

¹Ella Senjanin

²Valentina Martan

²Maja Kelić

¹Klinički bolnički centar Rijeka, Klinika
za neurologiju

²Fakultet za logopediju, Sveučilište u
Rijeci

E-mail: ellassenjanin9@gmail.com

**Funkcionalne razlike u moždanoj
aktivaciji kod djece s diskalkulijom
tijekom različitih matematičkih zadataka
i različitih matematičkih operacija –
sustavni pregled istraživanja**

**Functional differences in brain activation
in children with dyscalculia during
different mathematical tasks and
operations – a systematic review**

Pregledni rad

UDK: 51-056.36-053.2:612.82

<https://doi.org/10.31299/log.15.2.4>

SAŽETAK

Diskalkulija je cjeloživotni poremećaj u matematičkim sposobnostima i vještinama koji može značajno utjecati na akademski uspjeh i svakodnevni život pojedinca. Karakterizira je obrazac teškoća u obradi numeričkih informacija, učenju aritmetičkih činjenica, točnom ili fluentnom računanju i točnom matematičkom zaključivanju. Cilj je ovoga rada, na osnovi pregleda istraživanja, prikazati funkcionalne razlike u moždanoj aktivaciji između djece s diskalkulijom i djece urednog razvoja tijekom različitih matematičkih zadataka, odnosno različitih matematičkih operacija. Proveden je sustavni pregled literature u bazama PubMed, Scopus i Google Scholar s ključnim riječima *developmental dyscalculia*, *dyscalculia*, *brain activation*, *connectivity*, *brain imaging*, *neuroimaging*, *behavioral measures*, *arithmetic*, *children*. Primijenjeni su PRISMA kriteriji za izvještavanje o sustavnim pregledima i metaanalizama. Istraživanja pokazuju da djeca s diskalkulijom pokazuju atipičnu moždanu aktivaciju tijekom izvođenja aritmetičkih zadataka, u kontekstu smanjene ili povećane aktivacije u frontalnim, parijetalnim i okcipitotemporalnim područjima. Istaknute su razlike u aktivaciji fronto-parijetalnih regija i intraparijetalnog sulkusa, ključnog područja široko rasprostranjene mreže. Terapije temeljene na digitalnom treningu mentalnog brojevnog pravca, aritmetički trening i programi podučavanja matematike, pokazali su se učinkovitima u facilitaciji funkcionalnih promjena unutar fronto-parijetalnih moždanih mreža. Zaključno, razumijevanje neurobioloških osnova diskalkulije ključno je za pravodobnu terapiju, te za razvoj učinkovitih dijagnostičkih i terapijskih alata. Potrebna su dodatna longitudinalna istraživanja o uzročno-posljedičnim mehanizmima i dugoročnim terapijskim učincima.

Ključne riječi: diskalkulija, moždana aktivacija, matematički zadatci, slikovne pretrage mozga

ABSTRACT

Dyscalculia is a lifelong disorder of mathematical abilities and skills that can significantly affect individual's academic achievement and daily life. It is characterised by persistent difficulties in processing numerical information, learning arithmetic facts, performing accurate or fluent calculations, and engaging in precise mathematical reasoning. The aim of this paper, based on the review of existing research, is to present functional differences in brain activation between children with dyscalculia and typically developing children during various mathematical tasks, that is, different mathematical operations. A systematic literature review was conducted in the PubMed, Scopus, and Google Scholar databases using the following keywords: *developmental dyscalculia*, *dyscalculia*, *brain activation*, *connectivity*, *brain imaging*, *neuroimaging*, *behavioural measures*, *arithmetic*, *children*. PRISMA criteria for reporting systematic reviews and meta-analyses were applied. Studies show that children with dyscalculia exhibit atypical brain activation during arithmetic tasks, manifested as reduced or increased activation in frontal, parietal, and occipitotemporal areas. Particular emphasis is placed on differences in activation of fronto-parietal regions and the intraparietal sulcus, a key area within a widely distributed network. Therapies involving digital training of the mental number line, arithmetic training, and mathematics teaching programmes have proven effective in facilitating functional changes within fronto-parietal brain networks. In conclusion, understanding the neurobiological foundations of dyscalculia is crucial for timely intervention and the development of effective diagnostic and therapeutic tools. Further longitudinal studies are needed to clarify causal mechanisms and the long-term effects of interventions.

