

Adaptacija u vidnom radnom pamćenju

Bošnjak, Branko

Master's thesis / Diplomski rad

2023

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:131:746071>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-25**



Sveučilište u Zagrebu
Filozofski fakultet
University of Zagreb
Faculty of Humanities
and Social Sciences

Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu
Filozofski fakultet
Odsjek za psihologiju

ADAPTACIJA U VIDNOM RADNOM PAMĆENJU

Diplomski rad

Branko Bošnjak

Mentor: Dr. sc. Ivan Tomić

Zagreb, 2023.

IZJAVA

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

U Zagrebu, 04.09.2023.

Branko Bošnjak

Sadržaj

Uvod	5
<i>Vidno radno pamćenje</i>	5
<i>Vidna adaptacija</i>	6
Cilj istraživanja	8
Problemi	9
<i>Hipoteze</i>	9
Metoda	10
<i>Sudionici</i>	10
<i>Nacrt istraživanja</i>	11
<i>Pribor</i>	12
<i>Postupak</i>	13
<i>Analize korištene u istraživanju</i>	15
Rezultati	16
<i>Provjera adaptacije vidnog radnog pamćenja</i>	17
<i>Utjecaj kompleksnosti distribucije na adaptaciju vidnog radnog pamćenja</i>	20
<i>Utjecaj adaptacije vidnog radnog pamćenja na sigurnost dosjećanja</i>	20
Rasprava	23
Zaključak	28
Literatura	29
Prilozi	33

Adaptacija u vidnom radnom pamćenju

Branko Bošnjak

Sažetak: Glavna karakteristika vidnog radnog pamćenja (VRP) je njegov ograničen kapacitet. VRP se mora konstantno adaptirati okolini u kojoj se nalazi i to tako da se preciznije pamte podražaji koji se češće pojavljuju u okolini u odnosu na podražaje koje susrećemo relativno rijetko. Cilj ovog istraživanja bio je ispitati mogu li se sudionici ($N = 22$) adaptirati na apstraktne i nepoznate vidne podražaje. U tu svrhu proveden je eksperiment u kojem su različiti vidnih podražaji bili prikazivani različitom čestinom (visoka i niska čestina) te je manipulirana složenost distribucije koja opisuje čestinu prikaza podražaja (unimodalna i bimodalna distribucija). Sudionici su prošli kroz veći broj sekvenci pamćenja i dosjećanja podijeljenih u osam eksperimentalnih blokova, a nakon svakog dosjećanja izvijestili su i o sigurnosti dosjećanja. Naša hipoteza je bila da će se sudionici do kraja eksperimenta adaptirati i pokazati bolje dosjećanje za česte u odnosu na rijetke podražaje. Provedbom analiza nisu pronađene razlike u pogrešci dosjećanja između podražaja visoke i niske čestine na početku i na kraju adaptacijskog tijeka (prvi i osmi blok sekvenci) ni u situaciji unimodalne, niti bimodalne distribucije podražaja. Ipak, pronađena je očekivana razlika između početka i povezanih rezultata druge polovice adaptacijskog tijeka kod unimodalne, ali ne i bimodalne distribucije podražaja. Nije pronađena značajna razlika u procjeni sigurnosti dosjećanja ovisno o kompleksnosti podražajne situacije. Naši rezultati upućuju na mogućnost adaptacije VRP u situacijama relativno niske kompleksnosti (unimodalna distribucija), ali i na potencijalnu interesantnu disocijaciju preciznosti pamćenja i metakognitivnih procjena sigurnosti dosjećanja tijekom procesa adaptacije.

Glavne riječi: vidno radno pamćenje, vidna adaptacija, pogreška dosjećanja, sigurnost dosjećanja

Adaptation in visual working memory

Branko Bošnjak

Abstract: The main characteristic of visual working memory (VWM) is its limited capacity. VWM must constantly adapt to the environment it is in, by more accurately memorizing stimuli that occur more frequently in the environment compared to those encountered relatively rarely. The aim of this research was to investigate whether participants ($N = 22$) could adapt to abstract and unfamiliar visual stimuli. To this end, an experiment was conducted in which various visual stimuli were presented at different frequencies (high and low frequency), and the complexity of the distribution describing the stimulus presentation frequency (unimodal and bimodal distribution) was manipulated. Participants went through multiple memory and recall sequences divided into eight experimental blocks, and after each recall, they also reported their confidence in recall. Our hypothesis was that participants would adapt by the end of the experiment and would show better recall for frequent compared to less frequent stimuli. Analyses did not reveal differences in recall errors between high and low-frequency stimuli at the beginning and end of the adaptation course (first and eighth sequence blocks) in either the unimodal or bimodal stimulus distribution condition. However, the expected difference was found between the beginning and aggregated results of the second half of the adaptation in the unimodal but not the bimodal stimulus distribution condition. No significant differences were found in the assessment of recall confidence with respect to the complexity of the stimulus distribution. Our results suggest that VWM can adapt to the environment in situations of relatively low complexity (unimodal distribution). Furthermore, they show, a potentially interesting dissociation between memory precision and metacognitive confidence judgments during the adaptation process.

Keywords: visual working memory, visual adaptation, recall error, confidence

Uvod

Vidno radno pamćenje

Vidno radno pamćenje (VRP) možemo opisati kao ograničeni kapacitet koji omogućava pohranu i korištenje vidnih informacija nakon što one nisu više prisutne i osjetnom sustavu (Ma i sur., 2014.). Jedna od glavnih karakteristika VRP je njegov ograničeni kapacitet, tj. količina informacija koje se mogu pohraniti u vidnom radnom pamćenju i držati u aktivnom stanju je ograničena. Brojna istraživanja pokazala su kako porastom broja podražaja koji se pamti, preciznost dosjećanja svakog podražaja pada kontinuirano (Bays i sur., 2009; Fougny i sur. 2012; Schurgin i sur., 2020; van den Berg i sur. 2012; Zhang i Luck, 2008). Tijekom povijesti razvile su se dvije skupine modela kapaciteta VRP koji pokušavaju objasniti ove rezultate, konkretno modeli utora i modeli resursa. Obje skupine modela karakteriziraju VRP kao ograničenog kapaciteta, ali na različite načine (Ma i sur., 2014). Prema modelima utora, kapacitet VRP operacionaliziran je brojem podražaja (tj. vidnih objekata) koji se mogu istovremeno pohraniti u pamćenju, uz pretpostavku da se taj broj kreće od tri do četiri podražaja (Vogel i sur., 2001). Modeli resursa pretpostavljaju da VRP možemo opisati kao ograničenu količinu resursa koja se kontinuirano i fleksibilno dodjeljuje svim podražajima koji se pamte, bez obzira na broj podražaja (Tomić, 2017). Analizirajući podatke većeg broja istraživanja koja su koristila zadatak kontinuirane procjene za ispitivanje VRP te različite računarske modele, van den Berg i sur. (2014) pronašli su kako predviđanja modela resursa pružaju bolji opis ljudskih pogrešaka dosjećanja od modela utora (vidi Schneegans i sur., (2020) za dodatnu dokaze u prilog modela resursa).

Osim pogrešaka dosjećanja, u području VRP često se ispituje i metakognicija vezana uz dosjećanje. Rezultati istraživanja u kojima se osim dosjećanja od sudionika traži i da procjene koliko su sigurni u svoje dosjećanje, pokazuju kako procjene sigurnosti dosjećanja prate promjene u preciznosti dosjećanja. Konkretno, Rademaker i sur., (2012) su proveli istraživanje u kojem su manipulirali brojem podražaja koji se pamti, te od sudionika tražili da procjene koliko su sigurni u svoje dosjećanje. Očekivano, preciznost dosjećanja je padala kako je rastao broj podražaja koji su sudionici trebali zapamtiti. Zanimljivo, s

porastom podražaja i padom preciznosti dosjećanja, padala je i procijenjena sigurnost dosjećanja, odnosno sudionici su bili manje sigurni u svoje odgovore kako je rasla pogreška tih odgovora. Ovi rezultati upućuju na usklađenost metakognitivnih procesa i raspodjele resursa VRP i pokazuju kako je samoprocjena sigurnosti potencijalno važan indikator funkcioniranja VRP.

S obzirom na važnost VRP u svakodnevnom životu, prisutnost ograničenog kapaciteta implicira da se dostupni resursi trebaju učinkovito koristiti kako bi se maksimizirala njihova upotreba. Kako bi VRP moglo učinkovito pamtit podražaje, ono se mora adaptirati, tj. prilagoditi statističkoj strukturi vidne okoline. Drugim riječima, VRP bi trebalo usmjeriti resurse tako da podražaje kojih ima najviše u okolini, najbolje reprezentira u pamćenju, dok se podražaji s kojima se rjeđe susrećemo i s kojima smo rjeđe u interakciji pamte manje precizno (Orhan i sur., 2014).

Vidna adaptacija

Vidnu adaptaciju možemo definirati kao kratkotrajnu i privremenu promjenu u perceptivnoj osjetljivosti nakon izlaganja specifičnom podražaju te trajnijim posljedicama nakon što podražaji kojima se organizam adaptirao više nisu prisutni (Webster, 2015). Iako to nije tema ovog rada, neki autori razlikuju adaptaciju od perceptivnog učenja (Webster, 2011). Adaptacija se većinom smatra kao trenutani gubitak osjetljivosti na neki podražaj kojem je osoba bila izložena dok perceptivno učenje nakon relativno dugoročnog treninga povećava sposobnost razlikovanja. Webster (2011) smatra kako perceptivno učenje većinom utječe na učinak, osjetljivost te zahtjeva dulje vrijeme potrebno da bi se opazila bihevioralna promjena, dok adaptacija većinom utječe na neuralnu reprezentaciju podražaja koje je postignuto tijekom kraćeg vremena. Ipak, kako istraživanja pokazuju bihevioralne promjene (povećana i smanjenja osjetljivost) koje se ne uklapaju u teoriju koju predlaže Webster (2011), neki autori predlažu da se oba konstrukta ispituju kao jedinstveni proces te da se veći fokus usmjeri na ispitivanje uvjeta u kojima dolazi do poboljšanja, odnosno smanjenja perceptivne osjetljivosti uslijed adaptacije (McGovern i sur., 2012).

