo, Z., Gong, Y., Lu, H., Qiu, R., Wang, X., Zhu, X., & You, X. (2022). Multitarget high-definition transcranial direct current stimulation improves response inhibition more than single-target high-definition transcranial direct current stimulation in healthy participants. *Frontiers in Neuroscience*, 16. <https://doi.org/10.3389/fnins.2022.905247>
- Haaf, J. M., & Rouder, J. N. (2017). Developing Constraint in Bayesian Mixed Models. *Psychological Methods*, 22(4), 779–798. <https://doi.org/10.1037/met0000156>
- Hadžiahmetović, N., Konstantinović, U., & Purić, D. (2021). Is Inhibitory Control Related to Conflict in Reasoning: A Preliminary Study. *Studia Psychologica*, 63(4), 352–368. <https://doi.org/10.31577/SP.2021.04.832>
- Hanslmayr, S., Pastötter, B., Bäuml, K. H., Gruber, S., Wimber, M., & Klimesch, W. (2008). The electrophysiological dynamics of interference during the stroop task. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(2), 215–225. <https://doi.org/10.1162/jocn.2008.20020>
- Harnishfeger, K. K. (1995). The development of cognitive inhibition: Theories, definitions, and research evidence. In *Interference and inhibition in cognition* (pp. 175–204). Academic Press.
- Hazeltine, E., Bunge, S. A., Scanlon, M. D., & Gabrieli, J. D. E. (2003). Material-dependent and material-independent selection processes in the frontal and parietal lobes: An event-related fMRI investigation of response competition. *Neuropsychologia*, 41(9), 1208–1217. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(03\)00040-X](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(03)00040-X)
- Hedge, C., Powell, G., & Sumner, P. (2018). The reliability paradox: Why robust cognitive tasks do not produce reliable individual differences. *Behavior Research Methods*, 50(3), 1166–1186. <https://doi.org/10.3758/s13428-017-0935-1>

- Hill, A. T., Fitzgerald, P. B., & 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. In *Brain Stimulation* (Vol. 9, Issue 2, pp. 197–208). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2015.10.006>
- Hogeveen, J., Grafman, J., Aboseria, M., David, A., Bikson, M., & Hauner, K. K. (2016). Effects of High-Definition and Conventional tDCS on Response Inhibition. *Brain Stimulation*, 9(5), 720–729. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2016.04.015>
- Horvath, J. C., Forte, J. D., & Carter, O. (2015). Brain Stimulation Quantitative Review Finds No Evidence of Cognitive Effects in Healthy Populations From Single-session Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS). *Brain Stimulation*, 8(3), 535–550. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2015.01.400>
- Hsu, T. Y., Tseng, L. Y., Yu, J. X., Kuo, W. J., Hung, D. L., Tzeng, O. J. L., Walsh, V., Muggleton, N. G., & Juan, C. H. (2011). Modulating inhibitory control with direct current stimulation of the superior medial frontal cortex. *NeuroImage*, 56(4), 2249–2257. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.03.059>
- Huang, Y., Datta, A., Bikson, M., & Parra, L. C. (2019). Realistic volumetric-approach to simulate transcranial electric stimulation - ROAST - a fully automated open-source pipeline. *Journal of Neural Engineering*, 16(5). <https://doi.org/10.1088/1741-2552/ab208d>
- Huang, Y., Su, L., & 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., & 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>
- Ioannidis, J. P. A., Munafò, M. R., Fusar-Poli, P., Nosek, B. A., & David, S. P. (2014). Publication and other reporting biases in cognitive sciences: Detection, prevalence, and prevention. In *Trends in Cognitive Sciences* (Vol. 18, Issue 5, pp. 235–241). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2014.02.010>
- Jacobson, L., Javitt, D. C., & Lavidor, M. (2011). *Activation of Inhibition: Diminishing Impulsive Behavior by Direct Current Stimulation over the Inferior Frontal Gyrus*.
- Jamil, A., Batsikadze, G., Kuo, H. I., Labruna, L., Hasan, A., Paulus, W., & Nitsche, M. A. (2017). Systematic evaluation of the impact of stimulation intensity on neuroplastic after-effects induced by transcranial direct current stimulation. *Journal of Physiology*, 595(4), 1273–1288. <https://doi.org/10.1113/JP272738>
- Jazayeri, M., & Shadlen, M. N. (2010). Temporal context calibrates interval timing. *Nature Neuroscience*, 13(8), 1020–1026. <https://doi.org/10.1038/nn.2590>
- Jeon, S. Y., & 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>

- Jewsbury, P. A., Bowden, S. C., & Strauss, M. E. (2016). Integrating the switching, inhibition, and updating model of executive function with the cattell-horn-carroll model. *Journal of Experimental Psychology: General*, 145(2), 220–245.
<https://doi.org/10.1037/xge0000119>
- Kane, M. J., Meier, M. E., Smeekens, B. A., Gross, G. M., Chun, C. A., Silvia, P. J., & Kwapil, T. R. (2016). Individual differences in the executive control of attention, memory, and thought, and their associations with schizotypy. *Journal of Experimental Psychology: General*, 145(8), 1017–1048. <https://doi.org/10.1037/xge0000184>
- Karim, A. A., Schneider, M., Lotze, M., Veit, R., Sauseng, P., Braun, C., & Birbaumer, N. (2010). The truth about lying: Inhibition of the anterior prefrontal cortex improves deceptive behavior. *Cerebral Cortex*, 20(1), 205–213.
<https://doi.org/10.1093/cercor/bhp090>
- Karuza, E. A., Balewski, Z. Z., Hamilton, R. H., Medaglia, J. D., Tardiff, N., & 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(DEC2016), 1–9. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00665>
- Kaur, N., Whitman, E. T., Moser, A. D., Hinojosa, C. A., VanElzakker, M. B., Camprodon, J. A., Brunyé, T. T., & Shin, L. M. (2020). Targeting the anterior cingulate with bipolar and high-definition transcranial direct current stimulation. *NeuroReport*, 31(4), 346–351.
<https://doi.org/10.1097/WNR.0000000000001413>
- Kerns, J. G., Cohen, J. D., Iii, A. W. M., Cho, R. Y., Stenger, A., & Carter, C. S. (2011). Anterior Cingulate Conflict Monitoring and Adjustments in Control Published by : American Association for the Advancement of Science Stable URL :
<http://www.jstor.org/stable/3836141> . *Advancement Of Science*, 303(5660), 1023–1026.
- Khan, A., Chen, C., Eden, C. H., Yuan, K., Tse, C. Y., Lou, W., & Tong, K. Y. (2022). Impact of anodal high-definition transcranial direct current stimulation of medial prefrontal cortex on stroop task performance and its electrophysiological correlates. A pilot study. *Neuroscience Research*, 181, 46–54. <https://doi.org/10.1016/j.neures.2022.03.006>
- Khan, A., Wang, X., Ti, C. H. E., Tse, C. Y., & Tong, K. Y. (2020). Anodal Transcranial Direct Current Stimulation of Anterior Cingulate Cortex Modulates Subcortical Brain Regions Resulting in Cognitive Enhancement. *Frontiers in Human Neuroscience*, 14.
<https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.584136>
- Kim, Y., Lee, J. H., Park, J. C., Kwon, J., Kim, H., Seo, J., & Min, B. K. (2024). Neuromodulation of inhibitory control using phase-lagged transcranial alternating current stimulation. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 21(1).
<https://doi.org/10.1186/s12984-024-01385-y>
- Klein, E., Mann, A., Huber, S., Bloechle, J., Willmes, K., Karim, A. A., Nuerk, H. C., & Moeller, K. (2013). Bilateral Bi-Cephalic Tdcs with Two Active Electrodes of the Same Polarity Modulates Bilateral Cognitive Processes Differentially. *PLoS ONE*, 8(8).
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0071607>

