

Perceptivni distraktori utječu na reprezentacije vidnoga radnog pamćenja samo u ranim fazama obrade

Ivan Tomić i Dragutin Ivanec

Sveučilište u Zagrebu, Filozofski fakultet u Zagrebu,
Odsjek za psihologiju, Zagreb, Hrvatska

Sažetak

Jedan je od glavnih zadataka vidnoga radnog pamćenja (VRP) zaštita pohranjenih sadržaja od nevažnih vidnih podražaja u okolini, tj. od distraktirajućih informacija. Iako velik broj istraživanja pokazuje negativan utjecaj distraktora na sadržaje u VRP-u, nejasno je utječu li distraktori jednako na VRP u različitim fazama obrade, tj. tijekom kodiranja, zadržavanja i dosjećanja. U provedenom su istraživanju sudionici ($N = 12$) u zadatku VRP-a pamteli obojene podražaje te su im prikazivani perceptivni distraktori u različitim fazama obrade podražaja. Rezultati su pokazali da prikazivanje distraktora neposredno nakon nestanka podražaja za pamćenje (tj. u fazi kodiranja), ali ne i tijekom faze zadržavanja ili dosjećanja, dovodi do porasta pogreške dosjećanja. Ključno, utjecaj distraktora nije ovisio o njihovoj snazi manipuliranoj kao trajanje prikaza distraktora. Da bismo pobliže istražili vrstu pogreške do koje dolazi uslijed prikaza distraktora, podaci su procijenjeni probabilističkim modelom mješovitih distribucija. Rezultati su pokazali da se porast pogreške dosjećanja dominantno može pripisati porastu pogrešaka zamjena i pogreškama intruzije, dok pogreške slučajnoga pogađanja te preciznost točnih dosjećanja nisu pokazali sustavno variranje s prikazom distraktora. Naši rezultati pokazuju da je proces obrane od distraktora u VRP-u pretežno uspješan, s povremenim neuspjesima koji rezultiraju jasnim obrascima pogrešaka. Konačno, ti rezultati govore u prilog distribuiranoj pohrani sadržaja VRP-a i suprotni su pretpostavkama hipoteze senzornoga kodiranja.

Ključne riječi: vidno radno pamćenje, ometajući podražaji, pogreške intruzije, model mješovitih distribucija

Uvod

Vidno radno pamćenje (VRP) skupni je naziv za procese kratkotrajnoga zadržavanja i aktivne obrade vidnih informacija nakon što one nestanu iz osjetnoga sustava (Ma i sur., 2014; Tomić, 2017). Najvažnija je karakteristika VRP-a njegova ograničenost, i to ponajprije u terminima količine informacija koju možemo privremeno pohraniti u VRP-u (Schneegans i sur., 2020; van den Berg i sur., 2014). U prilog tome govore i mnogobrojna istraživanja koja pokazuju da preciznost

✉ Ivan Tomić, Odsjek za psihologiju, Filozofski fakultet u Zagrebu, Sveučilište u Zagrebu, Ivana Lučića 3, 10000 Zagreb, Hrvatska. E-adresa: itomic3@ffzg.hr

dosjećanja podražaja pada s povećanjem broja pohranjenih podražaja (Bays i sur., 2009; Schneegans i Bays, 2016; van den Berg i sur., 2012; Zhang i Luck, 2008). Ti nalazi pokazuju da VRP, poput mnogih drugih sustava, lošije funkcionira pod opterećenjem.

Osim količine sadržaja koju pohranjuje, svojevrsno opterećenje za funkcioniranje VRP-a proizlazi iz mnoštva vidnih informacija prisutnih u okolini prilikom svakodnevnoga obavljanja zadataka, a koje ne potpomažu obavljanje trenutnoga zadatka. Jedna je od glavnih zadaća VRP-a zaštita pohranjenoga sadržaja od takvih distraktirajućih, tj. ometajućih podražaja (McNab i sur., 2015). Sposobnost VRP-a da pohranjene sadržaje zaštiti od distraktora tipično se ispituje zadatkom u kojemu se sudionicima tijekom faze zadržavanja informacija, tj. nakon pamćenja, a prije dosjećanja podražaja, prikazuju nove, ometajuće vidne informacije (npr. Magnussen i Greenlee, 1999).

Uradak u takvome zadatku u pravilu je lošiji u usporedbi s identičnim zadatkom tijekom kojega se sudionicima ne prikazuju ometajuće informacije. Specifično, istraživanja su pokazala da prikazivanje ometajućih podražaja za vrijeme pamćenja dovodi do pada kvalitete uratka u zadatku VRP-a, i to prilikom pamćenja orijentacija (Rademaker i sur., 2015; van Ede i sur., 2018), boja (Nemes i sur., 2012; Nilsson i Nelson, 1981), prostornih frekvencija (Bennett i Cortese, 1996; Magnussen i sur., 1991; Nemes i sur., 2011), vidno-prostornih informacija (Sakai i sur., 2002), smjera kretanja (Magnussen i Greenlee, 1992; McKeefry i sur., 2007; Pasternak i Zaksas, 2003) i lica (Jha i sur., 2004; Sreenivasan i Jha, 2007). Unatoč velikomu broju istraživanja koja demonstriraju interferirajući efekt distraktora, manje je jasno kako točno distraktori dovode do pada kvalitete reprezentacija pohranjenih u VRP-u.

Rezultati nekih istraživanja sugeriraju da distraktori unose šum u reprezentacije VRP-a te narušavaju njihovu rezoluciju i sposobnost dosjećanja (Magnussen i Greenlee, 1992). Ta hipoteza počiva na pretpostavci da su sadržaji VRP-a pohranjeni u neuralnim strukturama udešenima za reprezentaciju određenih vidnih kvaliteta (npr. isključivo orijentacija ili boja), pri čemu prikazivanje ometajućih podražaja iste vidne kvalitete inhibira aktivnost područja zaduženih za pohranu sadržaja VRP-a (Magnussen i sur., 1991). Istraživanje Myersa i suradnika (2014) u kojemu su korišteni zadatak kontinuirane procjene i modeli mješovitih distribucija pokazalo je da se pad kvalitete uratka u zadatku s distraktorima može najbolje objasniti padom preciznosti dosjećanja, a ne, primjerice, potpunim zaboravljanjem sadržaja iz VRP-a.

Često su istraživani tip pogrešaka kod dosjećanja iz VRP-a tzv. pogreške zamjene (engl. *swap errors*; Bays, 2016). Tipično se te pogreške odnose na situacije u kojima se sudionici dosjete jednoga od prethodno prikazanih podražaja, međutim, ne onoga koji je tražen za dosjećanje. Istraživanja pokazuju da do pogrešaka zamjene dolazi zbog pogrešaka u povezivanju različitih karakteristika podražaja u jedinstvenu reprezentaciju (npr. orijentacije koje se pamte i lokacije podražaja koje služe kao znak za dosjećanje) (Oberauer i Lin, 2017; Schneegans i Bays, 2017). Za istraživanja su distraktora specifičan tip pogrešaka zamjene pogreške intruzije kod kojih se

sudionici dosjećaju prikazanoga distraktora umjesto sadržaja VRP-a (Bancroft i sur., 2016; De Beni i sur., 1998; Robert i sur., 2009). Do takvih pogrešaka dolazi kada neka karakteristika distraktora (npr. orijentacija ili boja) jednostavno zamijeni prethodno zapamćeni sadržaj u VRP-u, pri čemu se sudionici kasnije dosjećaju distraktora koje su trebali ignorirati. Fallon i suradnici (2018) sudionicima su tijekom pamćenja orijentacija u zadatku VRP-a prikazivali distraktore koji su sa sadržajem pohranjenim u VRP-u mogli biti podudarni ili nepodudarni u boji (znak za dosjećanje) ili lokaciji (irelevantno obilježje). Rezultati su pokazali da uslijed prikaza distraktora dolazi do pada preciznosti dosjećanja podražaja VRP-a, pri čemu, neovisno o situaciji podudarnosti distraktora sa sadržajem VRP-a, taj pad djelomično proizlazi iz pogrešaka zamjene i pogrešaka intruzije (v. i van Ede i sur., 2018).

Jesu li reprezentacije VRP-a jednako osjetljive na utjecaj distraktora tijekom različitih faza zadatka VRP-a? Hipoteza senzornoga regrutiranja (Harrison i Tong, 2009; Serences, 2016; Sreenivasan i sur., 2014) pretpostavlja da su reprezentacije VRP-a u svim fazama obrade, od kodiranja do dosjećanja, pohranjene u vidnim senzornim područjima, istima onima koja omogućuju percepciju podražaja. Prema toj bi hipotezi svaki dodatni angažman vidnih područja tijekom zadatka VRP-a trebao rezultirati nepovoljnim interferirajućim efektima na sam sadržaj VRP-a. Alternativna je pretpostavka da senzorna mozgovna područja podržavaju samo rane faze pohrane sadržaja, nakon čega se sama pohrana odvija u parijetalnim mozgovnim područjima (Bettencourt i Xu, 2016). U skladu s tom hipotezom sadržaji VRP-a trebali bi biti osjetljivi na distraktore samo u ranim fazama pohrane, ali ne i kasnije tijekom faza pamćenja ili dosjećanja kada senzorna područja prenesu informacije u druge dijelove mozga.