Keywords: dyscalculia, brain activation, mathematical tasks, neuroimaging

UVOD

Diskalkulija je cjeloživotni poremećaj u matematičkim sposobnostima i vještinama koji može značajno utjecati na akademski uspjeh i svakodnevni život pojedinca (Hussain i Soares, 2022; Kaufmann i sur., 2020). Prema Dijagnostičkom i statističkom priručniku za duševne poremećaje (DMS-5), diskalkulija je alternativni izraz za označavanje obrasca teškoća u obradi numeričkih informacija, učenju aritmetičkih činjenica, točnom ili fluentnom računanju i točnom matematičkom zaključivanju (Američka psihijatrijska udruga, APA, 2014). Prema različitim autorima, prevalencija diskalkulije u populaciji školske djece je između 3 i 6 % (Devine i sur., 2012; Kaufmann i von Aster, 2012; Neumärker, 2000; Saga i sur., 2023; Zygouris i sur., 2017). Hrvatsko pilot-istraživanje, međutim, bilježi tek 0,44 % dijagnosticiranih slučajeva diskalkulije, dok je kod 3,48 % učenika u dobi od trećeg razreda nadalje prisutna sumnja na diskalkuliju, što ukazuje na postojanje značajnog broja djece kod kojih diskalkulija nije formalno dijagnosticirana unatoč kliničkim pokazateljima (Filipović Perić i sur., 2023). Diskalkulija se često javlja zajedno s drugim razvojnim poremećajima, osobito disleksijom (Dirks i sur., 2008; Luoni i sur., 2023). Oba poremećaja dio su entiteta specifičnog poremećaja učenja (APA, 2014), a otprilike polovina djece s diskalkulijom istodobno pokazuje i teškoće u čitanju (Lewis i sur., 1994; Luoni i sur., 2023). Etiologija diskalkulije nije u potpunosti razjašnjena, dijelom zbog nedostatka opsežnih istraživanja i neujednačenih definicija, što otežava razumijevanje njezinih uzroka, kao i razvoj učinkovitih dijagnostičkih i terapijskih pristupa (Mahmud i sur., 2020). Ispitivanje neurobiološke osnove diskalkulije pruža uvid u moždane mehanizme povezane s razvojem matematičkih sposobnosti i vještina, te predstavlja jedan od ključnih pristupa u njezinu istraživanju. To omogućuju slikovne pretrage mozga (engl.

neuroimaging), koje pokazuju da matematičke operacije ovise o specifičnim neuralnim mrežama koje se kod djece s diskalkulijom aktiviraju na drugačiji način nego kod djece urednog razvoja.

Moždana lokalizacija numeričkih sposobnosti

Numeričke sposobnosti odnose se na konceptualno znanje i reprezentacije o strukturi i značenju brojeva (Vogel i De Smedt, 2021). Razvoj numeričkih sposobnosti podupiru dobro razvijene nesimboličke i simboličke brojevne predodžbe. Nesimboličke brojevne predodžbe odnose se na sposobnost procjene i razlikovanja numeričkih veličina (npr. nizova točkica ili nizova zvukova), bez oslanjanja na simbole. Na osnovi toga, razvijaju se simboličke brojevne predodžbe, uključujući brojeve i brojevne riječi, koje se koriste za označavanje količine, redosljeda ili prepoznavanje objekata za mjerenje različitih svojstava, poput volumena, duljine, temperature i vremena, a ove predodžbe temelje se na naučenim asocijacijama između simbola i količina, omogućujući precizno brojenje, izvođenje aritmetičkih operacija i napredno matematičko razmišljanje (Nieder, 2025).

Za razvoj numeričkih brojevnih predodžbi odgovorna su tri sustava: sustav približnog određivanja količine i broja (engl. *approximate number system*, ANS), sustav za praćenje objekata (engl. *object-tracking system*, OTS) i subitizacija (engl. *subitising*) (Nieder, 2025; Piazza, 2010; Živković, 2025). ANS je nesimbolički sustav za obradu količina (Chinn, 2014; O'Shaughnessy i sur., 2022), koji predstavlja sposobnost brzog razumijevanja, procjene i baratanja nesimboličkim brojevnim predodžbama (Chinn, 2014). Studije upućuju na ranu funkcionalnu specijalizaciju parijetalnog korteksa zaduženog za predstavljanje količina (Nieder, 2025; Vogel i De Smedt, 2021). S druge strane, OTS omogućuje zadržavanje malog broja objekata u radnom