- Kornblum, S., Hasbroucq, T., & Osman, A. (1990). Dimensional overlap: Cognitive basis for stimulus-response compatibility--A model and taxonomy. *Psychological Review*, 97(2), 253–270. <https://doi.org/10.1037//0033-295x.97.2.253>
- Kuo, H. I., Bikson, M., Datta, A., Minhas, P., Paulus, W., Kuo, M. F., & Nitsche, M. A. (2013). Comparing cortical plasticity induced by conventional and high-definition 4×1 ring tDCS: A neurophysiological study. *Brain Stimulation*, 6(4), 644–648. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2012.09.010>
- Kwon, Y. H., & Kwon, J. W. (2013). Response inhibition induced in the stop-signal task by transcranial direct current stimulation of the pre-supplementary motor area and primary sensoriomotor cortex. *Journal of Physical Therapy Science*, 25(9), 1083–1086. <https://doi.org/10.1589/jpts.25.1083>
- Lage, S., Canabarro, S., Paniago, C. K., Santos, P. M., Da, L., Rosa, S., Espíndola, V., Borges, L., Mcmanus, D. P., Garcia, A., Satler, C., Brasil-Neto, J. P., Clotilde, M., & Tavares, H. Is cathodal prefrontal transcranial direct current stimulation capable of affecting inhibitory control and sustained attention? A single-blind, crossover, sham-controlled study (preprint). <https://doi.org/10.1101/2020.01.20.912287>
- Laskov, O., Biačková, N., Stuchlíková, Z., Kostýlková, L., & Klírová, M. (2023). Inhibitory Control in Young Healthy Adults – a tDCS Study. *Physiological Research*, 72(5), 633–644. <https://doi.org/10.33549/physiolres.935066>
- Leite, J., Gonçalves, Ó. F., Pereira, P., Khadka, N., Bikson, M., Fregni, F., & Carvalho, S. (2018). The differential effects of unihemispheric and bihemispheric tDCS over the inferior frontal gyrus on proactive control. *Neuroscience Research*, 130, 39–46. <https://doi.org/10.1016/j.neures.2017.08.005>
- León, J. J., Sánchez-Kuhn, A., Fernández-Martín, P., Páez-Pérez, M. A., Thomas, C., Datta, A., Sánchez-Santed, F., & Flores, P. (2020). Transcranial direct current stimulation improves risky decision making in women but not in men: A sham-controlled study. *Behavioural Brain Research*, 382. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2020.112485>
- Li, C. S. R., Huang, C., Constable, R. T., & Sinha, R. (2006). Imaging response inhibition in a stop-signal task: Neural correlates independent of signal monitoring and post-response processing. *Journal of Neuroscience*, 26(1), 186–192. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3741-05.2006>
- Li, L. M., Violante, I. R., Leech, R., Hampshire, A., Opitz, A., McArthur, D., Carmichael, D. W., & Sharp, D. J. (2019). Cognitive enhancement with Salience Network electrical stimulation is influenced by network structural connectivity. *NeuroImage*, 185, 425–433. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.10.069>
- Liang, W. K., Lo, M. T., Yang, A. C., Peng, C. K., Cheng, S. K., Tseng, P., & Juan, C. H. (2014). Revealing the brain's adaptability and the transcranial direct current stimulation facilitating effect in inhibitory control by multiscale entropy. *NeuroImage*, 90, 218–234. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.12.048>

- Liesefeld, H. R., & Janczyk, M. (2019). Combining speed and accuracy to control for speed-accuracy trade-offs(?). *Behavior Research Methods*, 51(1), 40–60. <https://doi.org/10.3758/s13428-018-1076-x>
- Loftus, A. M., Yalcin, O., Baughman, F. D., Vanman, E. J., & 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>
- MacLeod, C. M. (1991). Half a century of research on the Stroop effect: An integrative review. *Psychological Bulletin*, 109(2), 163–203. <https://doi.org/10.1037//0033-2909.109.2.163>
- MacLeod, C. M., Dodd, M. D., Sheard, E. D., Wilson, D. E., & Bibi, U. (2003). In Opposition to Inhibition. *Psychology of Learning and Motivation - Advances in Research and Theory*, 43, 163–214. [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(03\)01014-4](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(03)01014-4)
- Mansouri, F. A., Acevedo, N., Illipparampil, R., Fehring, D. J., Fitzgerald, P. B., & Jaberzadeh, S. (2017). Interactive effects of music and prefrontal cortex stimulation in modulating response inhibition. *Scientific Reports*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-18119-x>
- Mattavelli, G., Lo Presti, S., Tornaghi, D., & Canessa, N. (2022). High-definition transcranial direct current stimulation of the dorsal anterior cingulate cortex modulates decision-making and executive control. *Brain Structure and Function*, 227(5), 1565–1576. <https://doi.org/10.1007/s00429-022-02456-3>
- Medina, J., & 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>
- Meng, Q., Zhu, Y., Yuan, Y., Ni, R., Yang, L., Liu, J., & Bu, J. (2023). Dual-site beta tACS over rIFG and M1 enhances response inhibition: A parallel multiple control and replication study. *International Journal of Clinical and Health Psychology*, 23(4). <https://doi.org/10.1016/j.ijchp.2023.100411>
- Miller, E. K., & Cohen, J. D. (2001). An integrate theory of PFC function. *Annual Review of Neuroscience*, 24, 167–202.
- Miniussi, C., Harris, J. A., & Ruzzoli, M. (2013). Modelling non-invasive brain stimulation in cognitive neuroscience. In *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* (Vol. 37, Issue 8, pp. 1702–1712). <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.06.014>
- Miyake, A., & 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>
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & 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.1999.0734>

- Munakata, Y., Herd, S. A., Chatham, C. H., Depue, B. E., Banich, M. T., & O'Reilly, R. C. (2011). A unified framework for inhibitory control. *Trends in Cognitive Sciences*, 15(10), 453–459. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2011.07.011>
- Nachev, P., Wydell, H., O'Neill, K., Husain, M., & Kennard, C. (2007). The role of the pre-supplementary motor area in the control of action. *NeuroImage*, 36(SUPPL. 2), 155–163. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.03.034>
- Nejati, V., Salehinejad, M. A., & Nitsche, M. A. (2018). Interaction of the Left Dorsolateral Prefrontal Cortex (l-DLPFC) and Right Orbitofrontal Cortex (OFC) in Hot and Cold Executive Functions: Evidence from Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS). *Neuroscience*, 369, 109–123. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2017.10.042>
- Nieratschker, V., Kiefer, C., Giel, K., Krüger, R., & Plewnia, C. (2015). The COMT Val/Met polymorphism modulates effects of tDCS on response inhibition. *Brain Stimulation*, 8(2), 283–288. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2014.11.009>
- 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), 220–246. <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 and Allied Disciplines*, 58(4), 361–383. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12675>
- Nissen, M. J., & Bullemer, P. (1987). Attentional Requirements of Learning: Evidence from Performance Measures. In *COGNITIVE PSYCHOLOGY* (Vol. 19).
- Nitsche, M. A., & Paulus, W. (2011). Transcranial direct current stimulation - Update 2011. In *Restorative Neurology and Neuroscience* (Vol. 29, Issue 6, pp. 463–492). <https://doi.org/10.3233/RNN-2011-0618>
- Nitsche, M., Cohen, L. G., Wassermann, E. M., Priori, A., Lang, N., Antal, A., Paulus, W., Hummel, F., Boggio, P. S., Fregni, F., & 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>
- Oehr, C. R., Hanslmayr, S., Fell, J., Deuker, L., Kremers, N. A., Do Lam, A. T., Elger, C. E., & Axmacher, N. (2014). Neural communication patterns underlying conflict detection, resolution, and adaptation. *Journal of Neuroscience*, 34(31), 10438–10452. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3099-13.2014>
- Open Science Collaboration (2015). Psychology. Estimating the reproducibility of psychological science. *Science*, 349(6251), aac4716
- 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>