Istraživanje van Lamsweerde i Johnsona (2017) korištenjem zadataka detekcije promjene i kontinuirane procjene pokazalo je da prikazivanje ometajuće maske odmah nakon nestanka podražaja za pamćenje (0 ms) ili kratko nakon toga (100 ms) dovodi do većih pogrešaka dosjećanja u usporedbi s većim razmakom između podražaja za pamćenje i distraktora (200 ms). Do sličnih rezultata došli su i van Ede i suradnici (2018) koristeći slične vremenske intervale između nestanka podražaja za pamćenje i prikaza distraktora. Iako najdulji vremenski interval korišten u obama istraživanjima (200 ms) vjerojatno ne izlazi iz faze konsolidacije podražaja u VRP-u, rezultati obaju istraživanja pokazuju da povećanje vremenskoga intervala između prikazivanja podražaja za pamćenje i prikaza distraktora dovodi do smanjenja interferirajućega efekta.

Konačno, utjecaj distraktora na VRP potencijalno može ovisiti o snazi distraktora. Istraživanja ometajućih efekata u VRP-u pokazala su da aktivna obrada, tj. alociranje pažnje distraktorima dovodi do snažnijega ometajućeg efekta u odnosu na situaciju u kojoj pažnja nije alocirana distraktorima (Klauer i Zhao, 2004; Wang i sur., 2018). Tradicionalno se uloga snage distraktora u području VRP-a ispituje prikazom subliminalnih i supraliminalnih distraktora (npr. Bona i sur., 2013; Silvanto i Soto, 2012). Pritom se različita snaga distraktora ostvaruje kombinacijom

varijabilnoga vremena prikaza podražaja uz prateći maskirajući podražaj (npr. Breitmeyer i Ogmen, 2006). U našem je istraživanju snaga distraktora također operacionalizirana korištenjem varijabilnoga vremena prikaza i maskirajućega podražaja, no uz pretpostavku da su svi prikazani distraktori supraliminalni. U prilog takvoj operacionalizaciji snage distraktora govore istraživanja VRP-a koja pokazuju da dulji prikaz vidnih podražaja dovodi do boljšega kodiranja reprezentacija u VRP-u (Bays i sur., 2011; Vogel i sur., 2006).

Cilj istraživanja

U ovome smo istraživanju željeli ispitati kako prikazivanje perceptivnih distraktora u različitim fazama obrade sadržaja u VRP-u utječe na pogreške dosjećanja. Specifično, perceptivne distraktore prikazivali smo u fazi kodiranja (tj. odmah nakon nestanka podražaja za pamćenje), zadržavanja (tj. nakon kodiranja, ali prije dosjećanja) te dosjećanja (tj. nakon prikazivanja znaka za dosjećanje). Dok fazu dosjećanja možemo jednoznačno opisati kao fazu nakon prikaza znaka za dosjećanje, važno je definirati razliku između faze kodiranja i faze zadržavanja. Faza kodiranja započinje prikazom podražaja za pamćenje, no znatno je teže odrediti dokad traje. Nieuwenstein i Wyble (2014), kombinirajući paradigmu maskiranja i treptaja pažnje, procijenili su da se potpuno kodiranje i konsolidacija podražaja u radno pamćenje odvijaju unutar 1 sekunde nakon prikaza podražaja za pamćenje. U skladu s tim rezultatima, distraktori u fazi kodiranja prikazani su neposredno nakon nestanka podražaja za pamćenje. Faza zadržavanja definirana je na temelju tih istih nalaza te smo distraktore u fazi zadržavanja prikazivali daleko nakon njih, konkretno, 2.5 sekunde nakon nestanka podražaja za pamćenje.

Prethodna istraživanja sugeriraju da su sadržaji VRP-a najosjetljiviji na perceptivne distraktore u ranim fazama obrade (Xu, 2017). Međutim, nejasno je mogu li distraktori utjecati na VRP u fazi dosjećanja kada su senzorna vidna područja ponovno aktivirana. Osim toga, provedena su se istraživanja dosad uglavnom usmjeravala na samo jednu fazu obrade (kodiranje ili zadržavanje). U ovome smo istraživanju stoga sustavno usporedili utjecaj distraktora u različitim fazama obrade. Također, da bismo provjerili utječe li snaga distraktora na sadržaje VRP-a, manipulirali smo trajanjem prikazivanja distraktora pod hipotezom da dulji prikaz distraktora dovodi do snažnijega ometajućeg efekta (Klauer i Zhao, 2004; Robison i sur., 2018).

Nadalje, u ovome smo istraživanju htjeli ispitati koju točno vrstu pogrešaka sudionici rade uslijed prikaza distraktora. Da bismo odgovorili na taj problem, podatke prikupljene zadatkom kontinuirane procjene obradili smo probablističkim modelom mješovitih distribucija (McLachlan i Peel, 2000). U testiranome modelu možemo razlikovati razne vrste pogrešaka: pad preciznosti točnih dosjećanja, porast pogrešaka pogađanja (sudionici pogađaju pod pretpostavkom da je distraktor „izbrisao” prethodno zapamćeni podražaj), porast pogrešaka zamjene (sudionici

reproduciraju podražaj prikazan za pamćenje, ali ne onaj koji je tražen) i porast pogrešaka intruzije (sudionici reproduciraju distraktor umjesto podražaja prikazanoga za pamćenje).

Metoda

Sudionici

U eksperimentu je sudjelovalo ukupno 12 ispitanika (10 žena, 2 muškarca; dob 19 – 31 godina). Svi su sudionici izvijestili da imaju zdrav ili primjereno korigiran vid. Istraživanje je odobrilo Etičko povjerenstvo Odsjeka za psihologiju Filozofskoga fakulteta u Zagrebu, a svi su sudionici prije početka istraživanja potpisali informirani pristanak za sudjelovanje u istraživanju.

Broj sudionika i podražajnih sekvencija¹ korišten u istraživanju u skladu je s drugim istraživanjima vidnoga radnog pamćenja koja koriste zadatak kontinuirane procjene (npr. Bays i sur., 2009). Osim toga, prije provedbe samoga istraživanja procijenili smo potreban broj sudionika koristeći program *GPower* 3.1.9.7 (Faul i sur., 2009). Pri procjeni potrebnoga broja sudionika u potpuno zavisnome nacrtu istraživanja 3 x 3 krenuli smo od pretpostavki ciljanja statističke snage .80, uz razinu rizika $\alpha = .05$ i procijenjene povezanosti uradaka između različitih eksperimentalnih situacija $r = .70$. Procjena povezanosti uratka temelji se na podacima koje su autori prikupili koristeći sličan zadatak (npr. Tomić i sur., 2019). Pretpostavljena veličina učinka izražena kao parcijalna kvadrirana eta bila je $\eta_p^2 = .10$. U nedostatku sličnih istraživanja pomoću kojih bismo mogli procijeniti stvarnu veličinu učinka odlučili smo se za relativno malu veličinu učinka da bi procjena potrebne veličine uzorka bila konzervativna². Koristeći opisane parametre, procijenjeno je da je za ovo istraživanje potrebno ukupno 11 sudionika.

Podražajni materijal

Svi su podražaji bili prikazani na 24-inčnome LCD monitoru rezolucije 1920 x 1080 s 144 Hz vertikalnoga osvježavanja. Sudionici su u ekran gledali s udaljenosti od 70 cm, a konstantan razmak osiguran je korištenjem naslona za glavu. Svi su podražaji prezentirani na sivoj pozadini ekrana (RGB: [0.5, 0.5, 0.5]; 5 cd/m²) u zatamnjenoj prostoriji. Za zadavanje podražaja i prikupljanje odgovora korišteni su alati *Psychtoolbox3* (Kleiner i sur., 2007) i *MATLAB* (Mathworks inc.).

¹ Nakon prikupljanja podataka provedena je simulacija kojom smo potvrdili da se populacijske mjere raspšenja (izražene kao PAO) mogu uspješno rekonstruirati koristeći 50 podražajnih sekvencija.

² Opažene veličine učinka znatno premašuju pretpostavljene veličine učinka (v. rezultate koji se navode dalje u tekstu).

Da bismo uspostavili fiksaciju očiju, u središtu je ekrana prikazan fiksacijski križić ($1^\circ \times 1^\circ$ vidnoga polja (*vp*)). Podražajni materijal u zadatku radnoga pamćenja bile su boje definirane u prostoru boja CIE $L^*a^*b^*$ ($L = 70$, $a = 20$, $b = 38$, $R = 89$). Sudionicima su tijekom zadatka prikazivani obojeni kvadrati (veličine $2^\circ \times 2^\circ$ *vp*), smješteni na neku od osam unaprijed definiranih i fiksnih lokacija raspoređenih na nevidljivoj kružnici (radijusa 5.2° *vp*). Boje kvadrata odabirane su nasumično između 180 mogućih boja.