Postoji nekoliko pristupa koji opisuju funkciju adaptacije, ali svima je zajednička ideja da mozak, tj. živčani sustav kodira informacije kako bi se osoba što bolje prilagodila svijetu oko sebe (Weber i sur., 2019). Sheme prema kojima se kodiraju informacije mogu biti prirođene, uzrokovane evolucijom ili nastati tijekom životnog razvoja. Jedna od najutjecajnijih pretpostavki o kodiranju informacija putem adaptacije je hipoteza efikasnog kodiranja (Barlow, 1961). Hipoteza efikasnog kodiranja vuče svoje korijene iz kognitivne znanosti i koristi se metodama iz teorije informacija, autora C. E. Shannona i govori da živčani sustav kodira informacije na najučinkovitiji način kako bi što bolje iskoristili ograničene resurse kojima se koriste (Weber i sur., 2019). Jedna vrlo jednostavna pretpostavka ove teorije je da bi oni podražaji koji se češće doživljavaju, odnosno susreću u okolini, trebali biti kodirani preciznije u usporedbi s rjeđim podražajima. Jedan od dokaza u prilog toj pretpostavci dolazi iz istraživanja procesiranja orijentacija. U prirodnom okruženju, dobro je utvrđeno da se kardinalne (vodoravne, npr. horizont, i okomite, npr. drveće i kutovi zgrada) linije javljaju češće u odnosu na kosokutne linije (Girshick i sur., 2011). U skladu s tim, ispitivanje ljudske osjetljivosti pokazuje kako su sudionici bolji u diskriminaciji kardinalnih linija u odnosu na kosokutne (Wei i Stocker, 2015).

Sličan efekt superiornog procesiranja kardinalnih orijentacija pronađen je i u VRP. Analizirajući veći broj istraživanja koja su koristila zadatak kontinuirane procjene i orijentacije kao podražajni materijal, Taylor i Bays (2018) su pronašli veću preciznost dosjećanja kardinalnih u odnosu na kosokutne orijentacije. Ovi rezultati se interpretiraju kao posljedica dugotrajne adaptacije (tj., tijekom evolucije ljudske vrste) VRP na karakteristike okoline i različitu čestinu orijentacija u okolini.

Za razliku od toga, adaptacija na nepoznate i nove apstraktne oblike nije toliko ispitana (Hansmann-Roth i sur., 2023). Slično tome, nepoznato je i koja su ograničenja u terminima kompleksnosti okoline na koju se VRP može adaptirati. Intuitivno, možemo pretpostaviti kako se svi kognitivni procesi mogu lakše adaptirati u jednostavnijim okolinama, odnosno kada je distribucija koja opisuje čestinu podražaja u okolini relativno niske kompleksnosti u odnosu na situaciju visoke kompleksnosti. U ovom istraživanju željeli smo ispitati može li se VRP adaptirati na nepoznate oblike u situacijama različite

statističke kompleksnosti. Kompleksnost situacije je određena odabirom distribucija koja opisuje čestinu prikaza podražaja. Pojednostavljeno, *okolina* kojoj se VRP adaptira definirana je podražajima koje su sudionici pamtili, odnosno njihovom distribucijom. Kako bismo kontrolirali kompleksnost okoline, u tu svrhu odabrali smo dvije distribucije koje opisuju čestinu prikaza pojedinog podražaja u odnosu na sve moguće podražaje. Unimodalna distribucija je odabrana kao jednostavnija situacija, dok je bimodalna distribucija odabrana u slučaju složenije situacije (vidi *Slika 1*). U dijelu *Nacrt istraživanja* opisan je način na koji se podražaji odabiru za adaptaciju u određenoj situaciji.

U eksperimentu je korišten podražajni materijal *Validirani kružni prostor oblika* (engl. *Validated Circular Shape* - VCS) prostor autora Li i sur. (2020). Namjera autora je bila napraviti podražajni materijal s oblicima koji će imati kružnu topologiju, koji bi omogućavao korištenje u tipičnom zadatku kontinuirane procjene te pružao alternativu često korištenom krugu boja definiranom u CIELAB (CIE - International Commission on Illumination, L – svjetlina, A – crvena i zelena, B – plava i žuta) prostoru boja (Robertson, 1977) ili orijentiranim linijama. Autori su se koristili iterativnom metodom procesiranja slike u izradi VCS prostora te validirali oblike koristeći psihofizičke metode procjene sličnosti oblika s ciljem dobivanja perceptivno uniformnog prostora. To znači da su bilo koja dva oblika određene kutne udaljenosti vizualno slični isto kao i druga dva oblika iste određene kutne udaljenosti. Uz perceptivnu ujednačenost, izračunat je točan odnos između kutne udaljenosti i veličina vizualne sličnosti, koji ukazuje na veću sličnost oblika koji se nalaze bliže u krugu za razliku od onih koji su međusobno udaljeniji. VCS prostor je prošao ekstenzivnu validaciju kroz nekoliko eksperimenata i grupa sudionika i završna verzija je pokazala dobre karakteristike perceptivno uniformnog kružnog prostora (Li i sur., 2020). VCS prostor je sačinjen od 360 oblika koji se mogu opisati krugom.

Cilj istraživanja

Cilj ovog istraživanja je ispitati mogućnost adaptacije vidnog radnog pamćenja na nepoznati podražajni materijal (apstraktne oblike) i različito kompleksnu statističku

strukturu. Željeli smo dodatno provjeriti mijenja li se sigurnost dosjećanja u funkciji adaptacije i kompleksnosti statističke strukture podražaja.

Problemi

1. Razlikuje li se sposobnost adaptacije vidnog radnog pamćenja na podražaje visoke čestine u odnosu na podražaje niske čestine u unimodalnoj i bimodalnoj situaciji, odnosno pri unimodalnoj i bimodalnoj distribuciji podražaja?
2. Utječe li kompleksnost statističke strukture okoline (unimodalna i bimodalna distribucija podražaja) na adaptaciju podražaja u vidnom radnom pamćenju?
3. Utječe li adaptacija vidnog radnog pamćenja na procjenu sigurnosti dosjećanja u unimodalnoj i bimodalnoj distribuciji podražaja?

Hipoteze

1a. U unimodalnoj situaciji pogreška dosjećanja ovisit će o čestini podražaja i adaptaciji. Pogreška dosjećanja podražaja će biti manja za podražaje visoke čestine u odnosu na podražaje niske čestine u posljednjem bloku sekvenci (kraj adaptacijskog procesa) dok se takva razlika ne očekuje u prvom bloku sekvenci (početak adaptacijskog procesa). U posljednjem bloku sekvenci pogreška dosjećanja će općenito biti manja nego u prvom bloku za podražaje visoke i niske čestine.

1b. U bimodalnoj situaciji pogreška dosjećanja ovisit će o čestini podražaja i adaptaciji. Pogreška dosjećanja podražaja će biti manja za podražaje visoke čestine u odnosu na podražaje niske čestine u posljednjem bloku sekvenci (kraj adaptacijskog procesa) dok se takva razlika ne očekuje u prvom bloku sekvenci (početak adaptacijskog procesa). U posljednjem bloku sekvenci pogreška dosjećanja će općenito biti manja nego u prvom bloku za podražaje visoke i niske čestine.

2. U posljednjem eksperimentalnom bloku (kraj adaptacijskog procesa) pogreška dosjećanja podražaja će biti manja za podražaje visoke čestine u odnosu na podražaje niske čestine. U unimodalnoj situaciji očekuje se veća razlika nego u bimodalnoj situaciji.

3a. U unimodalnoj situaciji procjena sigurnosti dosjećanja će biti viša za podražaje visoke čestine u odnosu na podražaje niske čestine u posljednjem bloku sekvenci (kraj adaptacijskog procesa), dok se takva razlika ne očekuje u prvom bloku sekvenci (početak adaptacijskog procesa).

3b. U bimodalnoj situaciji procjena sigurnosti dosjećanja će biti viša za podražaje visoke čestine u odnosu na podražaje niske čestine u posljednjem bloku sekvenci (kraj adaptacijskog procesa), dok se takva razlika ne očekuje u prvom bloku sekvenci (početak adaptacijskog procesa).

Metoda

Sudionici

U istraživanju je sudjelovalo 26 studenata psihologije, 19 ih se izjasnilo da su ženskog roda, a ostali muškog roda. Prosječna dob sudionika je 20.5 godina. Svi sudionici su izvijestili da imaju zdrav ili adekvatno korigiran vid naočalama ili lećama. Svi sudionici su potpisali informirani pristanak za sudjelovanje u istraživanju. U obradu su uzeti podaci 22 sudionika (16 žena), 11 iz unimodalne situacije i 11 iz bimodalne situacije. Troje sudionika nisu uspjeli proći kroz cijeli eksperimentalni zadatak zbog nemogućnosti ispravnog korištenja uređaja za praćenje pokreta očima te nisu ušli u obradu podataka. Jedna sudionica sudjelovala je u sličnom istraživanju u sklopu nastave te je bila donekle upoznata s hipotezama istraživanja te je zbog toga izostavljena iz obrade zbog mogućih unaprijed stvorenih pretpostavki o zadatku.