pamćenju, prepoznavanje granica objekata i predviđanje njihovih pokreta, te se smatra općim sustavom vizualno-prostornih sposobnosti (Hyde, 2011). Funkcioniranje ovog sustava oslanja se na aktivaciju različitih moždanih regija: aktivacija okcipitalnog korteksa povezana je s prepoznavanjem objekata, parijetalnog korteksa s procesima numeričkog nabiranja, dok se aktivacija temporoparijetalnog spoja dovodi u vezu s anteriornom mrežom pažnje koja usmjerava fokus na istaknuta vizualna obilježja (Fias i sur, 2013; Quesque i Brass, 2019). Konačno, subitizacija se odnosi na trenutnu i automatsku sposobnost prepoznavanja malih količina bez potrebe za brojenjem (Jung i sur., 2013). Razlikujemo dvije vrste subitizacije: perceptivnu i konceptualnu. Perceptivna subitizacija je brzo prepoznavanje brojnosti malih skupova koji se sastoji od najviše pet elemenata, dok konceptualna subitizacija uključuje prepoznavanje malih podskupova unutar većeg skupa od šest ili više elemenata, te zbrajanje brojeva tih podskupova za određivanje ukupnog broja elemenata (Splinter i sur., 2024). Pri subitizaciji se aktiviraju specifične mreže u desnoj hemisferi, ponajprije unutar ekstrastrijatalnih vizualnih područja i intraparijetalnih regija koje omogućuju brzu i paralelnu obradu malih numeričkih količina (Bjorklund, 2016). Tijekom razvoja i sustavne poduke vizualni numerički simboli postupno se povezuju s mentalnim predodžbama količina u intraparijetalnom sulcusu (IPS). U skladu s tim, evidentirana je povećana aktivacija desnog i/ili lijevog okcipitotemporalnog korteksa na perceptivne karakteristike brojčanih simbola (Vogel i De Smedt, 2021). Različitim se vrstama zadataka procjenjuju/ispituju osnovne numeričke sposobnosti, a to su: numerički poredak (engl. *numeral ordering*), povezivanje skupina objekata s brojevnim oznakama (engl. *object-group matching*), procjena položaja brojeva na brojevnom pravcu (engl. *number-line estimation*),

prebrojavanje (engl. *counting*), procjena broja točkica (engl. *dot-estimation*), usporedba simboličkih brojeva (engl. *number comparison*), usporedba nizova točkica (engl. *dot-comparison*) i vizualno-auditivno usklađivanje izgovorene brojevne riječi i prikazanog arapskog broja (npr. na ekranu) (engl. *visual-audio matching*) (Lyons i sur., 2014). Međutim, nije u potpunosti razjašnjeno koja se moždana područja aktiviraju kod različitih numeričkih zadataka. Mehanizmi koji podupiru razumijevanje numeričkog poretka upućuju na postupno povećanje aktivnosti u lijevom IPS-u tijekom razvoja, pri čemu se ta aktivacija dovodi u vezu i s desnim posteriornim medijalnim temporalnim girusom (MTG), te desnim inferiornim frontalnim girusom (IFG), regijama uključenima u radno pamćenje i praćenje pravila (Vogel i De Smedt, 2021). Tijekom zadataka brojenja manjih skupova kod djece je uočena povećana aktivacija u superiornom parijetalnom korteksu, medijalnom IFG-u, insuli i subkortikalnim regijama, a kod brojenja većih skupova u dorzolateralnom prefrontalnom korteksu lijeve hemisfere, IFG-u i IPS-u (Allievi i sur., 2013; Ansari i sur., 2005; Ansari i Dhital, 2006; Vogel i De Smedt, 2021). S druge strane, kod odraslih brojenje manjih skupova povezano je s aktivacijom u temporoparijetalnim područjima, dok brojenje većih skupova aktivira frontoparijetalne regije. Uz navedeno, primijećena je i aktivacija temporoparijetalnog spoja, što upućuje na to da sposobnost subitizacije podržava razvoj brojenja (Vogel i De Smedt, 2021).