Podražajni materijal u ometajućem prikazu odabran je s istoga kruga boja kao i podražajni materijal u prikazu za pamćenje. U svakome ometajućem prikazu prezentirane su 3 nasumično odabrane boje. Veličina ometajućih podražaja odgovarala je veličini podražaja za pamćenje. Također, lokacije prikaza ometajućih podražaja odabirane su nasumično između 8 unaprijed definiranih lokacija, istih koje su korištene za prikaz podražaja za pamćenje. Trajanje prikaza distraktora razlikovalo se ovisno o eksperimentalnoj manipulaciji te su distraktori bili prikazani 0 ms u situaciji bez distraktora, 50 ms u situaciji slabih distraktora te 150 ms u situaciji snažnih distraktora. U 40 % slučajno odabranih sekvencija sudionicima je uz ometajuće podražaje prikazan crno-bijeli podražaj nalik šahovskoj ploči. Veličina podražaja bila je jednaka veličini ometajućega podražaja, a lokacija samoga podražaja odabrana je između istih osam mogućih lokacija na kojima su prikazivani podražaji za pamćenje i ometajući podražaji. Taj je podražaj uključen da bi ispitanici aktivno obraćali pažnju na ometajuće podražaje. Konkretno, zadatak je sudionika bio da detektiraju je li zajedno s distraktorima bio prikazan takav crno-bijeli podražaj (ponuđeni su odgovori DA ili NE). Kada takva kontrola ne bi postajala, jedno bi od mogućih objašnjenja za eventualan nepronalazak efekta distraktora bilo da su sudionici aktivno izbjegavali ometajući ekran. Za kontrolu vremena prikaza distraktora korišten je maskirajući podražaj koji se sastojao od prikaza kruga ispunjenoga statičnim obojenim šumom (radijusa 10.6° *vp*).

Kao znak za dosjećanje korišten je kvadrat s crnim rubom prikazan na jednoj od tri lokacije na kojoj su prethodno prikazani podražaji za pamćenje. Sudionici su svoje odgovore davali klikom miša na krugu boja. Krug boja sadržavao je svih 180 boja iz kojih su uzorkovane pojedinačne boje za pamćenje. Krug boja bio je pozicioniran u središtu ekrana (unutarnji radijus 7.6° *vp*, vanjski radijus 10.6° *vp*).

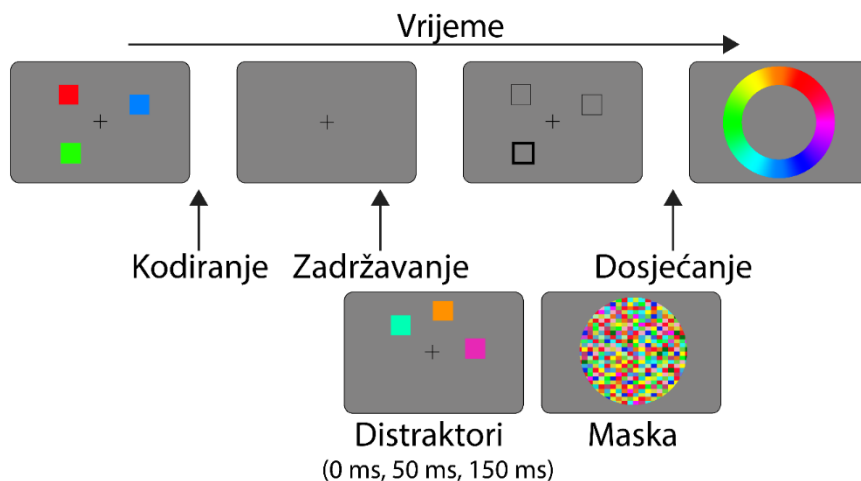
Postupak

Kao zadatak za ispitivanje VRP-a korišten je zadatak kontinuirane procjene uz odgođeno dosjećanje (Slika 1.). Sekvencija od prikaza podražaja za pamćenje do pojave kruga boja za davanje odgovora trajala je ukupno 4750 ms, neovisno o eksperimentalnoj situaciji. Na početku je svake sekvencije sudionicima bio prikazan fiksacijski križić (1000 ms), a prije samoga eksperimenta dana im je uputa da fiksiraju pogled na sam križić tijekom cijele sekvencije, izuzev faze odgovora. Nakon toga uslijedio je prikaz podražaja za pamćenje koji se sastojao od tri obojena

kvadrata (150 ms). Ostatak sekvencije razlikovao se ovisno o eksperimentalnoj situaciji.

Slika 1.

Shematski prikaz eksperimentalnoga zadatka



Napomena: Svaka je sekvencija započela prikazom fiksacijskoga križića (prikaz je izostavljen zbog preglednosti). Nakon toga prikazani su podražaji za pamćenje, zatim je uslijedila faza zadržavanja, a potom i znak za dosjećanje te faza odgovaranja. Ometajući su podražaji prikazani u trima fazama: fazi kodiranja, fazi zadržavanja ili fazi dosjećanja. Ukupno trajanje sekvencije od početka prikaza podražaja do pojave kruga boja za odgovore, neovisno o tome u kojoj su fazi prikazani distraktori, bilo je 4750 ms. Veličina podražaja ne odgovara stvarnomu odnosu veličine podražaja i ekrana u eksperimentu.

Kod prikaza distraktora u fazi kodiranja nakon nestanka podražaja za pamćenje kratko je prikazan samo fiksacijski križić (20 ms), nakon čega je uslijedio prikaz ometajućih podražaja (0 ms, 50 ms ili 150 ms), a potom i maskirajući podražaj (80 ms). Nakon toga je uslijedila faza dosjećanja čije je trajanje bilo određeno eksperimentalnom situacijom (4750 ms – ostatak prikaza: od 3850 ms (snažni distraktori) do 4000 ms (bez distraktora)), a potom i znak za dosjećanje (500 ms). Naposljetku je prikazan krug boja na kojemu su sudionici davali odgovore. Vrijeme za davanje odgovora nije bilo ograničeno.

U situaciji distrakcije tijekom faze zadržavanja nakon nestanka podražaja za pamćenje sudionicima je prikazan prazan ekran s fiksacijskim križićem (2500 ms). Ostatak sekvencije izgledao je kao i u prethodnoj situaciji prikaza distraktora u fazi kodiranja, a trajanje sekvencije nakon prikaza maskirajućega podražaja pa sve do pojave znaka za pamćenje bilo je između 1870 ms (snažni distraktori) i 2020 ms (bez distraktora), ovisno o eksperimentalnoj situaciji.

U situaciji prikaza distraktora u fazi dosjećanja sekvencija je izgledala kao i u preostalim dvjema situacijama, sa sljedećim iznimkama: vrijeme proteklo od

nestanka podražaja za pamćenje do prikaza znaka za dosjećanje trajalo je između 3870 ms (snažni distraktori) i 4020 ms (bez distraktora). Nakon toga uslijedio je znak za dosjećanje, potom ometajući, a zatim i maskirajući prikaz. Nakon toga sudionicima je prikazan krug boja za odgovor.

Svaki sudionik prošao je kroz ukupno 459 sekvencija, od kojih je 27 bilo za vježbu. U svakoj od devet eksperimentalnih situacija sudionici su odradili 48 sekvencija. Ukupno trajanje eksperimenta bilo je podijeljeno u šest jednakih blokova. U svakome je bloku prikazan jednak broj podražaja iz svake situacije, a njihov redoslijed odabran je nasumično. Cijeli je eksperiment trajao oko 90 minuta.

Analiza

Sve su analize provedene u programima MATLAB (Mathworks inc.) i JASP (JASP Team, 2020). Pogreška dosjećanja na svakoj sekvenciji definirana je kao razlika između tražene boje i boje koje su se sudionici dosjetili, tj. kao kut između dviju boja na krugu boja (raspon $[-\pi, \pi]$). Na temelju pogrešaka dosjećanja u pojedinoj situaciji za svakoga je sudionika izračunano prosječno apsolutno odstupanje (PAO) kao mjera pogreške dosjećanja.

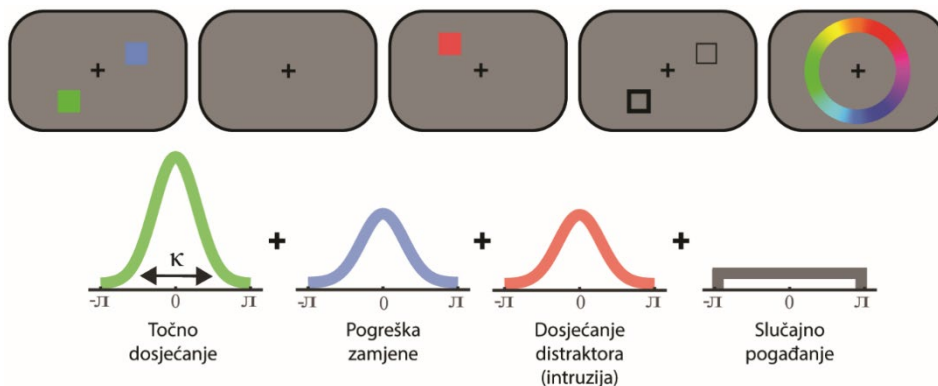
Osim analize PAO-a, podaci su testirani probablističkim modelom mješovitih distribucija (McLachlan i Peel, 2000). Dok analiza PAO-a pokazuje da se pogreška dosjećanja mijenja ovisno o fazama distrakcije i snazi distraktora, parametri modela mješovitih distribucija pokazuju koju vrstu pogrešaka sudionici rade. Konkretno, porast PAO-a u nekoj situaciji može biti posljedica slučajnoga pogađanja, nenamjernoga dosjećanja distraktora, pogrešaka zamjene ili pak točnoga dosjećanja, ali uz vrlo nisku preciznost. U ovome smo radu pretpostavili da se dosjećanje u zadatku VRP-a može opisati sljedećim komponentama: točna dosjećanja, slučajna pogađanja, pogreške zamjene te, u situacijama kada su prikazani distraktori, pogreške intruzije distraktora. Formalno, dosjećanje prema tomu modelu možemo opisati na sljedeći način:

$$p(\hat{\theta}) = p_t \phi_{\kappa}(\hat{\theta} - \theta) + p_{pz} \frac{1}{m} \sum_i^m \phi_{\kappa}(\hat{\theta} - \theta_i^*) + p_{int} \frac{1}{n} \sum_j^n \phi_{\kappa}(\hat{\theta} - \theta_j^*) + \frac{(1-p_t-p_{pz}-p_{int})}{2\pi} \quad (1)$$

gdje je p_t vjerojatnost točnoga dosjećanja; ϕ_{κ} je cirkularna normalna (von Misesova) distribucija s koncentracijskim parametrom κ ; $\hat{\theta}$ je odgovor (na krugu boja); θ je tražena vrijednost; p_{pz} je vjerojatnost pogreške zamjene, odnosno dosjećanja boje prikazane za pamćenje, ali one koja nije tražena za dosjećanje; $\{\theta_1^*, \theta_2^*\}$ su vrijednosti boja prikazanih za pamćenje, ali onih koje nisu tražene za dosjećanje; p_{int} je vjerojatnost intruzije, odnosno dosjećanja distraktora; $\{\theta_{1d}^*, \theta_{2d}^*, \theta_{3d}^*\}$ su vrijednosti boja distraktora; a posljednja komponenta formule odnosi se na vjerojatnost pogađanja. Ilustracija toga modela prikazana je na Slici 2.

Slika 2.

Pojednostavnjena ilustracija modela mješovitih distribucija



Napomena: Dosjećanje na svakoj sekvenciji dolazi iz jedne od četiriju distribucija: točnih dosjećanja (uz preciznost κ), pogrešaka zamjene, intruzije ili slučajnoga pogađanja. Boje distribucija odgovaraju bojama kvadrata: tražene boje, zapamćene boje koja nije tražena za dosjećanje te distraktora.

U situacijama u kojima nije prikazan distraktor (kontrolna situacija s obzirom na faktor snage distraktora) intruzije nisu bile moguće te je provjereno pristajanje gore opisanoga modela, ali bez komponente pogrešaka intruzije. Matematički taj model možemo opisati na sljedeći način:

$$p(\hat{\theta}) = p_t \phi_\kappa(\hat{\theta} - \theta) + p_{pz} \frac{1}{m} \sum_i^m \phi_\kappa(\hat{\theta} - \theta_i^*) + \frac{(1-p_t-p_{pz})}{2\pi} \quad (2)$$

gdje su sve komponente jednake kao u (1).

Parametri tih modela dobiveni su metodom maksimalne vjerodostojnosti (ML) korištenjem procesa optimizacije *fmincon* u MATLAB-u. Modeli su procijenjeni za svakoga sudionika posebno. Da bismo provjerili koliko dobro pretpostavljeni model reproducira pogreške dosjećanja, na temelju dobivenih parametara simulirane su očekivane vrijednosti PAO-a metodom inverznoga uzorkovanja. Svi naknadni testovi provedeni su uz Bonferronijevu korekciju te pojedinačne p vrijednosti uz svaki naknadni test predstavljaju korigirane p vrijednosti. Veličina učinka izražena je kao Cohenov d (u slučaju usporedbe dvije eksperimentalne situacije) ili kao parcijalna kvadrirana eta (η_p^2 ; usporedba većeg broja aritmetičkih sredina).

Rezultati

Kada je tijekom sekvencije prikazan distraktor, točnost detekcije ciljnoga podražaja (tj. „rešetkastoga” podražaja) bila je iznad razine slučaja, i to u svim situacijama ($M \pm SE$) za slabe i snažne distraktore: u fazi kodiranja $83.3\% \pm 2.98$ i

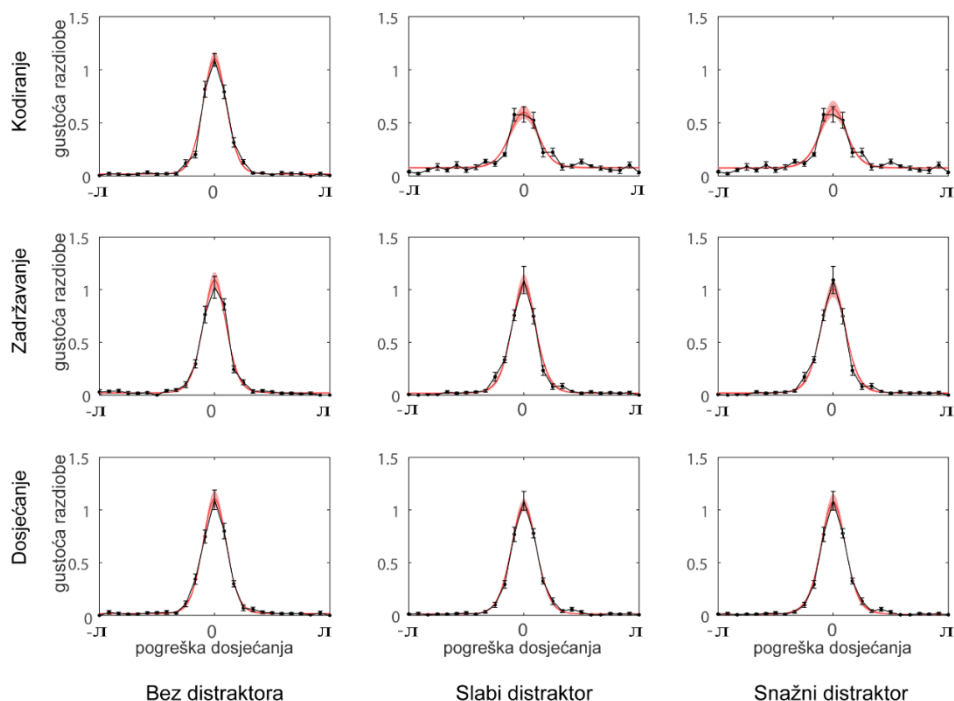
86.7 % \pm 1.7; u fazi zadržavanja 91.9 % \pm 1.4 i 96 % \pm 1.56; u fazi dosjećanja 90.6 % \pm 1.6 i 94.8 % \pm 1.25.

Analize pogrešaka dosjećanja

Distribucije pogrešaka dosjećanja ovisno o eksperimentalnoj situaciji prikazane su na Slici 3.

Slika 3.

Distribucije pogrešaka dosjećanja



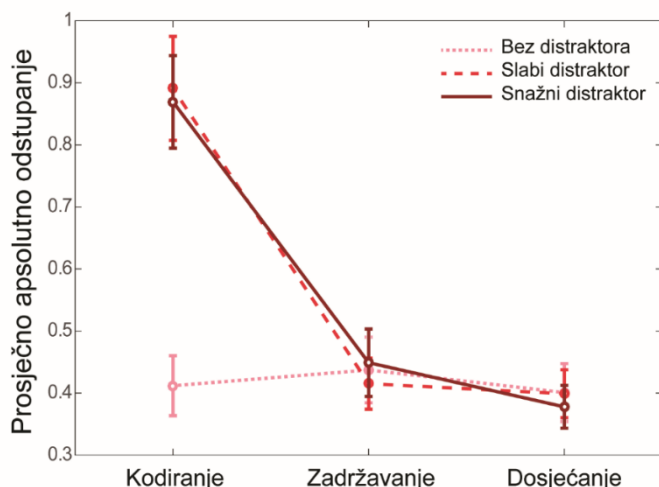
Napomena: U različitim redovima prikazane su distribucije dosjećanja kod prikaza distraktora u različitim fazama obrade. Pojedini stupci odgovaraju manipulaciji snage distraktora. Vrijednosti prikazane crnim krugovima i pridruženim standardnim pogreškama aritmetičkih sredina odgovaraju podacima prikupljenima u eksperimentu. Obojene linije prikazuju pristajanje testiranoga modela mješovitih distribucija.