- Paap, K. R., Anders-Jefferson, R., Zimiga, B., Mason, L., & Mikulinsky, R. (2020). Interference scores have inadequate concurrent and convergent validity: Should we stop using the flanker, Simon, and spatial Stroop tasks? *Cognitive Research: Principles and Implications*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s41235-020-0207-y>
- Paap, K. R., & Sawi, O. (2016). The role of test-retest reliability in measuring individual and group differences in executive functioning. *Journal of Neuroscience Methods*, 274, 81–93. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2016.10.002>
- Pennington, B. F., & Ozonoff, S. (1996). *Executive Functions and Developmental Psychopathology* (Vol. 37, Issue I).
- Perrotta, D., Bianco, V., Berchicci, M., Quinzi, F., & 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. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2021.113215>
- Peterson, B. S., Kane, M. J., Alexander, G. M., Lacadie, C., Skudlarski, P., Leung, H. C., May, J., & Gore, J. C. (2002). An event-related functional MRI study comparing interference effects in the Simon and Stroop tasks. *Cognitive Brain Research*, 13(3), 427–440. [https://doi.org/10.1016/S0926-6410\(02\)00054-X](https://doi.org/10.1016/S0926-6410(02)00054-X)
- Pettigrew, C., & Martin, R. C. (2014). Cognitive declines in healthy aging: Evidence from multiple aspects of interference resolution. *Psychology and Aging*, 29(2), 187–204. <https://doi.org/10.1037/a0036085>
- Plewnia, C., Zwissler, B., Längst, I., Maurer, B., Giel, K., & Krüger, R. (2013). Effects of transcranial direct current stimulation (tDCS) on executive functions: Influence of COMT Val/Met polymorphism. *Cortex*, 49(7), 1801–1807. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2012.11.002>
- Poreisz, C., Boros, K., Antal, A., & Paulus, W. (2007). Safety aspects of transcranial direct current stimulation concerning healthy subjects and patients. *Brain Research Bulletin*, 72(4–6), 208–214. <https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2007.01.004>
- Price, A. R., & Hamilton, R. H. (2015). A re-evaluation of the cognitive effects from single-session transcranial direct current stimulation. *Brain Stimulation*, 8(3), 663–665. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2015.03.007>
- Purić, D. (2013). *Odnos egzekutivnih funkcija i crta ličnosti*. (Doktorska disertacija). Filozofski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd
- Rae, C. L., Hughes, L. E., Anderson, M. C., & Rowe, J. B. (2015). The prefrontal cortex achieves inhibitory control by facilitating subcortical motor pathway connectivity. *Journal of Neuroscience*, 35(2), 786–794. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3093-13.2015>
- Reinhart, R. M. G., & Woodman, G. F. (2014). Causal control of medial-frontal cortex governs electrophysiological and behavioral indices of performance monitoring and learning. *Journal of Neuroscience*, 34(12), 4214–4227. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5421-13.2014>

- Rey-Mermet, A., Gade, M., & Oberauer, K. (2018). Should we stop thinking about inhibition? Searching for individual and age differences in inhibition ability. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, 44(4), 501–526. <https://doi.org/10.1037/xlm0000450>
- Richardson, J. T. E. (2011). Eta squared and partial eta squared as measures of effect size in educational research. In *Educational Research Review* (Vol. 6, Issue 2, pp. 135–147). <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2010.12.001>
- Robertson, E. M. (2007). The serial reaction time task: Implicit motor skill learning? In *Journal of Neuroscience* (Vol. 27, Issue 38, pp. 10073–10075). <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2747-07.2007>
- Rouder, J. N., & Haaf, J. M. (2019). A psychometrics of individual differences in experimental tasks. *Psychonomic Bulletin and Review*, 26(2), 452–467. <https://doi.org/10.3758/s13423-018-1558-y>
- Rourke, N. O. ', & Hatcher, L. (2013). *A Step-by-Step Approach to Using SAS ® for Factor Analysis and Structural Equation Modeling Second Edition*. SAS institute
- Saleem, G. T., Crasta, J. E., Slomine, B. S., Cantarero, G. L., & Suskauer, S. J. (2019). Transcranial Direct Current Stimulation in Pediatric Motor Disorders: A Systematic Review and Meta-analysis. In *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* (Vol. 100, Issue 4, pp. 724–738). W.B. Saunders. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2018.10.011>
- Salehinejad, M. A., Wischniewski, M., Nejati, V., Vicario, C. M., & Nitsche, M. A. (2019). Transcranial direct current stimulation in attention-deficit hyperactivity disorder: A meta-analysis of neuropsychological deficits. *PLoS ONE*, 14(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215095>
- Sallard, E., Mouthon, M., De Pretto, M., & Spierer, L. (2018). Modulation of inhibitory control by prefrontal anodal tDCS: A crossover double-blind sham-controlled fMRI study. *PLoS ONE*, 13(3), 1–15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194936>
- Sandrini, M., Xu, B., Volochayev, R., Awosika, O., Wang, W. T., Butman, J. A., & Cohen, L. G. (2020). Transcranial direct current stimulation facilitates response inhibition through dynamic modulation of the fronto-basal ganglia network. *Brain Stimulation*, 13(1), 96–104. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2019.08.004>
- Saturnino, G. B., Madsen, K. H., & Thielscher, A. (2021). Optimizing the electric field strength in multiple targets for multichannel transcranial electric stimulation. *Journal of Neural Engineering*, 18(1). <https://doi.org/10.1088/1741-2552/abca15>
- Schaum, M., Pinzuti, E., Sebastian, A., Lieb, K., Fries, P., Mobascher, A., Jung, P., Wibral, M., & Tüscher, O. (2021). Right inferior frontal gyrus implements motor inhibitory control via beta-band oscillations in humans. *ELife*, 10. <https://doi.org/10.7554/eLife.61679>
- Schroeder, P. A., Schwippel, T., Wolz, I., & Svaldi, J. (2020). Meta-analysis of the effects of transcranial direct current stimulation on inhibitory control. In *Brain Stimulation* (Vol. 13, Issue 5, pp. 1159–1167). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2020.05.006>

- Sedgmond, J., Lawrence, N. S., Verbruggen, F., Morrison, S., Chambers, C. D., & Adams, R. C. (2019). Prefrontal brain stimulation during food-related inhibition training: Effects on food craving, food consumption and inhibitory control. *Royal Society Open Science*, 6(1). <https://doi.org/10.1098/rsos.181186>
- Sharp, D. J., Bonnelle, V., De Boissezon, X., Beckmann, C. F., James, S. G., Patel, M. C., & Mehta, M. A. (2010). Distinct frontal systems for response inhibition, attentional capture, and error processing. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(13), 6106–6111. <https://doi.org/10.1073/pnas.1000175107>
- Shiga, K., Miyaguchi, S., Inukai, Y., Otsuru, N., & Onishi, H. (2023). Transcranial direct current stimulation over the right intraparietal sulcus improves response inhibition. *Behavioural Brain Research*, 437. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2022.114110>
- Sikstrom, S., Jurgensen, A. M., Haghighi, M., Månsson, D., Smidelik, D., & Habekost, T. (2016). Self-Rated Attentiveness Interacts with Transcranial Direct Current Stimulation and Noise Stimulation in Reaction Time in a Go/No-Go Task. *Neural Plasticity*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/5302538>
- Singh, K., Ecker, U. K. H., & Brydges, C. R. (n.d.). *Interference Control in Working Memory*. <https://www.researchgate.net/publication/322654075>
- Soares, S. M. P., Ong, G., Abutaleb, J., Del Maschio, N., Sewell, D., & Weekes, B. (2019). A diffusion model approach to analyzing performance on the Flanker task: The role of the DLPFC. *Bilingualism*, 22(5), 1194–1208. <https://doi.org/10.1017/S1366728918000974>
- Stagg, C. J., & Nitsche, M. A. (2011). Physiological Basis of Transcranial Direct Current Stimulation. *The Neuroscientist*, 17(1), 37–53. <https://doi.org/10.1177/1073858410386614>
- Stahl, C., Voss, A., Schmitz, F., Nuszbaum, M., Tüscher, O., Lieb, K., & Klauer, K. C. (2014). Behavioral components of impulsivity. *Journal of Experimental Psychology: General*, 143(2), 850–886. <https://doi.org/10.1037/a0033981>
- Stanković, M., Živanović, M., Bjekić, J., & Filipović, S. R. (2022). Blinding in tDCS Studies: Correct End-of-Study Guess Does Not Moderate the Effects on Associative and Working Memory. *Brain Sciences*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/brainsci12010058>
- Stramaccia, D. F., Penolazzi, B., Altoè, G., & Galfano, G. (2017). TDCS over the right inferior frontal gyrus disrupts control of interference in memory: A retrieval-induced forgetting study. *Neurobiology of Learning and Memory*, 144, 114–130. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2017.07.005>
- Stramaccia, D. F., Penolazzi, B., Sartori, G., Braga, M., Mondini, S., & Galfano, G. (2015). Assessing the effects of tDCS over a delayed response inhibition task by targeting the right inferior frontal gyrus and right dorsolateral prefrontal cortex. *Experimental Brain Research*, 233(8), 2283–2290. <https://doi.org/10.1007/s00221-015-4297-6>
- 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., & Alexander, M. P. (2000). *Executive functions and the frontal lobes: a conceptual view*.
- Stuss, D. T., Floden, D., Alexander, M. P., Levine, B., & 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)
- Sun, W., Song, J. J., Dong, X., Kang, X., He, B., Zhao, W., Li, Z., Feng, Z., & Chen, X. (2022). Bibliometric and visual analysis of transcranial direct current stimulation in the web of science database from 2000 to 2022 via CiteSpace. *Frontiers in Human Neuroscience*, 16. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2022.1049572>
- Swann, N. C., Cai, W., Conner, C. R., Pieters, T. A., Claffey, M. P., George, J. S., Aron, A. R., & Tandon, N. (2012). Roles for the pre-supplementary motor area and the right inferior frontal gyrus in stopping action: Electrophysiological responses and functional and structural connectivity. *NeuroImage*, 59(3), 2860–2870. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.09.049>
- Swick, D., Ashley, V., & 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>
- Thomas, F., Pixa, N. H., Berger, A., Cheng, M. Y., Doppelmayr, M., & Steinberg, F. (2020). Neither Cathodal nor Anodal Transcranial Direct Current Stimulation on the Left Dorsolateral Prefrontal Cortex alone or Applied During Moderate Aerobic Exercise Modulates Executive Function. *Neuroscience*, 443, 71–83. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2020.07.017>
- Thunberg, C., Messel, M. S., Raud, L., & 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>
- Tiego, J., Testa, R., Bellgrove, M. A., Pantelis, C., & Whittle, S. (2018). A hierarchical model of inhibitory control. *Frontiers in Psychology*, 9(AUG), 1–25. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01339>
- To, W. T., Eroh, J., Hart, J., & Vanneste, S. (2018). Exploring the effects of anodal and cathodal high definition transcranial direct current stimulation targeting the dorsal anterior cingulate cortex. *Scientific Reports*, 8(1), 1–16. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22730-x>
- Townsend, J. T., & Ashby, F. Gregory. (1983). *The stochastic modeling of elementary psychological processes*. Cambridge University Press.
- Unsworth, N., Miller, A. L., & Robison, M. K. (2020). Are individual differences in attention control related to working memory capacity? A latent variable mega-analysis. *Journal of Experimental Psychology: General*, 150(7), 1332–1357. <https://doi.org/10.1037/xge0001000>
- Unsworth, N., & Spillers, G. J. (2010). Working memory capacity: Attention control, secondary memory, or both? A direct test of the dual-component model. *Journal of Memory and Language*, 62(4), 392–406. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2010.02.00>