Nacrt istraživanja

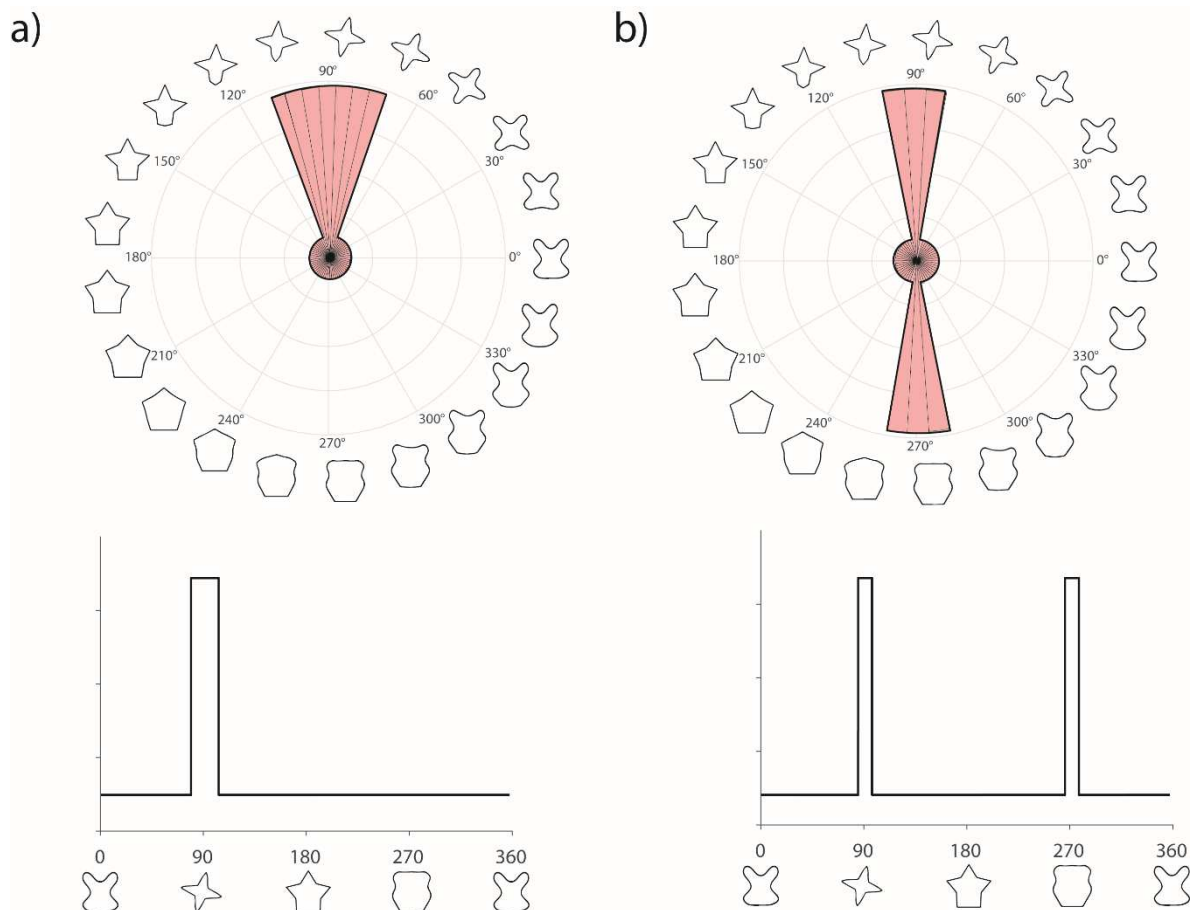
Nacrt istraživanja je eksperimentalan i mješovit. Sudionici su po slučaju podijeljeni u dvije situacije, prva s unimodalnom distribucijom podražaja, druga s bimodalnom distribucijom podražaja. Ova manipulacija predstavljala je prvu nezavisnu varijablu i dvije razine definirale su statističku kompleksnost okoline kojoj su se sudionici adaptirali (unimodalna za nisku kompleksnost i bimodalna za visoku kompleksnost).

Druga nezavisna varijabla je čestina (frekvencija) prikazivanja podražaja i dijeli se na dvije razine, podražaji visoke čestine i podražaji niske čestine. Čestina podražaja je bila određena tako da je u unimodalnoj situaciji po slučaju odabran dio kruga (40 stupnjeva kružnice) VCS prostora (Li i sur. 2019) i podražaji iz tog dijela kruga su prikazivani za pamćenje te traženi za dosjećanje češće od podražaja iz ostatka kruga. Konkretno, *česti* podražaji traženi su za dosjećanje na 40% sekvenci (40 stupnjeva kružnice), dok su podražaji iz preostalih 320 stupnjeva kružnice traženi za dosjećanje na 60% sekvenci. U bimodalnoj situaciji, po slučaju je odabran dio podražajnog kruga (20 stupnjeva na kružnici) te dio kruga dijametralno suprotan tom rasponu (20 stupnjeva). Podražaji iz ta dva dijela kruga su traženi za dosjećanje na 40% sekvenci dok su podražaji iz preostalih 320 stupnjeva kružnice traženi za dosjećanje na 60% sekvenci. Na *Slici 1* nalazi se grafički prikaz opisane metode odabira podražaja za nezavisnu varijablu čestina podražaja. Dio kruga koji je sadržavao podražaje visoke čestine po slučaju je odabran za svakog sudionika.

Treća nezavisna varijabla je trajanje adaptacije, a operacionalizirana je pomoću eksperimentalnih blokova koje su sudionici rješavali. Konkretno, svaki sudionik prošao je kroz 400 sekvenci podijeljenih u osam eksperimentalnih blokova (svaki po 50 sekvenci). Prvi eksperimentalni blok tretiran je kao početak, a osmi eksperimentalni blok kao kraj adaptacije. Zavisne varijable su pogreška dosjećanja i procjena sigurnosti dosjećanja. U *Prilogu A* može se vidjeti primjer distribucija na temelju kojih je izračunata zavisna varijabla kroz sve četiri eksperimentalne situacije (unimodalna situacija – podražaji visoke i niske čestine; bimodalna situacija – podražaji visoke i niske čestine).

Slika 1

Prikaz eksperimentalnih situacija.



Napomena: Primjer prikaza odabira podražaja visoke i niske čestine u unimodalnoj (a) i bimodalnoj (b) situaciji. Gornji dio slike prikazuje odabir podražaja u kružnom VCS prostoru dok je donji dio slike pojednostavljeni grafički prikaz istog. X-os prikazuje dužinu kruga u stupnjevima dok y-os prikazuje čestinu (frekvenciju) prikazivanja podražaja.

Pribor

Za prikaz podražaja, tj. cijelog zadatka korišten je ASUS monitor, 24 inča LCD rezolucije 1920x1080 s 144 Hz vertikalnog osvježavanja. Za prikaz podražaja i prikupljanje odgovora sudionika korišteni su Psychtoolbox3 (Kleiner i sur., 2007) i Matlab R2022b (MathWorks). Tijekom eksperimentalnog zadatka, pokreti oka snimani su infra-crvenim uređajem za

praćenje pokreta očiju koji je snimao na 1000 Hz (EyeLink 1000, SR Research). Kao podražajni materijal korišten je Validated Circular Shape prostor (Li i sur., 2019).

Postupak

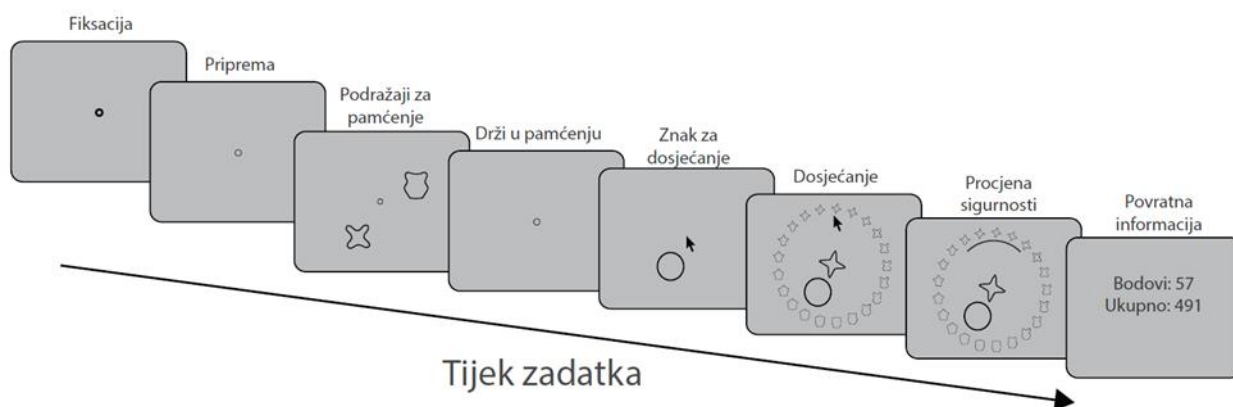
Prije početka eksperimenta sudionici su pročitali i potpisali pristanak za sudjelovanje u istraživanju. Zatim im je dana uputa o zadatku koji ih očekuje. Na početku eksperimenta, nakon upute, sudionici su prošli kroz kratku vježbu. Eksperiment se sastojao od 400 sekvenci koje su podijeljene u osam blokova, 50 sekvenci po bloku. Između svakog bloka je bio predviđen kratki odmor. Prije svakog bloka potrebno je bilo napraviti kalibraciju i validaciju uređaja za praćenje pokreta očima. Sudionici su bili podijeljeni u dvije situacije, unimodalna i bimodalna situacija, na temelju rasporeda prijavljivanja za eksperiment. Sudionici nisu bili upoznati s ciljevima istraživanja.

Sve sekvence su imale isti tijek jedino što se mijenjalo u sekvencama su bili podražaji. Primjer jedne takve sekvence se može vidjeti na *Slici 2*. Na početku svake sekvence pojavio bi se fiksacijski kružić u sredini ekrana u trajanju od 500 ms. Nakon njega bi se na istom mjestu pojavio manji kružić u trajanju od 500 ms koji je bio znak da će se pojaviti podražaji. Zatim bi se pojavili podražaji za pamćenje na udaljenosti od pet stupnjeva vidnog polja oko fiksacijskog kružića u trajanju od 500 ms. Uvijek su bila samo dva podražaja i mogli su se pojaviti na bilo kojem mjestu na zamišljenoj kružnici radijusa pet stupnjeva vidnog polja centriranoj na središte ekrana. Zatim bi podražaji nestali, a na ekranu je bio prikazan fiksacijski kružić u trajanju od 1000 ms. Cijelo vrijeme dok je kružić prisutan sudionici su ga trebali fiksirati, inače bi se pokazala poruka „Ne pomičite oči s fiksacijskog kružića“ u sredini ekrana i sekvenca bi počela iznova s novim parom podražaja na novim slučajno odabranim mjestima. Nakon 1000 ms od nestanka podražaja bi se pojavila kružnica na mjestu jednog od podražaja kao znak kojeg se podražaja sudionik treba prisjetiti te pokazivač miša u sredini ekrana. Od tog trenutka pa do kraja sekvence vrijeme nije bilo ograničeno za odgovor. Sudionici su dobili uputu da pomaknu pokazivač miša nakon što se dosjete podražaja i kada su spremni dati svoj odgovor. Kada je računalo