Provedba analize varijance na PAO-u (Slika 4.) pokazala je značajan glavni efekt snage distraktora ($F(2,22) = 19.41, p < .001, \eta_p^2 = .64$), faze obrade ($F(2,22) = 69.74, p < .001, \eta_p^2 = .86$) te njihove interakcije ($F(2,44) = 30.25, p < .001, \eta_p^2 = .73$). Pronađena interakcija proizlazi iz značajnoga utjecaja distraktora na pogrešku dosjećanja u fazi kodiranja ($F(2,22) = 43.23, p < .001, \eta_p^2 = .80$) te neznačajnoga utjecaja distraktora na pogrešku dosjećanja u fazi zadržavanja ($F(2,22) = 0.32, p =$

.73, $\eta_p^2 = .03$) i fazi dosjećanja ($F(2,22) = 0.42, p = .66, \eta_p^2 = .04$). Naknadni testovi između situacija snage distraktora prikazanih u fazi kodiranja pokazali su da se situacija bez prikaza distraktora značajno razlikuje od situacije prikaza slabih distraktora ($t(11) = 8.24, p < .001, d = 2.41, 95\%$ -tni interval pouzdanosti d : 1.25, 3.53) i snažnih distraktora ($t(11) = 7.85, p < .001, d = 2.21, 95\%$ -tni interval pouzdanosti d : 1.02, 3.06), dok se slabi i snažni distraktori nisu razlikovali u utjecaju na pogrešku dosjećanja ($t(11) = 0.40, p = .99, d = 0.13, 95\%$ -tni interval pouzdanosti d : -0.44, 0.70). Zaključno, pogreška dosjećanja rasla je u odnosu na kontrolnu situaciju kada su distraktori prikazani odmah nakon podražaja za pamćenje, ali ne i kada su prikazani kasnije tijekom faze zadržavanja ili nakon znaka za dosjećanje. Promjena u pogrešci dosjećanja nije se razlikovala ovisno o snazi distraktora.

Slika 4.

Prosječna apsolutna odstupanja ovisno o snazi distraktora i fazi prikaza distraktora



Napomena: Vertikalne linije prikazuju standardne pogreške aritmetičkih sredina.

Model mješovitih distribucija

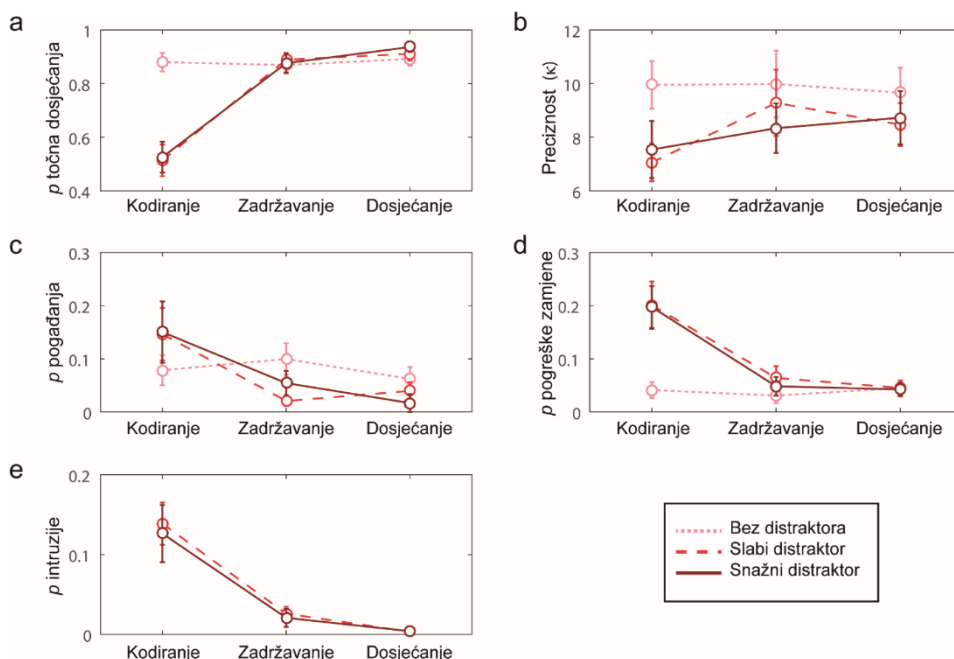
Pristajanje modela mješovitih distribucija provjereno je za distribucije pogrešaka dosjećanja (Slika 3.). Ti su modeli uspješno reproducirali distribucije pogrešaka dosjećanja te vrijednosti PAO-a (korelacija opaženih i simuliranih vrijednosti: $r = .98 \pm .004$). Da bismo provjerili koja vrsta pogrešaka dosjećanja objašnjava porast PAO-a, proveli smo niz složenih analiza varijance na parametrima dobivenima modelom mješovitih distribucija (Slika 5.).

Kada je kao zavisna varijabla korišten parametar vjerojatnosti točnoga dosjećanja (Slika 5. a), analiza varijance pokazala je značajan glavni efekt snage

distraktora ($F(2,22) = 11.98, p < .001, \eta_p^2 = .52$), faze obrade ($F(2,22) = 67.91, p < .001, \eta_p^2 = .86$) te njihovu interakciju ($F(4,44) = 34.10, p < .001, \eta_p^2 = .76$). Kao i u slučaju PAO-a, ti su efekti proizlazili iz značajne razlike situacije bez distraktora te situacije slabih distraktora ($t(11) = 7.08, p < .001, d = 2.04$, 95 %-tni interval pouzdanosti d : 1.02, 3.04), kao i situacije snažnih distraktora ($t(11) = 7.60, p < .001, d = 2.20$, 95 %-ni interval pouzdanosti d : 1.12, 3.25) u fazi kodiranja. Usporedba vjerojatnosti točnih dosjećanja uslijed slabih i snažnih distraktora pokazala je neznačajnu razliku ($t(11) = 0.26, p = .80, d = 0.08$, 95 %-tni interval pouzdanosti d : -0.49, 0.64).

Slika 5.

Parametri modela mješovitih distribucija u funkciji snage distraktora i faze prikaza distraktora



Napomena: a) vjerojatnost točnih dosjećanja; b) preciznost dosjećanja; c) vjerojatnost pogađanja; d) vjerojatnost pogreške zamjene; e) vjerojatnost intruzije. Vertikalne linije prikazuju standardne pogreške aritmetičkih sredina.

Analiza parametra preciznosti dosjećanja (Slika 5. b) pokazala je značajan glavni efekt snage distraktora ($F(2,22) = 4.64, p = .02, \eta_p^2 = .30$) te neznačajan glavni efekt faze distrakcije ($F(2,22) = 1.36, p = 0.28, \eta_p^2 = .11$), kao i neznačajnu interakciju ($F(4,44) = 0.62, p = .65, \eta_p^2 = .05$). Naknadna testiranja glavnoga efekta snage distraktora pokazala su da glavni efekt proizlazi iz razlike kontrolne situacije i situacije snažnoga distraktora ($t(11) = 2.69, p = .04, d = 0.48$, 95 %-tni interval

pouzdanosti d : -0.06, 1.03), dok preostale usporedbe nisu dosegle značajnu razliku (svi $p > .18$).

Parametar vjerojatnosti slučajnoga pogađanja (Slika 5. c) varirao je s faktorom faze obrade ($F(2,22) = 11.82, p < .001, \eta_p^2 = .52$), ali ne i s faktorom snage distraktora ($F(2,22) = 0.09, p = .91, \eta_p^2 = .01$), dok je njihova interakcija bila značajna ($F(4,44) = 2.90, p = .03, \eta_p^2 = .21$). Opažena interakcija sastojala se u značajno češćemu pogađanju kada su distraktori prikazani tijekom faze kodiranja nego u preostalim fazama, i to uslijed slabih distraktora (svi $t \geq 2.14, p \leq .06, d \geq 0.62$) i snažnih distraktora (svi $t \geq 2.13, p \leq .06, d \leq 0.62$). Usporedba vjerojatnosti pogađanja unutar faze kodiranja nije rezultirala razlikom u odnosu na kontrolnu situaciju (svi $t \geq 1.83, p \geq .10, d \leq 0.53$).

Pad vjerojatnosti točnih dosjećanja uslijed prikaza distraktora najjasnije se odrazio u pogreškama zamjene i pogreškama intruzije. Analiza varijance na pogreškama zamjene (Slika 5. d) pokazala je značajan glavni efekt snage distraktora ($F(2,22) = 9.95, p < .001, \eta_p^2 = .48$), faze obrade ($F(2,22) = 18.97, p < .001, \eta_p^2 = .63$), kao i njihovu interakciju ($F(2,22) = 6.02, p < .001, \eta_p^2 = .35$). Opažena interakcija blisko je pratila opažene promjene kod vjerojatnosti točnoga dosjećanja. Ta se interakcija u potpunosti može objasniti razlikama unutar faze kodiranja između kontrolne situacije i slabih distraktora ($t(11) = 3.49, p = .005, d = 1, 95\%$ -tni interval pouzdanosti d : 0.29, 1.69) te snažnih distraktora ($t(11) = 3.7, p = .003, d = 1.1, 95\%$ -tni interval pouzdanosti d : 0.34, 1.78). Kada su distraktori prikazani u fazi kodiranja, doveli su do usporedivih promjena u vjerojatnosti pogrešaka zamjena neovisno o svojoj snazi ($t(11) = 0.09, p = .90, d = 0.03, 95\%$ -tni interval pouzdanosti d : -0.54, 0.59). Konačno, u fazi zadržavanja nije pronađena ni jedna značajna razlika (svi $t \leq 1.69, p \geq .12, d \leq 0.49$), kao ni u fazi dosjećanja (svi $t \leq 0.35, p \geq .73, d \leq 0.1$).