- , V., & Carter, C. S. (2002). The anterior cingulate as a conflict monitor: FMRI and ERP studies. *Physiology and Behavior*, 77(4–5), 477–482. [https://doi.org/10.1016/S0031-9384\(02\)00930-7](https://doi.org/10.1016/S0031-9384(02)00930-7)
- Van Veen, V., Cohen, J. D., Botvinick, M. M., Stenger, V. A., & Carter, C. S. (2001). Anterior cingulate cortex, conflict monitoring, and levels of processing. *NeuroImage*, 14(6), 1302–1308. <https://doi.org/10.1006/nimg.2001.0923>
- Vendrell, P., Junqué, C., Pujol, J., Jurado, M. A., Molet, J., & 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)
- Verbruggen, F., Aron, A. R., Band, G. P. H., Beste, C., Bissett, P. G., Brockett, A. T., Brown, J. W., Chamberlain, S. R., Chambers, C. D., Colonius, H., Colzato, L. S., Corneil, B. D., Coxon, J. P., Dupuis, A., Eagle, D. M., Garavan, H., Greenhouse, I., Heathcote, A., Huster, R. J., ... Boehler, C. N. (2019). A consensus guide to capturing the ability to inhibit actions and impulsive behaviors in the stop-signal task. *ELife*, 8, 1–26. <https://doi.org/10.7554/eLife.46323>
- Verbruggen, F., & Logan, G. D. (2008). Response inhibition in the stop-signal paradigm Successful stopping: Inhibition and performance monitoring. *Trends in Cognitive Science*, 12(11), 418–424. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2008.07.005>.Response
- Verbruggen, F., & Logan, G. D. (2009). Models of response inhibition in the stop-signal and stop-change paradigms. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 33(5), 647–661. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2008.08.014>
- Violante, I. R., Alania, K., Cassarà, A. M., Neufeld, E., Acerbo, E., Carron, R., Williamson, A., Kurtin, D. L., Rhodes, E., Hampshire, A., Kuster, N., Boyden, E. S., Pascual-Leone, A., & Grossman, N. (2023). Non-invasive temporal interference electrical stimulation of the human hippocampus. *Nature Neuroscience*, 26(11), 1994–2004. <https://doi.org/10.1038/s41593-023-01456-8>
- Wang, L., & Weekes, B. (2014). Neural correlates of the Simon effect modulated by practice with spatial mapping. *Neuropsychologia*, 63(1), 72–84. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2014.08.019>
- Weller, S., Nitsche, M. A., & Plewnia, C. (2020). Enhancing cognitive control training with transcranial direct current stimulation: a systematic parameter study. *Brain Stimulation*, 13(5), 1358–1369. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2020.07.006>
- Woods, A. J., Antal, A., Bikson, M., Boggio, P. S., Brunoni, A. R., Celnik, P., Cohen, L. G., Fregni, F., Herrmann, C. S., Kappenman, E. S., Knotkova, H., Liebetanz, D., Miniussi, C., Miranda, P. C., Paulus, W., Priori, A., Reato, D., Stagg, C., Wenderoth, N., & 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, D., Zhou, Y., Xu, P., Liu, N., Sun, K., & Xiao, W. (2022). Initial performance modulates the effects of cathodal transcranial direct current stimulation (tDCS) over the right

- dorsolateral prefrontal cortex on inhibitory control. *Brain Research*, 1774. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2021.147722>
- Wühr, P. (2007). A stroop effect for spatial orientation. *Journal of General Psychology*, 134(3), 285–294. <https://doi.org/10.3200/GENP.134.3.285-294>
- Wynn, S. C., Driessen, J. M. A., Glennon, J. C., Brazil, I. A., & Schutter, D. J. L. G. (2019). Cerebellar Transcranial Direct Current Stimulation Improves Reactive Response Inhibition in Healthy Volunteers. *Cerebellum*, 18(6), 983–988. <https://doi.org/10.1007/s12311-019-01047-z>
- Yeung, N. (2015). *Conflict Monitoring and Cognitive Control Oxford Handbooks Online Conflict Monitoring and Cognitive Control* (Vol. 2, Issue January). <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199988709.013.0018>
- Yu, J., Tseng, P., Hung, D. L., Wu, S. W., & Juan, C. H. (2015). Brain stimulation improves cognitive control by modulating medial-frontal activity and preSMA-vmPFC functional connectivity. *Human Brain Mapping*, 36(10), 4004–4015. <https://doi.org/10.1002/hbm.22893>
- Zhou, Y., Shi, L., Cui, X., Wang, S., & Luo, X. (2016). Functional connectivity of the caudal anterior cingulate cortex is decreased in autism. *PLoS ONE*, 11(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0151879>
- Živanović, M. (2019). *Efekti transkranijalne neuromodulacije fronto-parijetalne funkcionalne mreže na više kognitivne funkcije*. (Doktorska disertacija). Filozofski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd
- Živanović, M., & Bjekić, J. (2023). tes u kognitivnim neuronaukama official. *Beograd, Institut Za Psihologiju*.
- Živanović, M., Paunović, D., Konstantinović, U., Vulić, K., Bjekić, J., & Filipović, S. R. (2021). The effects of offline and online prefrontal vs parietal transcranial direct current stimulation (tDCS) on verbal and spatial working memory. *Neurobiology of Learning and Memory*, 179. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2021.107398>
- Zmigrod, S., Zmigrod, L., & Hommel, B. (2016). Transcranial direct current stimulation (tDCS) over the right dorsolateral prefrontal cortex affects stimulus conflict but not response conflict. *Neuroscience*, 322, 320–325. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2016.02.046>

7. PRILOZI

Prilog A

Tabela A. Razlike u postignuću u zadacima inhibitorne kontrole u zavisnosti od redosleda zadavanja svakog zadatka u okviru četiri grupe za kontrabalansiranje