registriralo pomicanje pokazivača miša, na ekranu se pojavio krug s podražajima za odabir odgovora. U krugu je bilo prikazano 30 od 360 mogućih podražaja. Svi podražaji u krugu su se nalazili na međusobno ekvidistantnoj udaljenosti. Na svakoj sekvenci, po slučaju su odabrani podražaji koji će se prikazati na krugu za odgovore, te je krug za odgovore rotiran po slučaju kako bismo izbjegli efekte motoričke pristranosti (npr., da sudionici češće odabiru podražaje koji su prikazani na gornjoj polovici ekrana). Prelaskom pokazivača preko podražaja u sredini ekrana bi se pojavio podražaj na kojem se trenutno nalazi pokazivač. Kako je sudionik pomicao pokazivač tako su se izmjenjivali podražaji na sredini ekrana. Iako je u krugu za odgovore bilo prikazano samo 30 podražaja, pomicanjem miša između bilo koja dva podražaja, sudionici su mogli odabrati bilo koji od 360 mogućih podražaja. Kada je sudionik bio zadovoljan svojim odabirom, kliknuo bi na taj podražaj u krugu podražaja i tako odabrao svoj konačan odgovor. Nakon davanja svog odgovora od sudionika se tražilo da procjene koliko su sigurni u svoj odgovor. Unutar kruga podražaja pojavio bi se luk kod odabranog podražaja i sudionik je trebao dužinom luka označiti procjenu svoje sigurnosti u odgovor. Sudionici bi označili dio kruga za koji smatraju da se nalazi prikazani podražaj oko odabranog podražaja. Ako su bili sigurni u svoj odabir, mogli su staviti minimalan luk, dok je veći luk bio potreban ako su bili manje sigurni, tj. trebali su označiti veći raspon potencijalno točnih podražaja. Kako bismo motivirali sudionike da što bolje pamte podražaje te što preciznije procjenjuju sigurnost dosjećanja na kraju sekvence prikazan (1000 ms) je broj dobivenih bodova za trenutnu sekvencu i ukupni broj bodova ostvaren u trenutnome bloku. Najveći mogući broj dobivenih bodova za jednu sekvencu je bio 100, a najmanji nula. Broj bodova se računao na temelju točnosti odgovora i sigurnosti u svoj odgovor. Ako je traženi podražaj bio unutar luka sigurnosti, sudionici su dobivali bodove ovisno o duljini istog po formuli $\text{bodovi} = (360 - \text{dužina luka u stupnjevima}) / 360 * 100$. Ako se točan podražaj nalazio izvan označenog luka, sudionici bi dobili 0 bodova.

Slika 2

Shematski prikaz jedne sekvence (zadatka) u eksperimentu.



Analize korištene u obradi podataka

Sve analize provedene su u statističkom programu JASP (0.17.2.1.). Prilikom odgovora na istraživačka pitanja provodili smo t-testove i složene analize varijance, čiji su ishodi p vrijednosti. Zbog složenosti nacrt istraživanja, korištene su analize varijance kako bi se mogla ispitati moguća interakcija dviju nezavisnih varijabli. T-testovima smo dodatno željeli ispitati postoji li razlika između podražaja visoke i niske čestine u određenom bloku sekvenci (u prvom i osmom bloku sekvenci) i razlika između unimodalne i bimodalne situacije kada su podražaji bili visoke čestine i niske čestine. Kako neznačajna p vrijednost ne govori o tome je li nul-hipoteza točna ili nam nedostaje statističke snage da bismo ju odbacili, nakon pronalaska neznačajnih p vrijednosti, dodatno su provedeni i bayesijski t-testovi kako bismo kvantificirali dokaze u prilogu nul-hipotezi i hipotezi o postojanju razlika. Konkretno, bayesijskim t-testovima je dobiven Bayesov faktor (BF) koji se definira kao omjer koji nam govori koliko podaci preferiraju jednu hipotezu spram druge, tj. broj koji ukazuje relativnu vjerojatnost da određena hipoteza bolje opisuje podatke od druge hipoteze (Morey, 2014), u ovom slučaju hipoteza o postojanju razlike između podražaja visoke i podražaja niske čestine naspram nul-hipoteze. Bayesov faktor može poprimiti vrijednosti od nula do beskonačno i vrijednosti $BF_{10} = 1$ se interpretira kao

usporediva količina dokaza u prilog nul-hipoteze i alternativne hipoteze o postojanju razlika. Vrijednosti $BF_{10} < 1$ govore da podaci preferiraju nul-hipotezu, a vrijednosti $BF_{10} > 1$ od jedan da preferiraju alternativnu hipotezu (van Doorn i sur., 2020). Kass i Raftery (1995) spominju da Bayesov faktor koji pokazuje vrijednosti između 1 i 3.2 (odnosno 1 i 0.33) govori samo o anegdotalnoj preferenciji alternativne (odnosno nul) hipoteze i ne bi ga se trebalo interpretirati kao jake dokaze za nju. Nadalje, vrijednosti Bayesovog faktora između 3.2 i 10 ukazuju na znatnu preferenciju podataka za alternativnu hipotezu, od 10 do 100 na jaku i vrijednosti veće od 100 na odlučujuću.

Rezultati

Kako bismo odgovorili na postavljene probleme, analizirali smo pogreške dosjećanja i sigurnost dosjećanja. Pogreške dosjećanja izračunate su kao razlika, u radijanima kružnice, između traženog podražaja i podražaja kojeg su se sudionici dosjetili. Pogreške dosjećanja u ovakvom zadatku se tipično distribuiraju približno normalno (Prilog A), tj. sudionici se najčešće dosjećaju podražaja koji su vrlo slični prikazanom podražaju, a rjeđe se dosjećaju podražaja koji su udaljeni od traženog podražaja. Za svakog sudionika i svaki blok sekvenci, pojedine pogreške dosjećanja sumarno su izražene kao standardna devijacija pogreška dosjećanja oko traženog podražaja. Važno je naglasiti da su izračunate zasebne standardne devijacije kada je podražaj tražen za dosjećanje dolazio iz dijela distribucije s visokom čestinom, a zasebno kada je dolazio iz dijela distribucije s niskom čestinom. Sve analize pogrešaka dosjećanja provedene su na izračunatim standardnim devijacijama. Što su pogreške dosjećanja veće, odnosno što su manje koncentrirane oko točnog podražaja, to će i procijenjene standardne devijacije biti veće. Drugim riječima, niske standardne devijacije upućuju na preciznije dosjećanje. Sigurnost dosjećanja sudionika za svaku sekvencu bila je izračunata kao $1 - \text{duljina luka}/360$, zatim uprosječeno za sve sekvence pojedinog sudionika i eksperimentalnu situaciju. Treba naglasiti da manje duljine lukova ukazuju na veću sigurnost. Analiza procijenjenih sigurnosti dosjećanja pokazala je da su sudionici pravili manje lukove što su bili točniji u dosjećanju, tj. što im je bila manja pogreška dosjećanja, bila je i manja duljina luka (Prilog B).

Provjera adaptacije vidnog radnog pamćenja

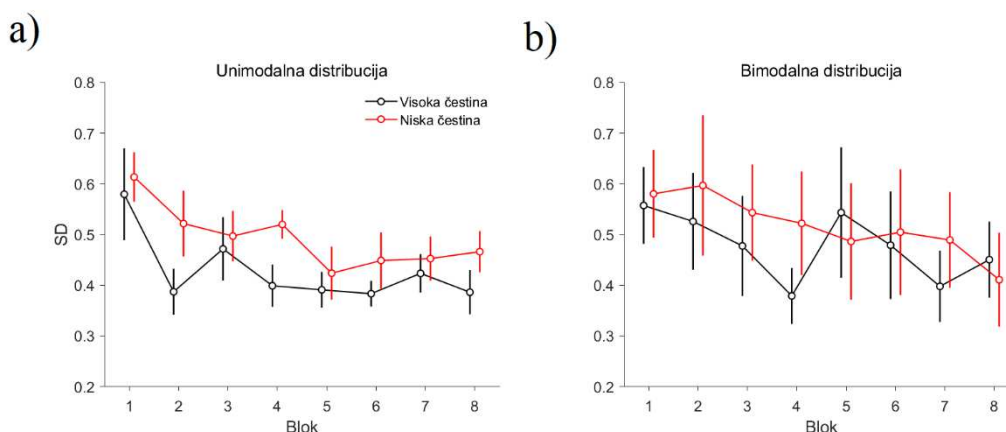
Prvi problem ovog istraživanja je bio ispitati sposobnost adaptacije VRP u unimodalnoj i bimodalnoj situaciji na podražaje visoke čestine u odnosu na podražajne niske čestine. *Slika 3* prikazuje standardnu devijaciju dosjećanja u funkciji eksperimentalnog bloka i upućuje na smanjenje pogreške dosjećanja kroz adaptacijski tijek i veću preciznost za podražaje visoke čestine naspram podražaja niske čestine u svim blokovima u situaciji unimodalne distribucije podražaja (*Slika 3a*), dok takav efekt nije vidljiv u situaciji visoke kompleksnosti, odnosno kod bimodalne distribucije podražaja (*Slika 3b*). Kako bi odgovorili na prvi problem, prvo su provedene dvije složene analize varijance za zavisne uzorke. Nezavisne varijable su čestina podražaja (visoka i niska) i trajanje adaptacije (prvi i osmi eksperimentalni blok sekvenci), a zavisna varijabla je pogreška dosjećanja.