Posljednja analiza varijance provedena je na parametru pogrešaka intruzije (Slika 5. e). Rezultati su pokazali značajan glavni efekt faze prikaza distraktora ($F(2,22) = 29.28, p < .001, \eta_p^2 = .73$) te neznačajan glavni efekt snage distraktora ($F(2,22) = 0.12, p = .74, \eta_p^2 = .01$) i neznačajnu njihovu interakciju ($F(2,22) = 0.05, p = .95, \eta_p^2 = .004$). Značajan efekt faze prikaza distraktora proizlazio je iz viših vjerojatnosti pogrešaka intruzije u odnosu na fazu zadržavanja ($t(11) = 4.70, p = .002, d = 1.65, 95\%$ -tni interval pouzdanosti d : 0.52, 2.77) te fazu dosjećanja ($t(11) = 6.50, p < .001, d = 1.95, 95\%$ -tni interval pouzdanosti d : 0.69, 3.20). Razlika u vjerojatnosti pogrešaka intruzije između faza zadržavanja i dosjećanja bila je granično neznačajna ($t(11) = 2.63, p = .07, d = 0.29, 95\%$ -tni interval pouzdanosti d : -0.41, 1.01).

Rasprava

U provedenom istraživanju sudionicima su u zadatku VRP-a nakon prikaza podražaja za pamćenje, a prije davanja odgovora, prikazani perceptivni distraktori.

Rezultati istraživanja pokazali su da je pogreška dosjećanja uslijed prikaza distraktora rasla samo kada su distraktori prikazani neposredno nakon nestanka podražaja za pamćenje (tj. u fazi kodiranja), ali ne i tijekom faze zadržavanja ili dosjećanja. Primjenom modela mješovitih distribucija na prikupljene podatke pronašli smo da porast pogreške dosjećanja uslijed distraktora dominantno odražava porast u pogreškama zamjene te pogreškama intruzije. Donekle iznenađujuće, snaga distraktora nije se pokazala bitnim faktorom interferirajućega efekta, što je vidljivo iz usporedivoga utjecaja slabih i snažnih distraktora, kako na opću pogrešku dosjećanja, tako i na parametre modela mješovitih distribucija.

Naši rezultati demonstriraju dva načina na koje distraktori utječu na sadržaje VRP-a. Prvo, promjena u vjerojatnostima pogrešaka zamjena upućuje na to da prikaz distraktora u fazi kodiranja otežava uparivanje vidnih karakteristika koje se pamte (boje) i njihova prostornog razmještaja. To dovodi do češćega pogrešnog dosjećanja nekoga od podražaja koji je prikazan, ali nije tražen za dosjećanje (Schneegans i Bays, 2017). Drugo, porast intruzije distraktora demonstrira kako novi senzorni podražaj, prikazan u periodu dok konsolidacija nije dovršena, može relativno lako zamijeniti sadržaje pohranjene u VRP-u (Bancroft i sur., 2016; Fallon i sur., 2018; van Ede i sur., 2018).

Konačno, rezultati provedenoga istraživanja u neskladu su s onima koje bismo očekivali na temelju hipoteze senzornoga regrutiranja (Serences, 2016; Xu, 2017). Konkretno, ta hipoteza pretpostavlja da su senzorna područja zadužena za pohranu sadržaja VRP-a te bi posljedično trebala biti osjetljiva na interferirajuće efekte novoga senzornog podraživanja u svim fazama obrade informacija u VRP-u (tj. od trenutka kodiranja do dosjećanja). Stajalište suprotstavljeno tomu ono je o pohrani sadržaja VRP-a u takozvanome distribuiranom kodu (Christophel i sur., 2017). Prema toj se hipotezi sadržaji VRP-a, nakon što su registrirani i kodirani u ranim senzornim područjima, pohranjuju u većemu broju mozgovnih područja, uključujući prefrontalna (Mendoza-Halliday i sur., 2015) i parijetalna područja (Xu i Jeong, 2015). Takva distribuirana pohrana VRP-a omogućava zaštitu vidnih reprezentacija nakon što se podražaji kodiraju i pohrane izvan ranih vidnih područja. Jesu li senzorna vidna područja zadužena, i u kojoj mjeri, za pohranu vidnih podražaja i dalje je predmet istraživanja (npr. Rademaker i sur., 2019), no rezultati našega istraživanja pružaju potporu hipotezi o distribuiranome tipu pohrane.

Naše je istraživanje jedno od rijetkih koje je ispitalo utjecaj interferencije u fazi dosjećanja. Beckers i Hömberg (1991) sudionicima su zadavali fosfene podraživanjem okcipitalnoga korteksa TMS-om tijekom faze zadržavanja i dosjećanja, pod pretpostavkom da će takvo podraživanje izazvati interferirajući efekt sličan prikazu vidnoga podražaja. Dok rezultati toga istraživanja nisu potvrdili utjecaj podraživanja TMS-om na zavisnu varijablu točnosti u fazi zadržavanja, autori su detektirali produljeno vrijeme reakcije kada je podraživanje bilo zadano u fazi zadržavanja. Moguć je uzrok tomu da je sudionicima, nakon što je inicijalno, tj. „prvo” dosjećanje (odmah nakon prikaza znaka za dosjećanje) bilo ometeno

distraktorima, trebalo više vremena da ponovno dozovu sadržaj VRP-a pohranjen u drugim mozgovnim regijama. Na temelju tih rezultata možemo pretpostaviti da bi i u našem istraživanju interferirajući efekt mogao postojati na razini vremena reakcija.

Ipak, rezultate dobivene u situaciji prikaza distraktora u fazi dosjećanja treba uzeti s oprezom. Iako su sekvencije u našem zadatku bile odabirane nasumično, sudionici su tijekom sekvencije djelomično mogli predvidjeti o kojoj je sekvenciji riječ. Konkretno, u sekvencijama u kojima je distraktor prikazan u fazi dosjećanja sudionici su mogli naučiti da će se nakon određenoga trajanja sekvencije, ako već nije bio prikazan, distraktor pojaviti u fazi dosjećanja. Takva vrsta predvidljivosti distrakcije mogla bi dovesti do većega angažmana u zaštiti sadržaja VRP-a. Iako istraživanja nisu testirala tu specifičnu hipotezu, dostupni nalazi pokazuju da predvidljivost dolaska interferirajućih podražaja utječe na neuralni signal povezan sa sadržajima VRP-a (Hakim i sur., 2020) te povećava kategorijalne pristranosti (Bae i Luck, 2019), što potencijalno upućuje na promjenu strategije kodiranja. Iako je djelomičnu predvidljivost distraktora u situaciji kada su oni prikazivani u fazi dosjećanja gotovo nemoguće izbjeći, buduća istraživanja mogla bi se fokusirati i na kontrolu toga aspekta istraživanja.

Uloga snage distraktora tradicionalno je ispitivana u kontekstu svjesne i nesvjesne obrade informacija. Bona i suradnici (2013) od sudionika su tražili da zapamte podražaj, a potom su prikazivali distraktore čiju su vidljivost sudionici procjenjivali na kraju svake sekvencije. Donekle iznenađujuće, to je istraživanje pokazalo da kvaliteta uratka u zadatku više pada kada je procijenjena vidljivost distraktora niža. Važno je napomenuti da je takva definicija snage distraktora na temelju samoprocjene vidljivosti donekle problematična i podložna raznim pristranostima kod odlučivanja (Peters i sur., 2016). Naš pristup ne pretpostavlja postojanje praga svjesnosti podražaja (Macmillan i Creelman, 2005) te nismo očekivali poseban status slabih ili snažnih distraktora, već smo se usmjerili na to kako produžena prezentacija distraktora utječe na kvalitetu reprezentacija u VRP-u. Iako se naša definicija slabih i snažnih distraktora temeljila na prethodnim istraživanjima vremena kodiranja i snage reprezentacija u VRP-u (Bays i sur., 2011; Vogel i sur., 2006), buduća istraživanja mogla bi kalibrirati razliku između slabih i snažnih distraktora za svakoga sudionika posebno koristeći zaseban perceptivni zadatak.

U provedenome istraživanju nismo kontrolirali sličnost sadržaja pohranjenih u VRP-u i prikazanih distraktora. Prethodna istraživanja pokazalu su da neki specifični interferirajući efekti ovise upravo o sličnosti podražaja za pamćenje i distraktora. Naprimjer, *efekt privlačenja* odnosi se na dosjećanje sadržaja VRP-a koje je sustavno pomaknuto prema kvaliteti distraktora i karakterističan je kod prikaza distraktora koji su relativno različiti od sadržaja VRP-a. *Efekt odbijanja*, s druge strane, odnosi se na dosjećanje sadržaja VRP-a koje je sustavno manje slično distraktoru i karakteristično je za situacije u kojima su distraktori relativno slični sadržaju VRP-a (Golomb, 2015; Rademaker i sur., 2015; Tomić i sur., 2019). Huang i Sekuler (2010) predložili su

mehanizam sličan opisanomu *efektu privlačenja* prema kojemu se kvaliteta sadržaja u pamćenju i distraktora jednostavno uprosječaju, pri čemu taj mehanizam ne ovisi o apsolutnoj sličnosti distraktora i sadržaja VRP-a. Iako ti specifični efekti interferencije predstavljaju zanimljivo područje istraživanja, nije ih uvijek lako razlikovati od ovdje pronađenih pogrešaka intruzije. Konkretno, ne postoji jasna razlika između upravo opisanih pristranosti i pogrešaka intruzije jer su pogreške intruzije konzistentne s cijelom distribucijom pogrešaka oko vrijednosti prikazanoga distraktora (v. Sliku 2.).