Zadatak	1. grupa			2. grupa			3. grupa			4. grupa			Efekat kontrabalansiranja	
	M	SD	Redosled	M	SD	Redosled	M	SD	Redosled	M	SD	Redosled	F	p
Stop-signal oblici	228.89	52.24	1	217.66	60.07	7	234.21	50.08	5	218.22	41.29	10	1.478	.221
Stop-signal brojevi	284.17	47.00	9	289.38	54.85	4	281.54	49.11	8	272.12	57.14	2	1.171	.322
Kreni-stani	380.13	44.40	4	373.21	51.38	1	379.76	47.12	10	366.32	33.69	7	1.312	.271
Semantički SART	707.77	159.85	6	665.16	106.30	9	630.35	79.84	2	631.73	93.81	5	6.257	.001
Eriksen Flanker	35.99	25.29	8	34.33	25.60	6	41.85	29.39	1	37.37	30.61	3	0.815	.486
Flanker strelice	42.86	22.79	5	43.89	18.85	3	42.61	22.10	7	40.41	18.50	9	0.311	.817
Podudaranje oblika	181.34	72.75	2	205.89	84.89	10	186.50	71.93	4	180.33	75.67	6	1.498	.216
Klasični Strup	74.86	96.22	7	98.00	109.95	2	99.16	107.56	3	119.42	75.90	8	2.13	.09
Sajmon	16.06	24.02	3	18.63	23.24	8	20.42	22.67	6	19.05	17.93	4	0.416	.742
Spacijalni Strup	42.41	21.99	10	45.35	23.39	5	47.22	24.66	9	52.34	20.28	1	2.109	.1

Prilog B

*Tabela B1. Mere fit-a testiranih modela u okviru KFA sa proporcijom tačnosti kao skorovima zadatka Kreni-*stan* i i semantičkog SART zadatka*

Model	χ^2 (df)	p	χ^2 /df	TLI	CFI	RMSEA [90%CI]	AIC
3 faktora (IO, SS, SR)	80.758 (32)	.00	2.524	0.598	0.714	.078 [.057 - .099]	19192.953
2 faktora (IO, KK)	91.072 (34)	.00	2.679	0.557	0.665	.082 [.062 - .103]	19199.268
2 faktora (IO, SS)	87.999 (34)	.00	2.588	0.581	0.683	.080 [.059 - .100]	19196.195
1 faktor (GI)	132.063 (35)	.00	3.773	0.268	0.430	.105 [.086 - .124]	19238.259

Legenda: IO – inhibicija odgovaranja; SS – kontrola distraktorske interferencije (SS konflikta); SR – kontrola interferencije odgovora (SR konflikta); IK – opšta kontrola interferencije konflikta; GI – generalni faktor inhibitorne kontrole

*Tabela B2. Mere fit-a testiranih modela u okviru KFA sa prosečnim „go“ RT kao skorovima zadatka Kreni-*stan* i i semantičkog SART zadatka*

Model	χ^2 (df)	p	χ^2 /df	TLI	CFI	RMSEA [90%CI]	AIC
3 faktora (IO, SS, SR)	96.086 (32)	.00	3.003	0.614	0.726	.089 [.069 - .110]	25249.635
2 faktora (IO, KK)	103.746 (34)	.00	3.051	0.605	0.701	.098 [.078 - .118]	25362.584
2 faktora (IO, SS)	100.631 (34)	.00	3.048	0.622	0.715	.088 [.069 - .109]	25359.469
1 faktor (GI)	122.593 (35)	0	3.503	0.518	0.625	.100 [.081 - .119]	25375.906

Legenda: IO – inhibicija odgovaranja; SS – kontrola distraktorske interferencije (SS konflikta); SR – kontrola interferencije odgovora (SR konflikta); IK – opšta kontrola interferencije konflikta; GI – generalni faktor inhibitorne kontrole

Tabela B3. Mere fit-a testiranih modela u okviru KFA sa IES skorovima na svim varijablama

Model	χ^2 (df)	p	χ^2/df	TLI	CFI	RMSEA [90%CI]	AIC
3 faktora	61.788						
(IO, SS, SR)	(32)	.00	1.930	0.750	0.822	.063 [.039 - .086]	25961.529
2 faktora	64.987						
(IO, KK)	(34)	.00	1.911	0.755	0.815	.062 [.039 - .085]	25960.728
2 faktora	66.605						
(IO, SS)	(34)	.00	1.959	0.742	0.805	.064 [.041 - .086]	26034.998
1 faktor	65.384						
(GI)	(35)	.00	1.868	0.767	0.818	.059 [.036 - .081]	25728.504

Legenda: IO – inhibicija odgovaranja; SS – kontrola distraktorske interferencije (SS konflikta); SR – kontrola interferencije odgovora (SR konflikta); IK – opšta kontrola interferencije konflikta; GI – generalni faktor inhibitorne kontrole

Prilog C

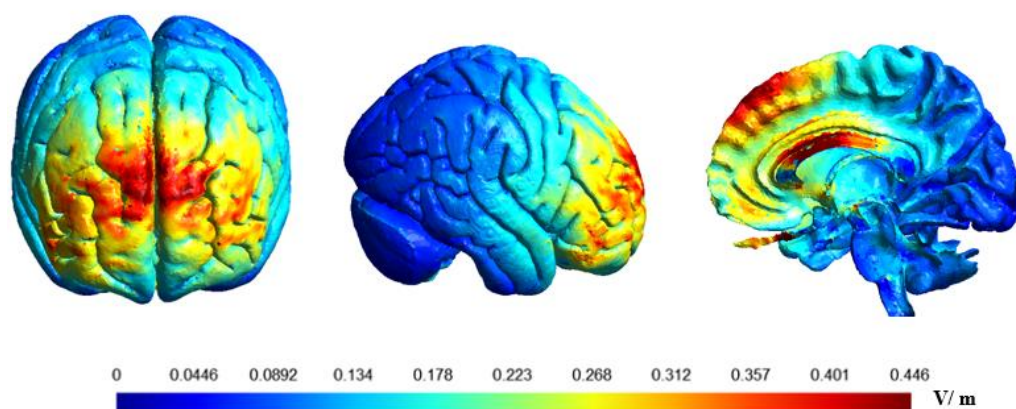
	Da	Ne
Da li ste desnoruki?		
Da li ste nekada imali epileptični napad?		
Da li ste nekada imali povredu glave koja je dovela do gubitka svesti koje je zahtevalo dalji tretman (uključujući operaciju mozga)?		
Da li patite od migrena?		
Da li trenutno imate medicinsku dijagnozu koja se odnosi na psihološko ili neurološko stanje?		
Da li imate bilo kakav metal u glavi (izuzimajući usnu duplju), kao npr. šrapnel ili hiruške spojnice?		
Da li imate bilo kakav uređaj ugrađen u telo (npr. pejsmejker, stimulator mozga)?		
Da li imate neko kožno oboljenje na poglavini? (npr. psorijaza)		
Da li imate ikakve rane na glavi koje nisu u potpunosti zarasle?		
Da li ste nekada imali negativnu reakciju na tDCS ili bilo koju drugu tehniku stimulacije mozga (npr. TMS, tRNS)?		
Za ispitanice: Da li postoji mogućnost da ste trenutno u drugom stanju?		
Da li trenutno uzimate bilo kakve lekove, sa preporukom lekara ili samostalno (uključujući rekreativnu upotrebu psihoaktivnih supstanci), izuzimajući pilule za kontracepciju?		