Moždana lokalizacija aritmetičkih sposobnosti

Aritmetičke sposobnosti odnose se na sposobnost baratanja aritmetičkim operacijama zbrajanja, oduzimanja, množenja i dijeljenja, te razvoj i primjenu strategija provjere dobivenih rezultata (Vogel i De Smedt, 2021; Zhou i sur., 2022). Zadaci kojima provjeravamo aritmetičke sposobnosti uključuju baratanje

aritmetičkim operacijama zbrajanja, oduzimanja, množenja i dijeljenja (Lindskog i sur., 2013), te zadatke aritmetičke tečnosti i mentalnog računanja (Lynos i sur., 2014). Zadatak aritmetičke tečnosti uključuje brzo i točno rješavanje osnovnih aritmetičkih zadataka zbrajanja i oduzimanja do 20, množenja i dijeljenja unutar tablice množenja (Gliksman i sur., 2022), dok zadatak mentalne aritmetike obuhvaća izvođenje složenijih matematičkih izračuna u mislima, bez korištenja vanjskih pomagala, poput kalkulatora ili papira i olovke (Datolla i sur., 2023). Poznato je da složena aritmetika aktivira frontalne moždane strukture i motoričke sustave neovisno o specifičnom aritmetičkom procesu (Siemann i Petermann, 2018). Ključna regija ove mreže je IPS, u kojem je primijećena povećana aktivacija tijekom zadataka primjene naučenih procedura, kao što su korištenje prstiju za zbrajanje ili raščlanjivanje matematičkih problema u više koraka (Zamarian i sur., 2009). S druge strane, dohvaćanje aritmetičkih činjenica iz dugoročnog pamćenja (npr. tijekom operacije množenja) povezano je s aktivnošću u inferiornom dijelu parijetalnog korteksa, uključujući angularni (AG) i supramarginalni girus (SMG) (Ischebeck i sur., 2009; Sokolowski i sur., 2023; Vogel i De Smedt, 2021), te pomoćnih regija (kao što su prefrontalni korteks (PFC) i posteriorni superiorni parijetalni korteks) povezanih s radnim pamćenjem i raspodjelom pažnje (Vogel i De Smedt, 2021). Tijekom razvoja aritmetičkih strategija aktivnost mozga prolazi kroz razvojne promjene koje prate postupnu organizaciju složenijih aritmetičkih sposobnosti (Butterworth i sur., 2011). Dokazano je da se aktivacija u prefrontalnim područjima smanjuje, dok se u parijetalnom i okcipitotemporalnom korteksu povećava (Rivera i sur., 2005; Vogel i De Smedt, 2021). Kod djece se pri obradi brojčanih simbola u većoj mjeri aktivira PFC, dok odrasli više koriste posteriorne moždane regije, posebno IPS (Nieder, 2025). Slično tomu, istraživanje Qin i sur. (2014),

koje je pratilo razvojne promjene u mozgu kod djece u više vremenskih točaka, pokazalo je smanjenje aktivacije u PFC-u i povećanje u hipokampusu, s tim i povećano korištenje strategije dohvaćanja aritmetičkih činjenica i manje oslanjanje na strategiju brojenja. Navedene promjene omogućuju prijelaz prema korištenju zrelijih strategija u rješavanju aritmetičkih zadataka, što mozgu omogućuje učinkovitiju i automatiziranu obradu brojeva (Cho i sur., 2011). Nadalje, istraživanja strukturalnih promjena u mozgu povezanih s razvojem aritmetičkih strategija utvrdila su povezanost naprednijih aritmetičkih vještina i veće prohodnosti putova bijele tvari (superiorni longitudinalni fascikulus i arkuatni fascikulus koji povezuju PFC i parijetalni korteks, te inferiorni longitudinalni fascikulus koji povezuje PFC i okcipitotemporalni korteks) (Vogel i De Smedt, 2021). Pronađena je i povezanost matematičkih postignuća i većeg volumena sive tvari u bilateralnom hipokampusu, desnom IFG-u, AG-u, PFC-u i okcipitotemporalnim područjima (Evans i sur., 2015; Lubin i sur., 2013; Wilkey i sur., 2018).