Veći broj teorijskih okvira ponudio je specifične mehanizme kojima VRP atenuira utjecaj distraktora na pohranjeni sadržaj (Liesefeld i sur., 2020; Lorenc i sur., 2021). Primjerice, istraživanja su pokazala da prefrontalna područja imaju ključnu ulogu u inhibiranju senzornoga procesiranja ometajućih informacija (Chao i Knight, 1998) te da farmakološka inaktivacija tih dijelova mozga dovodi do snažnijih interferirajućih efekata (Suzuki i Gottlieb, 2013). Nadalje, istraživanja su detektirala bazalne ganglije kao područja mozga povezana s prefrontalnim korteksom, a zadužena za potpuno blokiranje i propuštanje ulaska distraktora u VRP (O'Reilly i Frank, 2006). Uloga bazalnih ganglija potvrđena je kako u farmakološkim istraživanjima (Fallon i sur., 2019), tako i kod populacija pacijenata koji pokazuju znakove disfunkcije bazalnih ganglija te oslabljenu mogućnost blokiranja distraktora (Ceaser i Barch, 2015). Iako je postojanje tih ili sličnih mehanizama neupitno – ponajprije jer bi se bez njih u našem VRP-u svake sekunde nekontrolirano pojavljivale nove informacije – rezultati našega istraživanja pokazuju da ti procesi nisu uvijek uspješni.

Zaključno, u provedenome smo istraživanju ispitali kako distraktori prikazani u različitim fazama zadatka VRP-a utječu na dosjećanje sadržaja pohranjenoga u VRP-u. Naši su rezultati pokazali da je VRP osjetljiv neposredno nakon nestanka podražaja za pamćenje, dok potpuna konsolidacija još nije postignuta, te relativno otporan u drugim fazama (zadržavanja i dosjećanja). Pritom snaga distraktora nije utjecala na snagu interferirajućega efekta. Testiranjem podataka modelom mješovitih distribucija detektirali smo da se porast pogreške uslijed prikaza distraktora gotovo u potpunosti može pripisati porastu pogrešaka zamjena i intruzije.

Literatura

- Bae, G.-Y. i Luck, S. J. (2019). What happens to an individual visual working memory representation when it is interrupted? *British Journal of Psychology*, *110*(2), 268–287. <https://doi.org/10.1111/bjop.12339>
- Bancroft, T. D., Jones, J. A., Ensor, T. M., Hockley, W. E. i Servos, P. (2016). Overwriting and intrusion in short-term memory. *Memory & Cognition*, *44*(3), 435–443. <https://doi.org/10.3758/s13421-015-0570-y>

- Bays, P. M. (2016). Evaluating and excluding swap errors in analogue tests of working memory. *Scientific Reports*, 6, 19203. <https://doi.org/10.1038/srep19203>
- 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), 7. <https://doi.org/10.1167/9.10.7>
- Bays, P. M., Gorgoraptis, N., Wee, N., Marshall, L. i Husain, M. (2011). Temporal dynamics of encoding, storage, and reallocation of visual working memory. *Journal of Vision*, 11(10), 6. <https://doi.org/10.1167/11.10.6>
- Beckers, G. i Hönberg, V. (1991). Impairment of visual perception and visual short term memory scanning by transcranial magnetic stimulation of occipital cortex. *Experimental Brain Research*, 87(2). <https://doi.org/10.1007/BF00231859>
- Bennett, P. J. i Cortese, F. (1996). Masking of spatial frequency in visual memory depends on distal, not retinal, frequency. *Vision Research*, 36(2), 233–238. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(95\)00085-E](https://doi.org/10.1016/0042-6989(95)00085-E)
- Bettencourt, K. C. i Xu, Y. (2016). Decoding the content of visual short-term memory under distraction in occipital and parietal areas. *Nature Neuroscience*, 19(1), 150–157. <https://doi.org/10.1038/nn.4174>
- Bona, S., Cattaneo, Z., Vecchi, T., Soto, D. i Silvanto, J. (2013). Metacognition of visual short-term memory: Dissociation between objective and subjective components of VSTM. *Frontiers in Psychology*, 4, 62. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00062>
- Breitmeyer, B. G. i Ogmen, H. (2006). *Visual Masking*. Oxford University Press.
- Ceaser, A. E. i Barch, D. M. (2015). Striatal activity is associated with deficits of cognitive control and aberrant salience for patients with schizophrenia. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9, 687. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00687>
- Chao, L. L. i Knight, R. T. (1998). Contribution of human prefrontal cortex to delay performance. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10(2), 167–177. <https://doi.org/10.1162/089892998562636>
- Christophel, T. B., Klink, P. C., Spitzer, B., Roelfsema, P. R. i Haynes, J.-D. (2017). The distributed nature of working memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 21(2), 111–124. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2016.12.007>
- De Beni, R., Palladino, P., Pazzaglia, F. i Cornoldi, C. (1998). Increases in intrusion errors and working memory deficit of poor comprehenders. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 51(2), 305–320. <https://doi.org/10.1080/713755761>
- Fallon, S. J., Kienast, A., Muhammed, K., Ang, Y.-S., Manohar, S. G. i Husain, M. (2019). Dopamine D2 receptor stimulation modulates the balance between ignoring and updating according to baseline working memory ability. *Journal of Psychopharmacology (Oxford, England)*, 33(10), 1254–1263. <https://doi.org/10.1177/0269881119872190>

- Fallon, S. J., Mattiesing, R. M., Dolfen, N., Manohar, S. i Husain, M. (2018). Ignoring versus updating in working memory reveal differential roles of attention and feature binding. *Cortex*, 107, 50–63. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2017.12.016>
- Faul, F., Erdfelder, E., Buchner, A. i Lang, A.-G. (2009). Statistical power analyses using G*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. *Behavior Research Methods*, 41(4), 1149–1160. <https://doi.org/10.3758/BRM.41.4.1149>
- Golomb, J. D. (2015). Divided spatial attention and feature-mixing errors. *Attention, Perception i Psychophysics*, 77(8), 2562–2569. <https://doi.org/10.3758/s13414-015-0951-0>
- Hakim, N., Feldmann-Wüstefeld, T., Awh, E. i Vogel, E. K. (2020). Perturbing neural representations of working memory with task-irrelevant interruption. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 32(3), 558–569. https://doi.org/10.1162/jocn_a_01481
- Harrison, S. A. i Tong, F. (2009). Decoding reveals the contents of visual working memory in early visual areas. *Nature*, 458(7238), 632–635. <https://doi.org/10.1038/nature07832>
- Huang, J. i Sekuler, R. (2010). Distortions in recall from visual memory: Two classes of attractors at work. *Journal of Vision*, 10(2), 1–27. <https://doi.org/10.1167/10.2.24>
- JASP Team. (2020). *JASP* (Version 0.14.1) [Computer software]. <https://jasp-stats.org/>
- Jha, A. P., Fabian, S. A. i Aguirre, G. K. (2004). The role of prefrontal cortex in resolving distractor interference. *Cognitive, Affective and Behavioral Neuroscience*, 4(4), 517–527. <https://doi.org/10.3758/CABN.4.4.517>
- Klauer, K. C. i Zhao, Z. (2004). Double dissociations in visual and spatial short-term memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133(3), 355–381. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.133.3.355>
- Kleiner, M., Brainard, D., Pelli, D., Ingling, A., Murray, R. i Broussard, C. (2007). What's new in psychtoolbox-3. *Perception*, 36(14), 1–16.
- Liesefeld, H. R., Liesefeld, A. M., Sauseng, P., Jacob, S. N. i Müller, H. J. (2020). How visual working memory handles distraction: Cognitive mechanisms and electrophysiological correlates. *Visual Cognition*, 28(5–8), 372–387. <https://doi.org/10.1080/13506285.2020.1773594>
- Lorenc, E. S., Mallett, R. i Lewis-Peacock, J. A. (2021). Distraction in visual working memory: Resistance is not futile. *Trends in Cognitive Sciences*, 25(3), 228–239. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2020.12.004>
- 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>
- Macmillan, N. A. i Creelman, C. D. (2005). *Detection theory: A user's guide* (2nd ed.). Mahwah, Lawrence Erlbaum Associates.
- Magnussen, S. i Greenlee, M. W. (1992). Retention and disruption of motion information in visual short-term memory. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, 18(1), 151–156. <https://doi.org/10.1037//0278-7393.18.1.151>