Prilog D

Sledi prikaz rezultata simulacija električnog polja stimulacije ACC-a. Treba istaći da su intenziteti stimulacije modifikovani u odnosu na prethodne studije kako bi rezultati bili međusobno uporedivi. Kod modela za ACC su modifikovane i neke od lokacija elektroda, konkretno kod modela inspirisanog radom Matavelijeve i saradnika (Matavelli et al., 2022). Naime, u originalnom članku, autori su postavljali posteriorne elektrode na O10, O9, PO9. S obzirom na ograničenje opremom, testiran je model sa elektrodama na bliskim lokacijama (O1 i O2, PO7)

Tabela D1. Prikaz jačine polja simulacije električnog polja iz rada (To, et al., 2018)

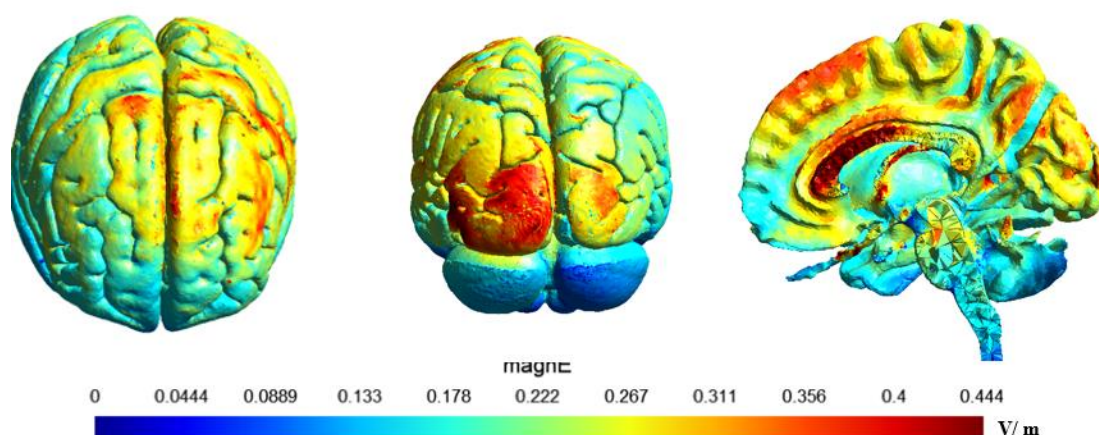
Lokacija elektrode	Intenzitet	Jačina električnog polja		
		desni ACC	levi ACC	desni IFG
Fz	2mA	0.21 m/V	0.21 m/V	0.21 m/V
Fp1	-0.5 mA			
Fp2	-0.5 mA			
F7	-0.5 mA			
F8	-0.5 mA			



Slika D1. Grafički prikaz distribucije električnog polja simulacije montaže iz rada (To, et al., 2018)

Tabela D2. Prikaz jačine polja simulacije električnog polja iz rada (Matavelli, et al., 2022)

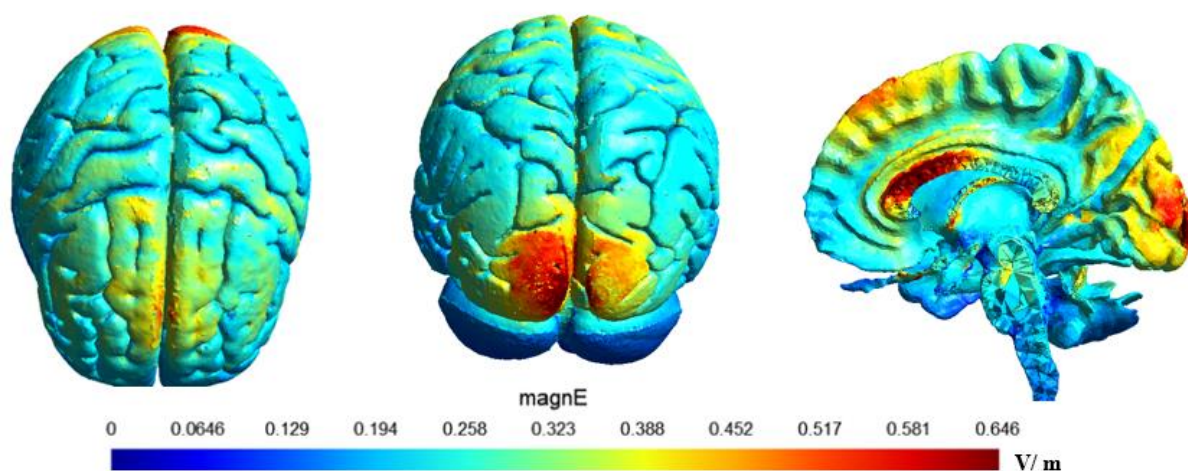
Lokacija elektrode	Intenzitet	Jačina električnog polja		
		desni ACC	levi ACC	desni IFG
Fz	0.67 mA	0.26 V/m	0.27 V/m	0.18 V/m
F1	0.67 mA			
FCz	0.67 mA			
PO7	-0.67 mA			
O1	-0.67 mA			
O2	-0.67 mA			



Slika D2. Grafički prikaz distribucije električnog polja simulacije montaže iz rada (Matavelli, et al., 2022)

Tabela D2. Prikaz jačine polja simulacije električnog polja iz rada (Khan, et al., 2020)

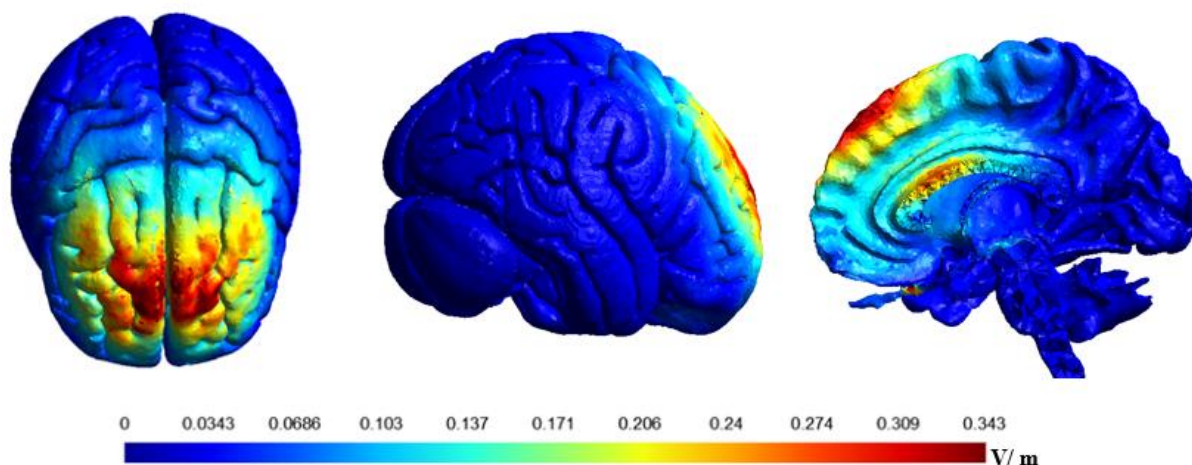
Lokacija elektrode	Intenzitet	Jačina električnog polja		
		desni ACC	levi ACC	desni IFG
Fz	2mA	0.26 V/m	0.27 V/m	0.18 V/m
Oz	-2mA			



Slika D3. Grafički prikaz distribucije elektrilnog polja simulacije montaže iz rada (Khan, et al., 2020)

Tabela D4. Prikaz jačine polja simulacije električnog polja iz rada (Khan, et al., 2022)

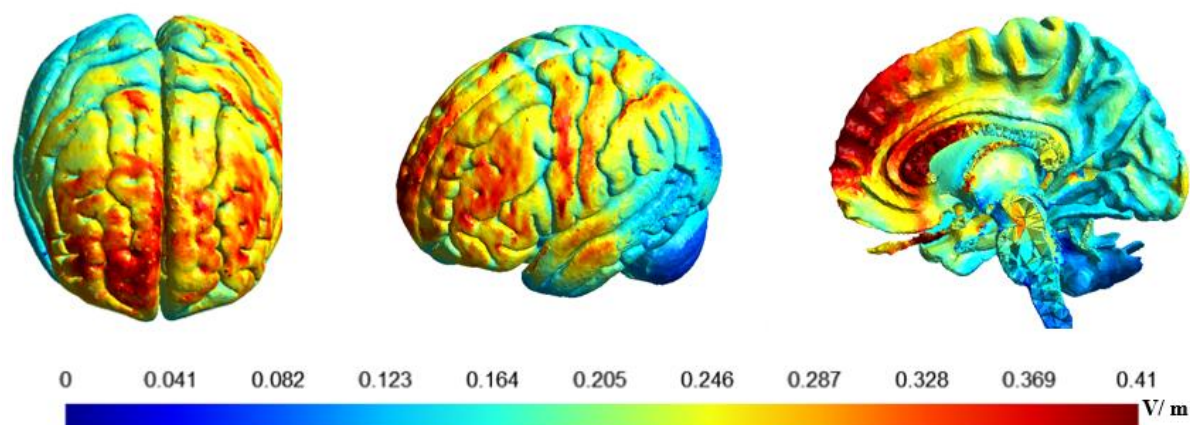
Lokacija elektrode	Intenzitet	Jačina električnog polja		
		desni ACC	levi ACC	desni IFG
Fz	2 mA	0.13 V/m	0.12 V/m	0.06 V/m
AF3	-0.5 mA			
AF4	-0.5mA			
FC3	-0.5 mA			
FC4	-0.5 mA			