Prvo su opisani podaci iz unimodalne situacije, a nakon toga podaci iz bimodalne situacije. Provedenom analizom utvrđen je statistički značajan glavni efekt trajanja adaptacije ($F(1, 10) = 7.971, p = 0.018, \eta_p^2 = 0.444$) što ukazuje da su sudionici u osmom bloku imali manju pogrešku dosjećanja nego u prvom bloku, i odražava opće upoznavanje sa zadatkom i podražajnim materijalom. Glavni efekt čestine podražaja ($F(1, 10) = 1.231, p = 0.293, \eta_p^2 = 0.11$) i interakcija ($F(1, 10) = 0.445, p = 0.52, \eta_p^2 = 0.043$) nisu bili statistički značajni. Zatim su dodatno provedeni t-testovi za zavisne uzorke kako bismo provjerili postoji li razlika između podražaja visoke čestine i niske čestine na početku adaptacijskog tijeka (prvi blok sekvenci) te na kraju adaptacijskog tijeka (osmi blok sekvenci). Uspoređeni su podaci i oba t-testa su bila statistički neznčajna (prvi blok – $t(10) = -0.443, p = 0.667$, Cohenov $d = 0.134$; osmi blok – $t(10) = -1.887, p = 0.088$, Cohenov $d = 0.569$). Provedenim testovima nije pronađena razlika između podražaja visoke i niske čestine ni u prvim bloku sekvenci, niti u osmom bloku sekvenci. Ovakav rezultat je bio očekivan u prvom bloku sekvenci, ali ne i u osmom bloku sekvenci. Bayesijanski t-testovi su provedeni kako bismo testirali snagu dokaza u prilog nul-hipotezi ili alternativnoj, predstavljenoj hipotezi. Njihovi rezultati za prvi blok sekvencu su $BF_{10} = 0.324$ i za osmi blok sekvenci $BF_{10} = 1.115$. Oni nam govore da su podaci pod nul-hipotezom u prvom bloku sekvenci vjerojatniji gotovo tri puta više nego pod hipotezom o

postojanju razlike. Ovakav rezultat je očekivan jer ne bismo očekivali ikakve razlike na početku adaptacije. U osmom bloku sekvenci podaci su gotovo jednako vjerojatni pod nul hipotezom i hipotezom o postojanju razlike.

Slika 3

Grafički prikaz pogrešaka dosjećanja sudionika kroz eksperimentalni zadatak.



Napomena: Prikaz pogrešaka dosjećanja sudionika kroz osam blokova sekvenci za podražaje visoke i niske čestine u situaciji niske kompleksnosti (unimodalna distribucija) (a) i visoke kompleksnosti (bimodalna distribucija) (b). Na x-osi se nalaze blokovi sekvenci, a na y-osi se nalazi standardna pogreška dosjećanja. Podaci za podražaje visoke čestine su označeni crvenom bojom, a podaci za podražaje niske čestine crnom bojom. Krugovi prikazuju aritmetičke sredine za sve sudionike, a pripadajuće okomite linije standardnu pogrešku aritmetičke sredine.

Dobiveni Bayesov faktor za osmi blok sekvenci govori kako nema dovoljno dokaza u prilog ijednoj hipotezi, no trend rezultata sa *Slike 3a* prikazuje da je preciznost u svakom bloku veća za podražaje visoke čestine. Zajedno, to upućuje na problem niske snage u ovom istraživanju. Kako bi se povećala pouzdanost podataka, a time i vjerojatnost da se razlika pronade ako ona postoji, provedena je dodatna analiza povezanih podataka iz četvrtog do osmog bloka sekvenci (zadnja polovica adaptacijskog tijeka) između podražaja visoke i niske čestine. Dobiveni rezultati su statistički značajni ($t(10) = -2.289, p = 0.045$,

Cohenov $d = 0.69$, $BF_{10} = 1.848$) i ukazuju da su sudionici imali značajno manje pogreške dosjećanja na podražaje visoke čestine u usporedbi s podražajima niske čestine. Bayesov faktor, koji je relativno malen ($BF_{10} = 1.848$), pokazuje tek anegdotalnu razinu dokaza u prilog toj razlici i većoj vjerojatnosti hipoteze o postojanju razlike.

Slika 3b prikazuje pogreške dosjećanja sudionika kroz zadatak za bimodalnu situaciju, a podaci ukazuju na manje jasan trend nego u unimodalnoj situaciji. Provedena je analiza varijance za zavisne uzorke na podacima iz prvog i osmog bloka sekvenci te između podražaja visoke i niske čestine. Dobiven je statistički značajan glavni efekt trajanja adaptacije ($F(1, 10) = 15.229$, $p = 0.003$, $\eta_p^2 = 0.604$) dok glavni efekt čestina podražaja ($F(1, 10) = 0.067$, $p = 0.801$, $\eta_p^2 = 0.007$) i interakcija ($F(1, 10) = 0.376$, $p = 0.553$, $\eta_p^2 = 0.036$) nisu bili statistički značajni. Značajan glavni efekt trajanja adaptacije govori da su sudionici imali manju pogrešku dosjećanja na podražaje u osmom bloku sekvenci nego u prvom bloku sekvenci što je bilo i očekivano. Zatim su provedeni t-testovi za zavisne uzorke kojima se htjela dodatno provjeriti razlika između podražaja visoke i niske čestine u prvom bloku i podražaja visoke i niske čestine u osmom bloku. Oba t-testa su bila statistički neznčajna (prvi blok – $t(10) = -0.609$, $p = 0.556$, Cohenov $d = 0.184$; osmi blok – $t(10) = 0.518$, $p = 0.616$, Cohenov $d = 0.156$) i nije pronađena razlika između podražaja visoke i niske čestine u prvom bloku sekvenci niti u osmom bloku sekvenci. Bayesovi faktori (prvi blok sekvenci – $BF_{10} = 0.349$, osmi blok sekvenci – $BF_{10} = 0.334$) dobiveni bayesijanskim t-testovima govore da je u oba slučaja gotovo tri puta vjerojatnija nul-hipoteza od hipoteze o postojanju razlike. Provedena je i dodatna analiza, kao i za unimodalnu situaciju, povezanih podataka iz četvrtog do osmog bloka sekvenci. Dobiven je statistički neznčajan rezultat t-testa ($t(10) = -0.66$, $p = 0.524$, Cohenov $d = 0.199$) i Bayesov faktor je bio nizak i u korist nul-hipotezi ($BF_{10} = 0.358$). Nije pronađena statistički značajna razlika između podražaja visoke i niske čestine u blokovima sekvenci četiri do osam i prema Bayesovom faktoru podaci su gotovo tri puta vjerojatniji pod nul-hipotezom nego pod hipotezom o postojanju razlike.

Utjecaj kompleksnosti distribucije na adaptaciju vidnog radnog pamćenja

Drugi problem istraživanja je bio ispitati utječe li kompleksnost situacije (unimodalna i bimodalna) na pogrešku dosjećanja podražaja različite čestine (visoka i niska) na kraju adaptacijskog tijeka (osmi blok sekvenci). Pretpostavili smo kako će efekt adaptacije biti veći u situaciji niske kompleksnosti okoline (unimodalna distribucija) u odnosu na visoku kompleksnost okoline (bimodalna distribucija). Prvo je provedena mješovita analiza varijance u kojoj su nezavisne varijable čestina podražaja (visoka i niska) i eksperimentalna situacija (unimodalna i bimodalna), a zavisna varijabla je pogreška dosjećanja.

Provedenom analizom varijance utvrđeni su statistički neznačajni glavni efekt čestine podražaja ($F(1, 20) = 0.213, p = 0.649, \eta_p^2 = 0.011$), glavni efekt eksperimentalne situacije ($F(1, 20) = 0.003, p = 0.958, \eta_p^2 < 0.000$) i statistički neznačajna interakcija ($F(1, 20) = 1.87, p = 0.187, \eta_p^2 = 0.085$). Ovi rezultati su u suprotnosti s pretpostavkom iz druge hipoteze i ne podupiru ju. No, kako u sklopu prvog problema nije utvrđena statistički značajna razlika između rezultata podražaja visoke čestine i niske čestine u zadnjem bloku sekvenci, ni u unimodalnoj, niti u bimodalnoj situaciji, dobiveni rezultati u ovoj analizi nisu iznenađujući. Zatim su provedeni t-testovi kako bi se dodatno provjerila konkretna razlika između sudionika iz unimodalne i bimodalne situacije kada su podražaji bili visoke čestine i kada su podražaji bili niske čestine. Nije pronađena statistički značajne razlike između unimodalne i bimodalne situacije za podražaje visoke čestine ($t(20) = -0.74, p = 0.468$, Cohenov $d = 0.316$) i podražaje niske čestine ($t(20) = 0.546, p = 0.591$, Cohenov $d = 0.233$). Dobiveni Bayesov faktor za podražaje visoke čestine iznosi $BF_{10} = 0.468$, a Bayesov faktor za podražaje niske čestine iznosi $BF_{10} = 0.428$ i govore da je dosjećanje čestih, odnosno rijetkih, podražaja bilo usporedivo u unimodalnoj i bimodalnoj situaciji.

Utjecaj adaptacije vidnog radnog pamćenja na sigurnost dosjećanja

Treći i zadnji korak u analizi podataka je odgovoriti na posljednji problem, odnosno pitanje utjecaja adaptacije na procjenu sigurnosti u točnost vlastitog odgovora. *Slika 4a* prikazuje odnos sigurnosti dosjećanja sudionika za podražaje visoke i niske čestine u unimodalnoj