Istraživanja pokazuju da djeca s diskalkulijom čine izrazito heterogenu skupinu, te da tijekom rješavanja matematičkih zadataka primjenjuju različite strategije i pokazuju varijabilne obrasce uspješnosti (McCasey i sur., 2018; Peters i De Smedt, 2017; Rubinsten, 2015; Szűcs i Goswami, 2013). Nalazi o moždanoj aktivaciji također su nesustavni, dijelom zbog primjene različitih metoda slikovnih pretraga mozga, ali dijelom i zbog različitih vrsta matematičkih zadataka koji se u istraživanjima koriste (Tablante i sur., 2023; Vogel i De Smedt, 2021). S obzirom na metodološku raznolikost i neujednačene rezultate, postoji potreba za pregledom literature koji će sintetizirati spoznaje o funkcionalnim razlikama u moždanoj aktivaciji kod djece s diskalkulijom. Cilj je ovoga rada, na osnovi pregleda istraživanja, prikazati funkcionalne razlike u moždanoj

aktivaciji između djece s diskalkulijom i djece urednog razvoja tijekom rješavanja različitih matematičkih zadataka korištenih u istraživanjima, radi uvida u povezanost bihevioralne razine s neurokognitivnom razinom funkcioniranja ove skupine djece. Ovakav pregled literature pridonosi boljem razumijevanju simptoma diskalkulije koji se očituju kroz različite mjere i zadatke, često korištene i u logopedskim terapijama ovog poremećaja.

METODOLOGIJA

Metoda

Proces pretraživanja radova proveden je u skladu s Preporučenim smjernicama za izvještavanje o sustavnim pregledima i metaanalizama (engl. *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*, PRISMA). Tijek pretrage prikazan je PRISMA dijagramom (slika 1).

Kriteriji uključivanja/isključivanja članaka

Svi uključeni radovi ispunjavali su sljedeće kriterije:

studije istražuju neurobiološke aspekte diskalkulije,

studije primjenjuju pouzdane znanstveno utemeljene neurobiološke metode, ponajprije studije slikovnih pretraga mozga,

izvorni znanstveni članci koji uspoređuju moždanu aktivnost u mirovanju i tijekom izvođenja aritmetičkih zadataka kod djece s diskalkulijom i djece urednog razvoja,