Slika D4. Grafički prikaz distribucije elektrilnog polja simulacije montaže iz rada (Khan, et al., 2022)

Tabela D5. Prikaz jačine polja simulacije elekričnog polja iz rada (Kaur, et al., 2020)

Lokacija elektrode	Intenzitet	Jačina električnog polja		
		desni ACC	levi ACC	desni IFG
Afz	1.25 mA	0.24 V/m	0.22 V/m	0.06 V/m
Af4	0.75 mA			
O10	-51 mA			
TP7	-0.52 mA			
P3	-0.97 mA			



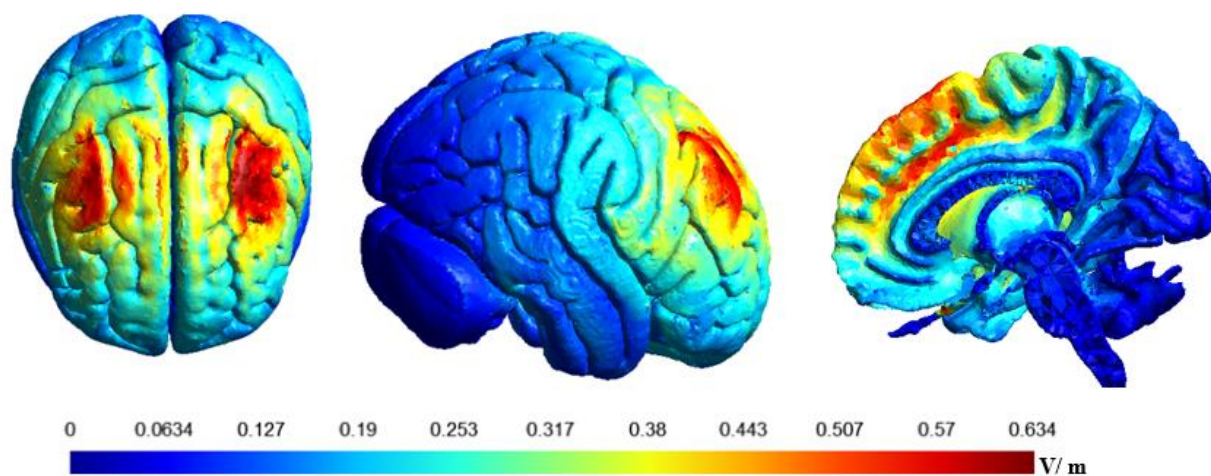
Slika D5. Grafički prikaz distribucije elektrilnog polja simulacije montaže iz rada (Kaur, et al., 2020)

U prilogu nije prikazana montaža dobijena funkcijom ROAST_TARGET za optimalno stimulisanje ACC-a, pošto je finalna montaža u ovom radu rezultat te funkcije.

Sledi prikaz rezultata simulacija električnog polja za stimulacije desnog IFG. U ovom slučaju su testirani modeli sa elektrodama pozicioniranim na lokacijama koje su nedostupne u okviru opreme koju sam imao. To se odnosi na tačku FC4, ali razlog za to je bio da se dobijene jačine polja uporede sa onom koja je korišćena u finalnoj montaži.

Tabela D6. Prikaz jačine polja simulacije električnog polja iz rada (Cunillera, et al., 2014)

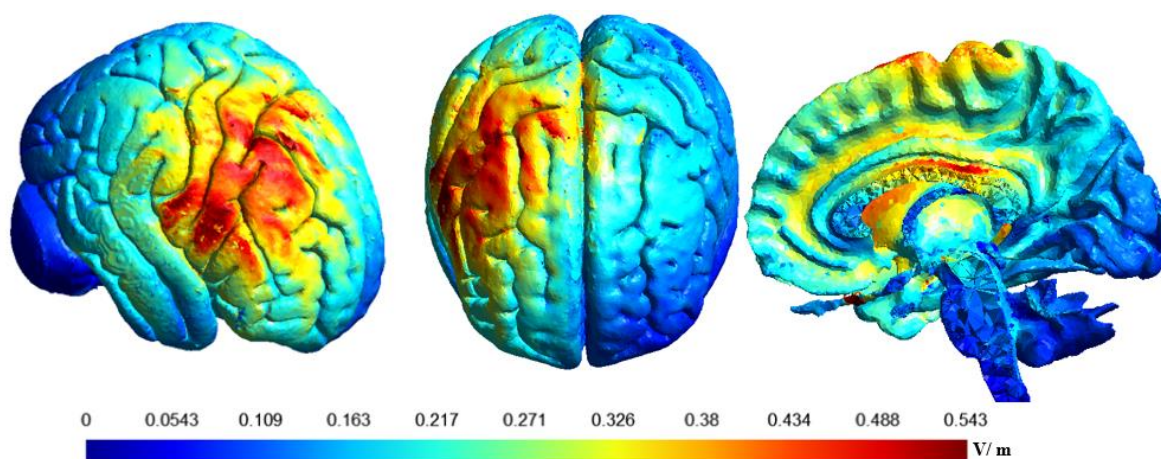
Lokacija elektrode	Intenzitet	Jačina električnog polja		
		desni ACC	levi ACC	desni IFG
FC4	2 mA	0.21 V/m	0.21 V/m	0.31 V/m
FC3	-2 mA			



Slika D6. Grafički prikaz distribucije električnog polja simulacije montaže iz rada (Cunillera, et al., 2014)

Tabela D7. Prikaz jačine polja simulacije električnog polja iz rada (Hogeeven, et al., 2016)

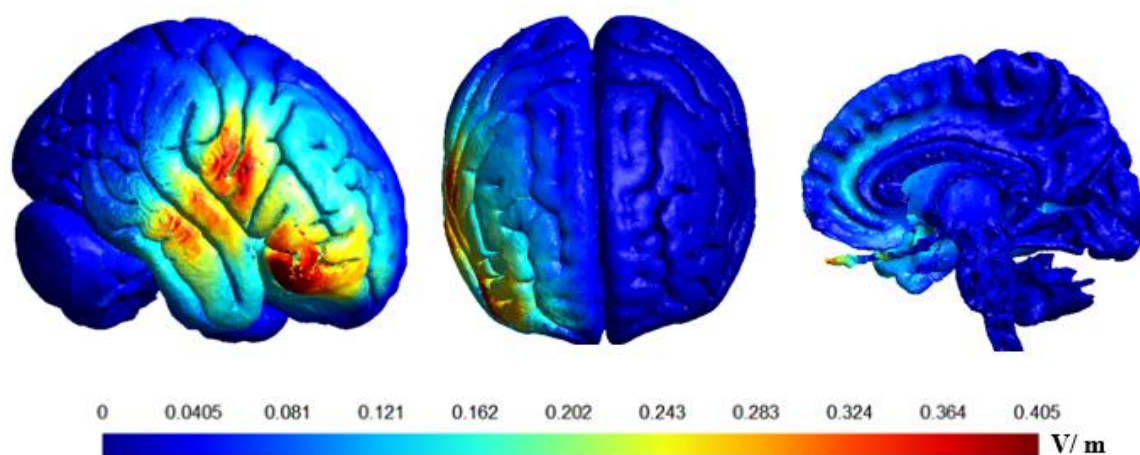
Lokacija elektrode	Intenzitet	Jačina električnog polja		
		desni ACC	levi ACC	desni IFG
FC4	2 mA	0.22 V/m	0.21 V/m	0.37 V/m
FC3	-2 mA			



Slika D7. Grafički prikaz distribucije elektrilnog polja simulacije montaže iz rada (Hogeeven,et al., 2016)

Tabela D8. Prikaz jačine polja simulacije električnog polja iz rada (Dagnino, et al., 2023)