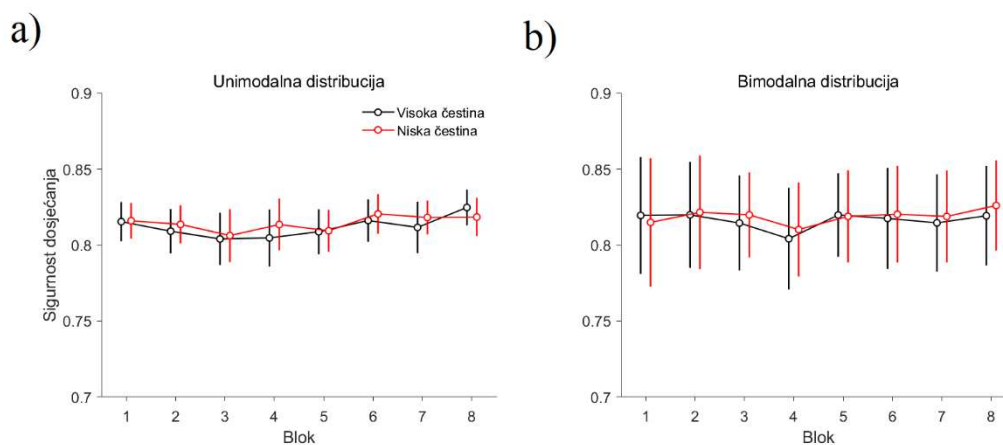
situaciji kroz eksperimentalni zadatak (kroz osam blokova sekvenci) i ne sugerira postojanje efekta adaptacije na sigurnost dosjećanja. Procjene sigurnosti su u prosjeku padale s pogreškom dosjećanja što se može vidjeti u *Prilogu B*, što ukazuje na valjanost prikupljenih procjena sigurnosti dosjećanja. Za unimodalnu situaciju prvo je provedena analiza varijance za zavisne uzorke i dobiveni su statistički neznačajni glavni efekt trajanje adaptacije ($F(1, 10) = 0.31, p = 0.59, \eta_p^2 = 0.03$), glavni efekt čestina podražaja ($F(1, 10) = 0.649, p = 0.439, \eta_p^2 = 0.061$) i interakcija ($F(1, 10) = 0.952, p = 0.352, \eta_p^2 = 0.087$). Zatim su provedeni t-testovi za zavisne uzorke kako bi se provjerila konkretna razlika između podražaja visoke i niske čestine u prvom bloku sekvenci i u osmom bloku sekvenci vezana uz sigurnost dosjećanja sudionika u vlastite dogovore. Dobiveni su statistički neznačajan t-test za prvi blok sekvenci između podražaja visoke i niske čestine ($t(10) = -0.082, p = 0.936$, Cohenov $d = 0.025$) i statistički neznačajan t-test za osmi blok sekvenci između podražaja visoke i niske čestine ($t(10) = 2.119, p = 0.06$, Cohenov $d = 0.639$). Razlika se nije očekivala u prvom bloku sekvenci, ali je u osmom bloku sekvenci. Bayesov faktor za prvi blok sekvenci ($BF_{10} = 0.298$) ukazuje na veću vjerojatnost podataka pod nul-hipotezom i njezino prihvatanje, dok Bayesov faktor za osmi blok sekvenci ($BF_{10} = 1.485$) ukazuje na veću vjerojatnost podataka pod hipotezom o postojanju razlike te veću sigurnost dosjećanja za česte podražaje, ali samo na anegdotalnoj razini. Iako se nije očekivala značajna razlika u sigurnosti dosjećanja između podražaja visoke i niske čestine u prvom bloku sekvenci, takva se očekivala u osmom bloku sekvenci i time nije potvrđena hipoteza 3a.

Za bimodalnu situaciju provedena je ista analiza podataka kao i za unimodalnu situaciju. Na *Slici 4b* moguće je vidjeti odnos sigurnosti dosjećanja i adaptacijskog tijeka za bimodalnu situaciju. Analizom varijance za zavisne uzorke dobiveni su statistički neznačajni glavni efekt trajanje adaptacije ($F(1, 10) = 0.09, p = 0.771, \eta_p^2 = 0.009$), glavni efekt čestina podražaja ($F(1, 10) = 0.138, p = 0.718, \eta_p^2 = 0.014$) i interakcija ($F(1, 10) = 1.246, p = 0.29, \eta_p^2 = 0.111$). Nakon analize varijance provedeni su t-testovi za zavisne uzorke kako bi se provjerila konkretna razlika između podražaja visoke i niske čestine u prvom bloku sekvenci i u osmom bloku sekvenci vezana uz sigurnost dosjećanja sudionika

u vlastite dogovore. T-test za zavisne uzorke je bio statistički neznačajan za prvi blok sekvenci između podražaja visoke i niske čestine ($t(10) = 0.624$, $p = 0.547$, Cohenov $d = 0.188$) i za osmi blok sekvenci između podražaja visoke i niske čestine ($t(10) = -1.8$, $p = 0.102$, Cohenov $d = 0.543$). Bayesov faktor za prvi blok sekvenci ($BF_{10} = 0.351$) ukazuje na veću vjerojatnost podataka pod nul-hipotezom i Bayesov faktor za osmi blok sekvenci ($BF_{10} = 1.005$) ukazuje na podjednaku vjerojatnost rezultata pod obje hipoteze. Ovi rezultati su isto u suprotnosti predstavljenoj hipotezi, gdje je očekivana razlika između sigurnosti dosjećanja u osmom bloku sekvenci.

Slika 4

Grafički prikaz procjena sigurnosti dosjećanja sudionika kroz eksperimentalni zadatak u dvije eksperimentalne situacije.



Napomena: Na y-osi se nalazi sigurnost dosjećanja sudionika za podražaje visoke čestine (linija crne boje) i podražaje niske čestine (linija crvene boje), a na x-osi se nalaze svi blokovi sekvenci kroz koje su sudionici trebali proći tijekom eksperimentalnog zadatka. (a) prikaz za unimodalnu situaciju, (b) prikaz za bimodalnu situaciju. Krugovi prikazuju aritmetičke sredine za sve sudionike, a pripadajuće okomite linije standardnu pogrešku aritmetičke sredine.

Rasprava

Cilj istraživanja je bio odgovoriti na pitanja može li se VRP adaptirati na statističku strukturu nepoznatih i apstraktnih vidnih podražaja, kako utječe kompleksnost situacije na adaptaciju i mijenja li se sigurnost dosjećanja u funkciji adaptacije. Kako bi se odgovorilo na pitanje adaptacije na apstraktne oblike, provedene su dvije analize podataka, prva za unimodalnu situaciju i druga za bimodalnu situaciju. U obje situacije je bilo očekivano da će sudionici imati manju pogrešku dosjećanja na kraju zadatka (osmi blok sekvenci) nego na početku (prvi blok sekvenci) i bolje će se dosjećati češćih podražaja (podražaji visoke čestine) nego rjeđih (podražaji niske čestine) na kraju zadatka, ali ne i na početku zadatka što je trebalo ukazivati na adaptaciju VRP na karakteristike okoline. Dobiveni rezultati djelomično potvrđuju iznesene pretpostavke. Konkretno, pronađena je statistički značajna razlika u obje situacije između pogreške dosjećanja na početku i na kraju zadatka. Sudionici su manje griješili na kraju zadatka nego na početku što nam ukazuje na efekt uvježbavanja. U obje situacije veličina efekta trajanja adaptacije je relativno velika ($\eta_p^2 = 0.444$ za unimodalnu situaciju, $\eta_p^2 = 0.604$ za bimodalnu situaciju).

Nadalje, u obje situacije kompleksnosti distribucije podražaja t-testovi nisu pokazali statistički značajnu razliku između podražaja visoke i niske čestine ni na početku zadatka, niti na kraju zadatka, ali u unimodalnoj situaciji ukazivali su na takav trend koji je dodatnom analizom povezanih podataka od četvrtog do osmog bloka sekvenci potvrđen. Dobivena je statistički značajna razlika između povezanih podataka visoke čestine i povezanih podataka niske čestine, gdje su sudionici imali manju pogrešku dosjećanja za podražaje visoke čestine za razliku od podražaja niske čestine. Takvi rezultati nisu dobiveni u bimodalnoj situaciji, nije bilo statistički značajne razlike između povezanih podataka visoke čestine i povezanih podataka niske čestine. Provedeni su i Bayesovi t-testovi koji su uskladu s ostalim rezultatima i govore u prilog nul-hipotezi. Treba naglasiti da je Bayesov faktor dobiven na povezanim podacima iz unimodalne situacije bio veći ($BF_{10} = 1.848$) od ostalih i potvrđuje razliku između pogreške dosjećanja podražaja visoke čestine u usporedbi s podražajima niske čestine u korist podražaja visoke čestine.

Nekoliko je mogućih objašnjenja zašto drugi dio hipoteze nije potvrđen, a jedan od njih je podražajni materijal. VCS prostor (Li i sur., 2020) je relativno nov i prvi 2D kružni podražajni materijal koji se koristi oblicima. Dakle, postoji malo istraživanja koja su se koristila ovim materijalima i malo istraživanja koja su ispitivala adaptaciju s takvim ili sličnim oblicima (Hansmann-Roth i sur., 2023). Moguće da zbog svoje veće kompleksnosti od adaptacije na boje ili orijentacije (Hansmann-Roth i sur., 2023) i veće apstraktnosti od prirodnih scena (Orhan i sur., 2014), adaptacija na ovaj podražajni materijal predstavlja puno veći izazov. Orhan i sur. (2014) još spominju da sudionici mogu imati internalni model distribucije prikaza statističkih pravilnosti koji nije u skladu s modelom korištenim u eksperimentu što može dovesti do rezultata koji su različiti od predviđenih. Na primjer, dok je u istraživanju korištena jasno definirana bimodalna distribucija, zbog selektivnog usmjeravanja na podražaje, pri čemu to usmjeravanje ne mora nužno biti namjerno i svjesno, sudionici su mogli naučiti distribuciju koja se razlikuje od distribucije koja opisuje podražajni materijal.

Drugo moguće objašnjenje dobivenih rezultata je izgled podražaja. VCS prostor (Li i sur., 2020) koristi razne oblike koji imaju šiljaste kuteve ili zaobljene elemente. Palumbo i sur. (2015) su implicitnim metodama ispitali sklonost prema zakrivljenim, oblim oblicima naspram oblicima s oštrim, šiljastim kutevima i pokazali su da ljudi preferiraju oblike s oblim elementima i povezuju s njima riječi koje predstavljaju sigurnost i ugodnost dok oblici s oštrim kutevima predstavljaju opasnost i neugodnost. Emotivna obojenost podražaja kojeg se treba dosjetiti mogla je tako utjecati na izvedbu (Costanzi i sur., 2019) i dovesti do toga da su sudionici manje griješili pri dosjećanju nekih oblika u odnosu na druge nevezano uz njihovu čestinu prikazivanja tijekom zadatka. Prije početka zadatka za svakog sudionika je bila posebno izgenerirana distribucija (ali samo dvije vrste distribucija, unimodalna ili bimodalna) podražaja koji su kasnije bili predstavljeni u zadatku što znači da je svaki sudionik imao poseban skup podražaja kroz koji je prolazio prema spomenutom načinu iz nacrtu istraživanja.