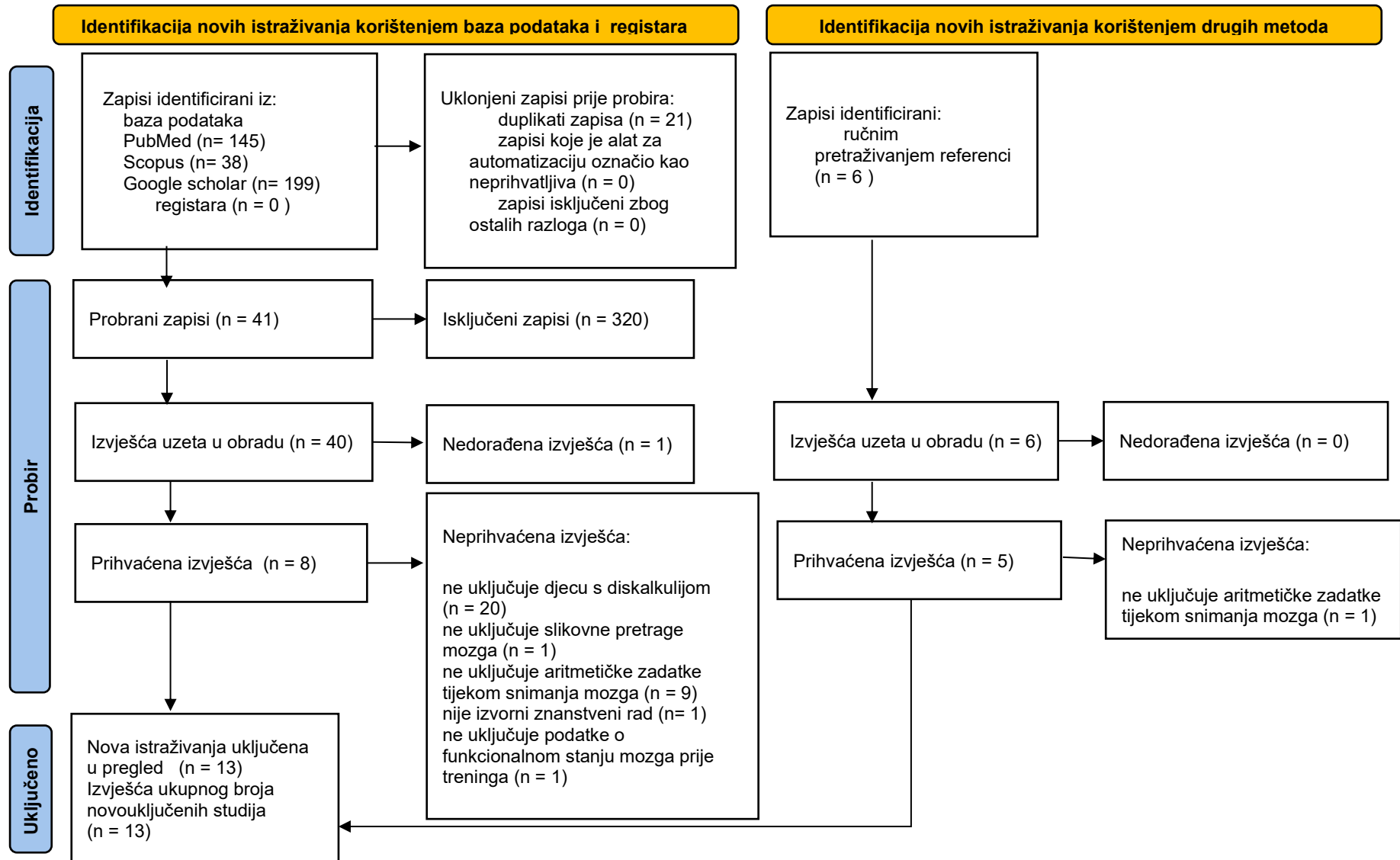
sudionici kronološke dobi <18 godina,

recenzirani članci na engleskom jeziku.

Postupak pretraživanja literature

Za potrebe ovog istraživanja provedena je sustavna pretraga znanstvene literature u bazama PubMed, Scopus i Google Scholar. Pretraga je ograničena na razdoblje od 2005. do 2025. godine. Pretraga je u početnoj fazi ograničena na radove objavljene u

posljednjih 10 godina kako bi se obuhvatila recentna istraživanja. Međutim, pokazalo se da značajan dio relevantnih istraživanja koja izravno pridonose razumijevanju istraživačkog cilja potječe iz ranijeg razdoblja, zbog čega je pretraga proširena. U pretrazi su korišteni sljedeći ključni pojmovi: *developmental dyscalculia, dyscalculia, brain activation, connectivity, brain imaging, neuroimaging, behavioral measures, arithmetic, children*. U bazi Google Scholar pretraga je oblikovana korištenjem Booleovih operatora prema sljedećoj strukturi: (developmental dyscalculia OR dyscalculia) AND (connectivity OR network) AND (brain activity OR brain activation) AND (neuroimaging OR brain imaging) AND (behavioral measures) AND (arithmetic OR multiplication problems OR numerical operations) AND (children). Pretraživanje u bazi Scopus prvotno je rezultiralo 91 člankom. Nakon ograničenja na znanstvene članke pretraga je rezultirala s 38 članaka. Pretraživanje u bazi Google Scholar rezultiralo je sa 199 recenziranih članaka, u bazi PubMed s njih 145. Sveukupan broj članaka iznosio je 382, dok je nakon uklanjanja duplikata, njih 21, preostao 361 članak. Nakon probira isključeno je 320 članaka. Svaki članak identificiran pretragom pregledan je prema naslovu i sažetku, a isključeni su oni radovi koji nisu zadovoljavali navedene kriterije uključivanja. Od 41 članka odabranog za čitanje cjelovitih tekstova, jedan je isključen zbog nedostupnosti punog teksta, a detaljna analiza provedena je na preostalih 40 radova. Ukupan broj studija uključenih u pregled prema pretrazi iznosio je osam. Ručnim pretraživanjem referenci identificirano je dodatnih šest članaka, od kojih jedan nije zadovoljio kriterije uključivanja. Ručno pretraživanje referenci uključivalo je pregled popisa literature u odabranim radovima kako bi se identificirali dodatni članci vezani uz istraživanu temu, a koji nisu bili obuhvaćeni inicijalnom pretragom baza podataka. Konačan broj uključenih studija bio je 13.