- Magnussen, S. i Greenlee, M. W. (1999). The psychophysics of perceptual memory. *Psychological Research*, 62(2–3), 81–92. <https://doi.org/10.1007/s004260050043>
- Magnussen, S., Greenlee, M. W., Asplund, R. i Dyrnes, S. (1991). Stimulus-specific mechanisms of visual short-term memory. *Vision Research*, 31(7–8), 1213–1219. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(91\)90046-8](https://doi.org/10.1016/0042-6989(91)90046-8)
- McKeefry, D., Burton, M. i Vakrou, C. (2007). Speed selectivity in visual short term memory for motion. *Vision Research*, 47(18), 2418–2425. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2007.05.011>
- McLachlan, G. J. i Peel, D. (2000). *Finite mixture models*. Wiley.
- McNab, F., Zeidman, P., Rutledge, R. B., Smittenaar, P., Brown, H. R., Adams, R. A. i Dolan, R. J. (2015). Age-related changes in working memory and the ability to ignore distraction. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(20), 6515–6518. <https://doi.org/10.1073/pnas.1504162112>
- Mendoza-Halliday, D., Torres, S. i Martinez-Trujillo, J. (2015). Working memory representations of visual motion along the primate dorsal visual pathway. U: P. Jolicoeur, C. Lefebvre i J. Martinez-Trujillo (Ur.), *Mechanisms of sensory working memory* (str. 159–169). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801371-7.00013-2>
- Myers, N. E., Stokes, M. G., Walther, L. i Nobre, A. C. (2014). Oscillatory brain state predicts variability in working memory. *Journal of Neuroscience*, 34(23), 7735–7743. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4741-13.2014>
- Nemes, V., Parry, N., Whitaker, D. i McKeefry, D. (2012). The retention and disruption of color information in human short-term visual memory. *Journal of Vision*, 12(1), 26–26. <https://doi.org/10.1167/12.1.26>
- Nemes, V., Whitaker, D., Heron, J. i McKeefry, D. (2011). Multiple spatial frequency channels in human visual perceptual memory. *Vision Research*, 51(23–24), 2331–2339. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2011.09.003>
- Nieuwenstein, M. i Wyble, B. (2014). Beyond a mask and against the bottleneck: Retroactive dual-task interference during working memory consolidation of a masked visual target. *Journal of Experimental Psychology: General*, 143(3), 1409–1427. <https://doi.org/10.1037/a0035257>
- Nilsson, T. H. i Nelson, T. M. (1981). Delayed monochromatic hue matches indicate characteristics of visual memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 7(1), 141–150. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.7.1.141>
- Oberauer, K. i Lin, H.-Y. (2017). An interference model of visual working memory. *Psychological Review*, 124(1), 21–59. <https://doi.org/10.1037/rev0000044>
- O'Reilly, R. C. i Frank, M. J. (2006). Making working memory work: A computational model of learning in the prefrontal cortex and basal ganglia. *Neural Computation*, 18(2), 283–328. <https://doi.org/10.1162/089976606775093909>

- Pasternak, T. i Zaksas, D. (2003). Stimulus specificity and temporal dynamics of working memory for visual motion. *Journal of Neurophysiology*, 90(4), 2757–2762. <https://doi.org/10.1152/jn.00422.2003>
- Peters, M. A. K., Ro, T. i Lau, H. (2016). Who's afraid of response bias? *Neuroscience of Consciousness*, 2016(1), niw001. <https://doi.org/10.1093/nc/niw001>
- Rademaker, R. L., Bloem, I. M., De Weerd, P. i Sack, A. T. (2015). The impact of interference on short-term memory for visual orientation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 41(6), 1650–1665. <https://doi.org/10.1037/xhp0000110>
- Rademaker, R. L., Chunharas, C. i Serences, J. T. (2019). Coexisting representations of sensory and mnemonic information in human visual cortex. *Nature Neuroscience*, 22(8), 1336–1344. <https://doi.org/10.1038/s41593-019-0428-x>
- Robert, C., Borella, E., Fagot, D., Lecerf, T. i de Ribaupierre, A. (2009). Working memory and inhibitory control across the life span: Intrusion errors in the Reading Span Test. *Memory & Cognition*, 37(3), 336–345. <https://doi.org/10.3758/MC.37.3.336>
- Robison, M. K., Miller, A. L. i Unsworth, N. (2018). Individual differences in working memory capacity and filtering. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. <https://doi.org/10.1037/xhp0000513>
- Sakai, K., Rowe, J. B. i Passingham, R. E. (2002). Active maintenance in prefrontal area 46 creates distractor-resistant memory. *Nature Neuroscience*, 5(5), 479–484. <https://doi.org/10.1038/nm846>
- Schneegans, S. i Bays, P. M. (2016). No fixed item limit in visuospatial working memory. *Cortex*, 83, 181–193. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2016.07.021>
- Schneegans, S. i Bays, P. M. (2017). Neural architecture for feature binding in visual working memory. *The Journal of Neuroscience*, 37(14), 3913–3925. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3493-16.2017>
- 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*, 202004306. <https://doi.org/10.1073/pnas.2004306117>
- Serences, J. T. (2016). Neural mechanisms of information storage in visual short-term memory. *Vision Research*, 128, 53–67. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2016.09.010>
- Silvanto, J. i Soto, D. (2012). Causal evidence for subliminal percept-to-memory interference in early visual cortex. *NeuroImage*, 59(1), 840–845. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.07.062>
- Sreenivasan, K. K., Curtis, C. E. i D'Esposito, M. (2014). Revisiting the role of persistent neural activity during working memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 18(2), 82–89. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2013.12.001>
- Sreenivasan, K. K. i Jha, A. P. (2007). Selective attention supports working memory maintenance by modulating perceptual processing of distractors. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(1), 32–41. <https://doi.org/10.1162/jocn.2007.19.1.32>

- Suzuki, M. i Gottlieb, J. (2013). Distinct neural mechanisms of distractor suppression in the frontal and parietal lobe. *Nature Neuroscience*, 16(1), 98–104. <https://doi.org/10.1038/nn.3282>
- Tomić, I. (2017). Vidno radno pamćenje. *Psihologijske teme*, 26(3), 601–625. <https://doi.org/10.31820/pt.26.3.6>
- Tomić, I., Pavlič, M., Vlašiček, D. i Ivanec, D. (2019). Efekt privlačenja u vidnom radnom pamćenju. *Psihologijske teme*, 28(2), 441–460. <https://doi.org/10.31820/pt.28.2.11>
- van den Berg, R., Awh, E. i Ma, W. J. (2014). Factorial comparison of working memory models. *Psychological Review*, 121(1), 124–149. <https://doi.org/10.1037/a0035234>
- van den Berg, R., Shin, H., Chou, W.-C., George, R. 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 Ede, F., Chekroud, S. R., Stokes, M. G. i Nobre, A. C. (2018). Decoding the influence of anticipatory states on visual perception in the presence of temporal distractors. *Nature Communications*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03960-z>
- van Lamsweerde, A. E. i Johnson, J. S. (2017). Assessing the effect of early visual cortex transcranial magnetic stimulation on working memory consolidation. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 29(7), 1226–1238. https://doi.org/10.1162/jocn_a_01113
- Vogel, E. K., Woodman, G. F. i Luck, S. J. (2006). The time course of consolidation in visual working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 32(6), 1436–1451. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.32.6.1436>
- Wang, B., Theeuwes, J. i Olivers, C. N. L. (2018). When shorter delays lead to worse memories: Task disruption makes visual working memory temporarily vulnerable to test interference. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 44(5), 722–733. <https://doi.org/10.1037/xlm0000468>
- Xu, Y. (2017). Reevaluating the sensory account of visual working memory storage. *Trends in Cognitive Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2017.06.013>
- Xu, Y. i Jeong, S. K. (2015). The contribution of human superior intraparietal sulcus to visual short-term memory and perception. U: P. Jolicoeur, C. Lefebvre i J. Martinez-Trujillo (Ur.), *Mechanisms of Sensory Working Memory* (str. 33–42). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801371-7.00004-1>
- Zhang, W. i Luck, S. J. (2008). Discrete fixed-resolution representations in visual working memory. *Nature*, 453(7192), 233–235. <https://doi.org/10.1038/nature06860>

Perceptual Distractors Impact Visual Working Memory Representations only in Early Stages of Processing

Abstract

One of the main tasks of visual working memory (VWM) is to protect stored contents from irrelevant visual stimuli in the environment, i.e., distracting information. Although a large number of studies demonstrates a detrimental effect of distractors on VWM content, it is less clear whether distractors affect VWM equally at different processing phases, e.g., during encoding, maintenance, and retrieval. In this study, observers ($N = 12$) memorized coloured stimuli in a VWM task, and were subsequently presented with perceptual distractors in different phases of stimuli processing. The results have shown that presenting distractors immediately after the disappearance of a memory array (i.e., during the encoding), but not during the maintenance or retrieval phase, increases recall error. Critically, this did not depend on distractors' strength manipulated as their presentation time. To further investigate the type of error that occurs following distractor presentation, we fit a probabilistic mixture model to the data. The results have shown that the observed increase in recall error can be predominantly attributed to the increase in swap and intrusion errors, while guesses and the precision of correct recalls were not affected by distractor presentation. Our results demonstrate that VWM can successfully protect its content from distractors, however, with occasional failures resulting in clear error patterns. Finally, these results provide evidence for a distributed storage of VWM, in contrast to the sensory recruitment hypothesis.

Keywords: visual working memory, distractors, intrusion errors, mixture model

Primljeno: 23. 3. 2022.