Još jedan od razloga zbog kojeg su dobiveni predstavljeni rezultati mogao bi biti sam nacrt istraživanja, tj. način određivanja čestine podražaja. Kao što je ranije spomenuto,

podražaji visoke čestine su po slučaju bilo odabrani s dijela kruga koji je iznosi 40 stupnjeva kružnice (u bimodalnoj situaciji 20 stupnjeva kružnice plus 20 stupnjeva dijametralno suprotnih) i trebalo ih se dosjetiti na 40% prikazanih sekvenci dok se u preostalih 60% sekvenci trebalo dosjetiti podražaja iz 320 stupnjeva kružnice. Moguće da je takav raspon podražaja visoke čestine prevelik za adaptaciju koja se odvija u relativno kratkom vremenu ili je broj sekvenci bio premalen. Trebalo bi ispitati kako bi drugi omjer dosjećanja podražaja utjecao na pogrešku dosjećanja, na primjer 50% prikazanih podražaja visoke čestine i 50% prikazanih podražaja niske čestine. No, treba biti i oprezan u odabiru omjera prikazanih podražaja kako sudionici ne bi shvatili što se ispituje istraživanjem i ponašali se u skladu s tim očekivanjima, a ne zbog eksperimentalne manipulacije. Trebalo bi uzeti u obzir i statističku snagu istraživanja, zbog trenda koji je vidljiv u unimodalnoj situaciji (osmi blok – $t(10) = -1.887, p = 0.088$), a koja bi se mogla popraviti povećanjem broja sudionika i dovesti taj trend do pozitivnog ishoda ako on uistinu postoji. U svakom slučaju, povećanjem uzorka, bayesijanska analiza bi nam ukazala koja od dvije hipoteze je vjerojatnija.

Što se tiče pitanja utjecaja kompleksnosti situacije na adaptaciju, provedena je analiza u kojoj su bili uspoređeni podaci osmog bloka sekvenci sudionika iz unimodalne situacije s istim podacima sudionika iz bimodalne situacije. Provedenom analizom nije potvrđena hipoteza, tj. nije pronađena statistički značajna razlika između pogreške dosjećanja podražaja visoke čestine i podražaja niske čestine ni očekivana veća razlika u unimodalnoj situaciji naspram bimodalne situacije. Dakle, rezultati ukazuju da nema razlike između kompleksnosti unimodalne i bimodalne situacije. Iako je bimodalna situacija složenija od unimodalne situacije i dalje je bio zahvaćen isti broj stupnjeva podražaja i prikazan isti broj puta kao i podražaji iz unimodalne situacije što bi značilo da možda nije toliko kompleksnija koliko je bilo očekivano. Kako je trend rezultata bio puno jasniji u unimodalnoj situaciji, povećanje broja sudionika bi moglo dovesti do povećanja statističke snage pa tako i do moguće značajne razlike u pogrešci dosjećanja između podražaja visoke i niske čestine i adaptacije ako ta razlika uistinu postoji.

Na kraju je bila provedena analiza kako bi se odgovorilo na pretpostavke o sigurnosti u točnost vlastitog odgovora. Bilo je pretpostavljeno da će sudionici biti sigurniji u točnost vlastitog odgovora za podražaje visoke čestine nego za podražaje niske čestine. U obje situacije nije pronađena statistički značajna razlika između procjena sigurnosti, između prvog bloka sekvenci i osmog bloka sekvenci, niti između podražaja visoke čestine i podražaja niske čestine. Razlog takvome ishodu može biti sličan razlozima za nedobivanje značajne razlike u adaptaciji između češćih i rjeđih podražaja. Teško je očekivati da osoba bolje procjeni sigurnost dosjećanja za češće podražaje u odnosu na rjeđe podražaje kad nema značajne razlike između njih. No, iz Priloga B koji prikazuje odnos procjene sigurnosti dosjećanja (duljina luka) i pogreške dosjećanja možemo vidjeti da kako raste pogreška dosjećanja tako raste i nesigurnost u vlastiti odgovor što ukazuje na valjanost prikupljenih podataka i ulogu metakognicije u reguliranju tog odnosa. Rademaker i sur. (2012) u svome istraživanju su pronašli da sudionici relativno točno koriste metakogniciju u procjeni preciznosti VRP.

Potrebno je spomenuti da je u istraživanju korišten uređaj za praćenje pokreta očiju. Njegova uloga je bila pratiti pokrete oka sudionika i kontrolirati ih tako da uvijek gledaju u označeni centar ekrana. Time je spriječena mogućnost sudionika da se fokusiraju na određeni dio ekrana, tj. podražaj koji bi se mogao pojaviti. Fokusiranje odrađenog dijela ekrana moglo je dovesti do poboljšanja u dosjećanju određenih podražaja koje nije bilo izazvano eksperimentalnom manipulacijom nego refleksnim pokretom oka i željom da se prate podražaji kako bi se mogli što bolje zadržati u vidnom radnom pamćenju. Buduća istraživanja bi mogla koristiti uređaj ne samo za kontrolu pokreta očiju, nego i za analizu pokreta očiju. Različita veličina sakada (pokreta očima) može biti povezana s određenom razinom dosjećanja podražaja. Na primjer, prilikom davanja odgovora, male sakade s jednog dijela kruga za odgovore na drugi dio može upućivati da sudionici zamjećuju male razlike između podražaja na ekranu i onog u pamćenju, dok velike sakade mogu upućivati da je veći broj podražaja na krugu za odgovore teško razlikovati od onoga u pamćenju.

U istraživanju uz klasičnu frekvencionističku statistiku korištena je i bayesijanska statistika. Bayesijanska statistika je bila korištena iz nekoliko razloga, a jedan od njih su

informacije koje možemo dobiti njenim korištenjem, a ne možemo klasičnom frekvencionističkom statistikom. Dok p vrijednost govori o vjerojatnosti dobivanja rezultata koji su barem ekstremni koliko i oni pod nul-hipotezom koja je točna (Wagenmakers i sur., 2018), Bayesov faktor govori koliko podaci preferiraju nul-hipotezu naspram alternativne hipoteze (Morey, 2014). Tako korištenjem Bayesovog faktora dobivamo još informacija o našim rezultatima što nikad nije za odbaciti. Uz dodatne informacije koje dobijemo korištenjem bayesijanske statistike, Bayesov faktor dopušta naknadno dodavanje (ili zaustavljanje) sudionika u uzorak kad eksperimentator to odluči, što nije opravdano kod klasične frekvencionističke statistike. Naravno, potrebno je pošteno izvijestiti u radu što i kako je to napravljeno. Dakle, moguće bi bilo u budućnosti nastaviti eksperiment i provjeriti stoje li rezultati dobiveni u ovom istraživanju i uz veći uzorak. Drugi razlog korištenja bayesijanske statistike je nezastupljenost iste u psihologijskim istraživanjima (Wagenmakers i sur., 2018), tj. poticanje njenog korištenja u području psihologijskih istraživanja. Informacije dobivene Bayesovim faktorom su različite od onih dobivene p vrijednosti u smislu da ta dva broja daju dvije informacije koje se različito definiraju i interpretiraju i ne bi trebala jedna biti zapuštena zbog druge.

Kako je ovo istraživanje jedno od rijetkih koje je koristilo VCS prostor (Li i sur., 2020) kao podražajni materijal, teško je bilo procijeniti koliki dio kruga je potrebno istaknuti za upotrebu veće čestine i koliko je taj dio kruga potrebno istaknuti sveukupno više nego ostatak kruga. U budućnosti bilo bi dobro ispitati mogu li se sudionici adaptirati na manji broj, tj. raspon, podražaja visoke čestine, odnosno onih koji se češće pojavljuju kroz cijeli zadatak. Trebalo bi ispitati je li potrebno više navrata i više vremena sudionicima da se adaptiraju na takve podražaje koji ne prate nužno prirodne statističke regularnosti, nego su relativno apstraktni. Sudionici se lakše prilagode podražajima koji sadrže ekološki valjanije pravilnosti, nego na apstraktne podražaje (Orhan i sur., 2014). Stoga se preporučuje daljnje ispitivanje vezano uz moguću adaptaciju na apstraktne oblike u različito kompleksnim situacijama, s različitim vremenskim trajanjem i različitim načinima izazivanja adaptacije.

Zaključak

U provedenom istraživanju nije pronađena značajna razlika pogreške dosjećanja oblika iz VCS prostora u unimodalnoj i bimodalnoj situaciji između podražaja visoke i niske čestine na početku adaptacijskog tijek ni na kraju gdje se očekivala. Pronađena je značajna razlika u pogrešci dosjećanja između početka i kraja adaptacijskog tijeka gdje su sudionici manje griješili na kraju u obje eksperimentalne situacije. Pronađena je značajna razlika u unimodalnoj situaciji između podražaja visoke i niske čestine kod povezanih podataka i sudionici su manje griješili u dosjećanju podražaja visoke čestine. Što se tiče kompleksnosti situacija, nije pronađena značajna razlika između unimodalne i bimodalne situacije za podražaje visoke i niske čestine što je bilo neočekivano, ali u skladu s rezultatima analiza prvog problema. Nije pronađena značajna razlika u procjeni sigurnosti u točnost vlastitog odgovora kroz adaptacijski tijek između podražaja visoke i niske čestine u unimodalnoj niti bimodalnoj situaciji.

Literatura

- Barlow, H. B. (1961). Possible Principles Underlying the Transformations of Sensory Messages. U: W. A. Rosenblith (Ur.), *Sensory Communication* (str. 217-234). MIT Press.
- Bays, P. M., Catalao, R. F. G. i Husain, M. (2009). The precision of visual working memory is set by allocation of a shared resource. *Journal of Vision*, 9(10), 1-11. <https://doi.org/10.1167/9.10.7>
- Costanzi, M., Cianfanelli, B., Saraulli, D., Lasaponara, S., Doricchi, F., Cestari, V. i Rossi Arnaud, C. (2019). The Effect of Emotional Valence and Arousal on Visuo-Spatial Working Memory: Incidental Emotional Learning and Memory for Object Location. *Frontiers in Psychology*, 10(2587). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02587>
- Fougnie, D., Suchow, J. i Alvarez, G. (2012). Variability in the quality of visual working memory. *Nature Communications*, 3, 1229. <https://doi.org/10.1038/ncomms2237>
- Girshick, A. R., Landy, M. S. i Simoncelli, E. P. (2011). Cardinal rules: Visual orientation perception reflects knowledge of environmental statistics. *Nature Neuroscience*, 14, 926–932. <https://doi.org/10.1038/nn.2831>
- Hansmann-Roth, S., Chetverikov, A. i Kristjánsson, A. (2023). Extracting statistical information about shapes in the visual environment. *Vision Research*, 206. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2023.108190>.
- Kass, R. E. i Raftery, A. E. (1995). Bayes Factors. *Journal of American Statistical Association*, 90(430), 773-795. <https://doi.org/10.1080/01621459.1995.10476572>
- Kleiner, M., Brainard D. i Pelli D. (2007) What's new in psychtoolbox-3?. *Perception*, 36(ECVP 2007 Abstract Supplement) 14.