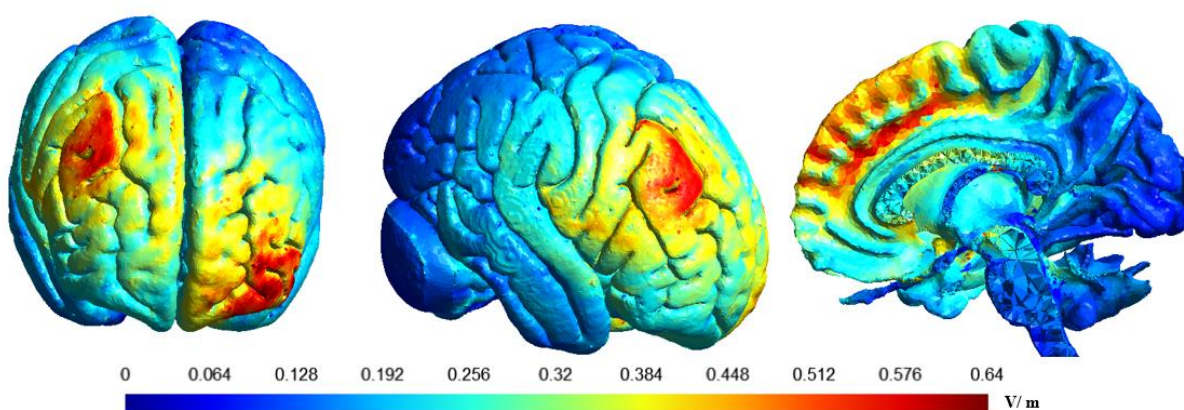
Lokacija elektrode	Intenzitet	Jačina električnog polja		
		desni ACC	levi ACC	desni IFG
F8	1.005	0.03 V/m	0.03 V/m	0.17 V/m
FC6	1.005			
Fp2	-0.67			
T8	-0.67			
C6	-0.67			



Slika D8. Grafički prikaz distribucije elektrilnog polja simulacije montaže iz rada (Dagnino, et al., 2023)

Tabela D9. Prikaz jačine polja simulacije električnog polja iz rada (Ditye et al., 2012)

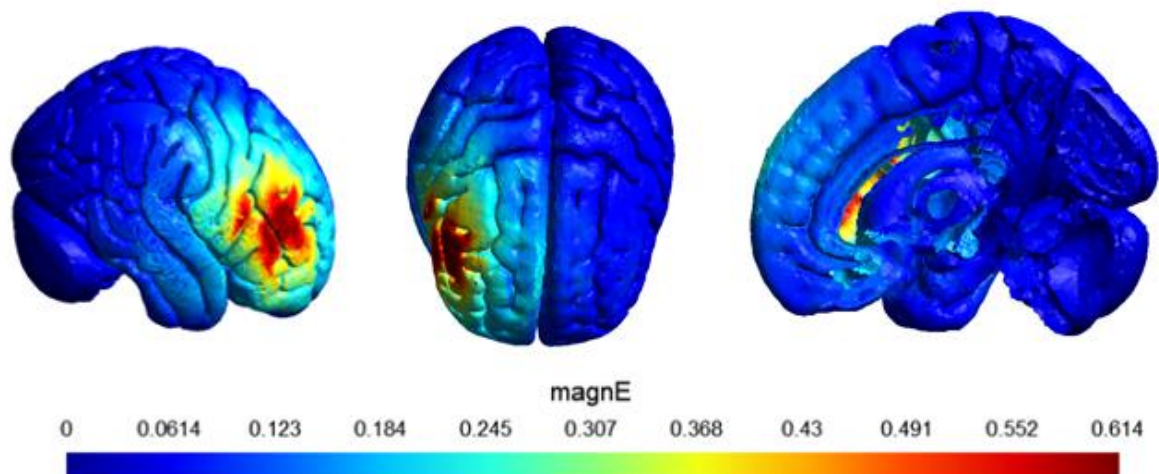
Lokacija elektrode	Intenzitet	Jačina električnog polja		
		desni ACC	levi ACC	desni IFG
FC4	2 mA	0.23 V/m	0.20 V/m	0.38 V/m
AF7	-2 mA			



Slika D9. Grafički prikaz distribucije elektrilnog polja simulacije montaže iz rada (Ditye, et al., 2012)

Tabela D10. Prikaz jačine polja simulacije električnog polja dobijena funkcijom ROAST_TARGET za optimizovanje polja u desnom IFG

Lokacija elektrode	Intenzitet	Jačina električnog polja		
		desni ACC	levi ACC	desni IFG
F4	2 mA	0.14 V/m	0.13 V/m	0.37 V/m
FC6	-2 mA			



Slika D10. Grafički prikaz distribucije elektrilnog polja simulacije montaže dobijene funkcijom ROAST_TARGET

Prilog E

Tabela F1. Efekti stimulacije na SSRT na celom uzorku bez izbacivanja ispitanika zbog prekršavanja uslova nezavisnog Horce-race modela

	tDCS	M	SD	Kontrast	Planirani kontrasti	
					t (df)	p
SSRT	ACC	200.658	51.402	ACC-sham	1.513 (70)	.135
	IFG	193.514	61.215	IFG-sham	0.823 (70)	.413
	sham	184.988	69.241			

Prilog F

Tabela G1. Efekti tDCS na RT i tačnost pojedinačnih kategorija stimulusa. Planirani kontrasti razlika učinka između situacija aktivnih i lažne stimulacije.

Kategorija	Kontrast	RT		Tačnost	
		t (121.856)	p	t (260.756)	p
kongruentni		0.121	0.904	0.256	0.798
neutralni		0.281	0.779	-0.128	0.898
nekompatibilni	ACC-sham	-0.069	0.945	2.304	0.022
odgovor		-0.21	0.834	0.512	0.609
neutralni		0.863	0.39	0.128	0.898
kongruentni		1.155	0.25	-27.99	1
neutralni	IFG-sham	0.631	0.529	-0.64	0.523
odgovor		0.079	0.937	0.512	0.609
neutralni					

Biografija

Uroš Konstantinović je rođen 1992. godine u Beogradu. Osnovne studije psihologije je, sa prosečnom ocenom 9.13, završio 2015. godine, na istraživačkom modulu, Odeljenja za psihologiju, Filozofskog fakulteta, Univerziteta u Beogradu. Master akademske studije, takođe na istraživačkom modulu je završio na istom fakultetu, 2017. godine, kada je, pod mentorstvom dr Danke Purić odbranio tezu sa nazivom „*Povezanost egzekutivne funkcije inhibicije i divergentnog mišljenja*“. Svoj master rad, Uroš je prezentovao kao učesnik finala u takmičenju za najbolji master rad iz psihologije Fonda Katarina Marić. Doktorske akademske studije psihologije je upisao 2017. godine.

Kao student master studija, Uroš je bio uključen u rad Laboratorije za individualne razlike (LIRA), a od 2017. godine počinje da volontira u Grupi za neuronauke na Institutu za medicinska istraživanja, Univerziteta u Beogradu, gde se i zapošljava kao istraživač pripravnik 2018. godine. Zvanje istraživača saradnika, na Institutu za medicinska istraživanja dobija 2021. godine, gde je i dalje zaposlen u istom zvanju.

Uroš je učestvovao na većem broju domaćih i međunarodnih konferencija u oblasti psihologije i neuronauka, a autor je 5 naučnih članaka od kojih je 4 objavljen u međunarodnim časopisima. Uroš je imao iskustvo učestvovanja u međunarodnim i domaćim projektima, a trenutno je član projektnog tima TWINNIBS (Twinning for excellence in non-invasive brain stimulation in Western Balkans) (broj projekta 101059369) koji je finansiran od strane Evropske unije.

Изјава о ауторству

Име и презиме аутора _____

Број индекса _____

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да дисертација у целини ни у деловима није била предложена за стицање друге дипломе према студијским програмима других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио/ла интелектуалну својину других лица.

Потпис аутора

У Београду, _____

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора _____

Број индекса _____

Студијски програм _____

Наслов рада _____

Ментор _____

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла ради похрањена у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског назива доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис аутора

У Београду, _____

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)
2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)
3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)
5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)
6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци.
Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

Потпис аутора

У Београду, _____

1. **Ауторство.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.
2. **Ауторство – некомерцијално.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.
3. **Ауторство – некомерцијално – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.
4. **Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.
5. **Ауторство – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.
6. **Ауторство – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.