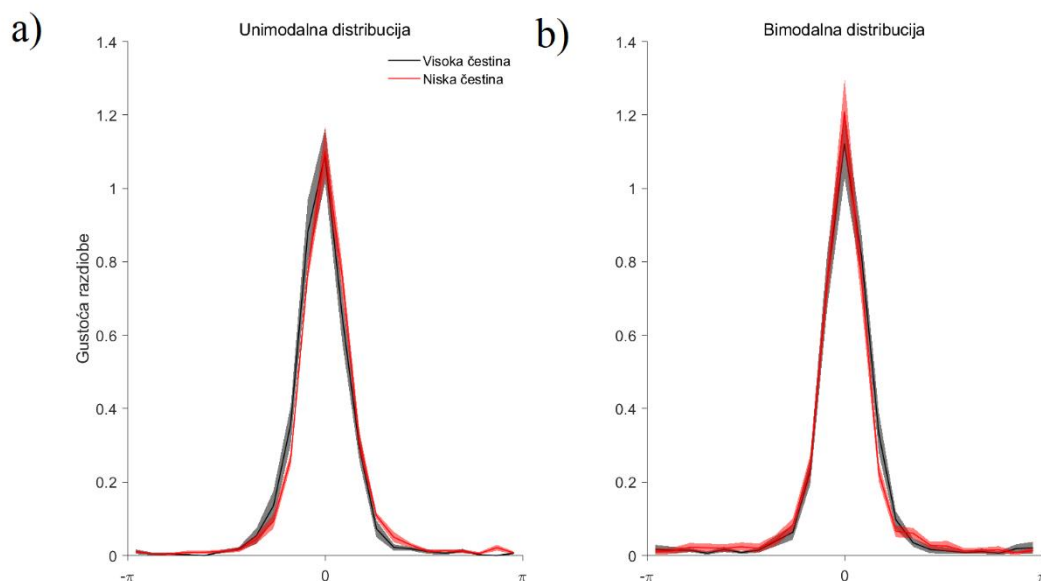
- Li, A. Y., Liang, J. C., Lee, A. C. H. i Barense M. D. (2020). The Validated Circular Shape Space: Quantifying the Visual Similarity of Shape. *Journal of Experimental Psychology: General*, 149(5), 949-966. <https://doi.org/10.1037/xge0000693>
- Ma, W. J., Husain, M. i Bays, P. M. (2014). Changing concepts of working memory. *Nature Neuroscience*, 17(3), 347-356. <https://doi.org/10.1038/nn.3655>
- McGovern, D. P., Roach, N. W. i Webb, B. S. (2012). Perceptual Learning Reconfigures the Effects of Visual Adaptation. *The Journal of Neuroscience*, 32(39), 13621-13629. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1523/JNEUROSCI.1363-12.2012>
- Morey, R. D. (2014). *BayesFactor: Software for Bayesian inference*. <https://bayesfactor.blogspot.com/2014/02/the-bayesfactor-package-this-blog-is.html>
- Orhan, A. E., Sims, C. R., Jacobs, R. A. i Knill, D. C. (2014). The Adaptive Nature of Visual Working Memory. *Current Directions in Psychological Science*, 23(3), 164-170. <https://doi.org/10.1177/0963721414529144>
- Palumbo, L., Ruta, N. i Bertamini M. (2015). Comparing Angular and Curved Shapes in Terms of Implicit Associations and Approach/Avoidance Responses. *PloS ONE*, 10(10), e0140043. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0140043>
- Rademaker, R. L., Tredway, C. H. i Tong, F. (2012). Introspective judgments predict the precision and likelihood of successful maintenance of visual working memory. *Journal of Vision*, 12(13), 1–13. <https://doi.org/10.1167/12.13.21>
- Robertson, A. R. (1977). The CIE 1976 Color-Difference Formulae. *Color Research and Application* 2(1), 7-11. <https://doi.org/10.1002/j.1520-6378.1977.tb00104.x>
- Schneegans, S., Taylor, R. i Bays, P. M. (2020). Stochastic sampling provides a unifying account of visual working memory limits. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(34), 20959-20968. <https://doi.org/10.1073/pnas.2004306117>

- Schurigin, M.W., Wixted, J.T. i Brady, T.F. (2020). Psychophysical scaling reveals a unified theory of visual memory strength. *Nature Human Behaviour*, 4, 1156–1172. <https://doi.org/10.1038/s41562-020-00938-0>
- Taylor, R. i Bays, P. M. (2018). Efficient coding in visual working memory accounts for stimulus-specific variations in recall. *Journal of Neuroscience*, 38(32), 7132-7142. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1018-18.2018>
- The MathWorks Inc. (2022). MATLAB version: 9.13.0 (R2022b), Natick, Massachusetts: The MathWorks Inc. <https://www.mathworks.com>
- Tomić, I. (2017). Vidno radno pamćenje. *Psihologijske teme*, 26(3), 601-625. <https://doi.org/10.31820/pt.26.3.6>
- van den Berg R., Awh E. i Ma W.J. (2014). Factorial comparison of working memory models. *Psychological Review*, 121(1), 124-149. doi: 10.1037/a0035234. PMID: 24490791; PMCID: PMC4159389.
- van den Berg R., Shin, H., Chou, W. C. i Ma, W. J. (2012). Variability in encoding precision accounts for visual short-term memory limitations. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(22), 8780-8785. <https://doi.org/10.1073/pnas.1117465109>
- van Doorn, J., van den Bergh, D., Böhm, U., Dablander, F., Derks, K., Draws, T., Etz, A., Evans, N. J., Gronau, Q. F., Haaf, J. M., Hinne, M., Kucharský, Š., Ly, A., Marsman, M., Matzke, D., Komarlu Narendra Gupta, A. R., Sarafoglou, A., Stefan, A., Voelkel, J. G. i Wagenmakers, J. (2020). The JASP guidelines for conducting and reporting a Bayesian analysis. *Psychonomic Bulletin and Review*, 28(3), 813-826. <https://doi.org/10.3758/s13423-020-01798-5>

- Vogel, E. K., Woodman, G. F. i Luck, S. J. (2001). Storage of Features, Conjunctions, and Objects in Visual Working Memory. *Journal of Experimental Psychology*, 27(1), 92-114.
- Wagenmakers, J., Marsman, M., Jamil, T., Ly, A., Verhagen, J., Love, J., Selker, R., Gronau, Q. F., Šmíra, M., Epskamp, S., Matzke, D., Rouder J. N. i Morey, R. D. (2018). Bayesian inference for psychology. Part I: Theoretical advantages and practical ramifications. *Psychonomic Bulletin & Review*, 25, 35-57. <https://psycnet.apa.org/doi/10.3758/s13423-017-1343-3>
- Weber, A. I., Krishnamurthy, K. i Fairhall, A. L. (2019). Coding Principles in Adaptation. *Annual Review of Vision Science*, 5, 427-449. <https://doi.org/10.1146/annurev-vision-091718-014818>
- Webster, M. A. (2011). Adaptation and visual coding. *Journal of Vision*, 11(5), 1-23. <https://doi.org/10.1167/11.5.3>
- Webster, M. A. (2015). Visual Adaptation. *Annual Review of Vision Science*, 1, 547-567. <https://doi.org/10.1146/annurev-vision-082114-035509>
- Wei, X.-X., & Stocker, A. A. (2015). A Bayesian observer model constrained by efficient coding can explain ‘anti-Bayesian’ percepts. *Nature Neuroscience*, 18(10), 1509-1517. <https://doi.org/10.1038/nn.4105>
- Zhang, W. i Luck, S. (2008). Discrete fixed-resolution representations in visual working memory. *Nature*, 453, 233-235. <https://doi.org/10.1038/nature06860>

Prilozi

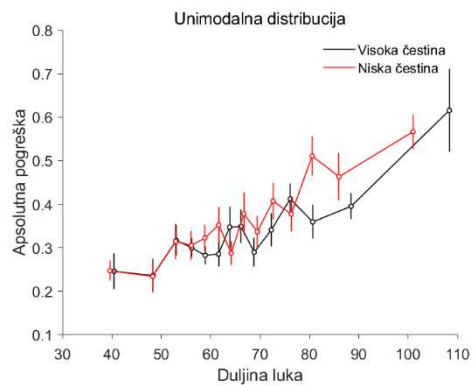
Prilog A Distribucije pogrešaka dosjećanja.



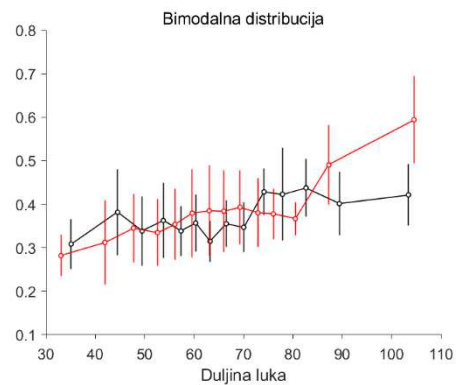
Napomena: Grafički prikaz prosječne distribucije pogrešaka dosjećanja na temelju uratka svih sudionika. Distribucije odgovora imaju približno normalan oblik s $M = 0$ (nulta pogreška). Maksimalna pogreška u odnosu na točan odgovor u ovom zadatku iznositi $\pm\pi$ (tj. $\pm 180^\circ$). Na temelju individualnih distribucija izračunate su standardna devijacija dosjećanja koja je korištena kao zavisna varijabla. Prikazane su sve četiri eksperimentalne situacije, podražaji visoke (crna boja linije) i niske (crvena boja linije) čestine u situaciji unimodalne distribucije podražaja (a) i situaciji bimodalne distribucije podražaja (b) kroz cijeli adaptacijski tijek (preko svih osam blokova sekvenci).

Prilog B Odnos duljine luka kao mjere sigurnosti dosjećanja i pogreške dosjećanja.

a)



b)



Napomena: Grafički prikaz odnosa sigurnosti dosjećanja (duljina luka u stupnjevima) na x-osi i pogreške dosjećanja (apsolutna pogreška) na y-osi za podražaje visoke čestine (crna boja) i viske čestine (crvena boja) u unimodalnoj (a) i bimodalnoj (b) eksperimentalnoj situaciji.