Slika 1. PRISMA dijagram toka uključivanja istraživanja

REZULTATI

Rezultati pregleda literature usmjerene na funkcionalne razlike u mozgu kod djece s diskalkulijom pokazuju dosljednu prisutnost publikacija kroz sve godine obuhvaćene promatranim razdobljem (v. tablicu 1. u Dodatku). Sva uključena istraživanja obuhvatila su uzorke djece s diskalkulijom i djece urednog razvoja ($n = 13$). Prosječan broj sudionika u analiziranim istraživanjima iznosio je približno 45, a veličina uzorka (N) razlikovala se među studijama. Najmanji broj sudionika ($N=32$) uključen je u istraživanju Mateu-Estivill i sur. (2024), dok je najveći uzorak obuhvatio 68 sudionika u studiji Kwok i sur. (2023). Najmanji uzorak djece s diskalkulijom ($N_{\text{Disk.}}=9$) obuhvaćen je istraživanjem Wang i Jamaludin (2025), dok je najveći ($N_{\text{Disk.}}=30$) zabilježen u studiji Kwok i sur. (2023). U dijelu istraživanja ($n=5$) skupine su bile uravnotežene prema broju djece s diskalkulijom i djece urednog razvoja (Disk:UR) - 17:17, 20:20, 24:24, 16:16, 19:19 (Ashkenazi i sur., 2012; Berteletti i sur., 2014; Davis i sur., 2009; Dinkel i sur., 2013; Jolles i sur., 2016). Preostala istraživanja ($n=8$) sadržavala su skupine s neujednačenim brojem djece s diskalkulijom i djece urednog razvoja (Disk:UR) - 24:21, 18:20, 30:38, 19:23, 11:23, 16:20, 14:25, 9:45 (Chen i sur., 2021; Kucian i sur., 2006; Kwok i sur., 2023; Mateu-Estivill i sur., 2024; Peters i sur., 2018; Rosenberg-Lee i sur., 2015; Simos i sur., 2009; Wang i Jamaludin, 2025). Peters i sur. (2018) u svoj su uzorak uključili četiri skupine djece: djecu urednog razvoja, djecu s diskalkulijom, djecu s disleksijom i djecu sa supojavnošću disleksije i diskalkulije. Slično tomu, Simos i sur. (2008) uključili su tri skupine djece: djecu urednog razvoja, djecu s diskalkulijom i djecu sa supojavnošću disleksije i diskalkulije. Ukupan broj djece s disleksijom bio je 19 (Peters i sur., 2018), dok se broj djece sa supojavnošću disleksije

i diskalkulije kretao od 9 do 16 (Peters i sur., 2018; Simos i sur., 2008).

Kronološka dob sudionika varirala je od 7 do 15 godina. Najnižu kronološku dob od 7 godina obuhvatilo je istraživanje Wang i Jamaludin (2025), a najvišu istraživanje Simos i sur. (2008) od 15 godina. Većina istraživanja ($n=5$) obuhvatila je djecu užeg dobnog raspona 7-9 (Ashkenazi i sur., 2012; Chen i sur., 2021; Dinkel i sur., 2013; Jolles i sur., 2016) i 8-10 godina (Kwok i sur., 2023), dok je manji broj njih ($n=4$) uključivao šire dobne raspone: 8-13, 9-12, 8-11 i 8-15 godina (Berteletti i sur., 2014; Kucian i sur., 2006; Rosenberg-Lee i sur., 2015; Simos i sur., 2008). Preostala istraživanja ($n=2$) uključila su sudionike iste ili slične kronološke dobi (Mateu-Estivill i sur., 2024; Wang i Jamaludin, 2025). Uočava se kako su sudionici mlađe osnovnoškolske dobi najzastupljeniji.

U većini uključenih studija ($n=11$) korištena metoda je fMRI, dok su preostale ($n=2$) primijenile MEG, odnosno fNIRS. Analizirane studije koristile su uz stanje mirovanja i približnog mirovanja i različite matematičke zadatke kako bi se identificirala funkcionalna obilježja moždane aktivacije u više kortikalnih regija: simbolički zadatci približnog i točnog izračuna, odnosno zadatci zbrajanja, oduzimanja i množenja, te nesimbolički zadatci zbrajanja i oduzimanja. Korištenjem matematičkih zadataka kao bihevioralnih mjera analizirana je moždana aktivacija, što je omogućilo razmatranje sličnosti i razlika u angažmanu, te stupnju aktivacije moždanih regija kod djece s diskalkulijom u usporedbi s djecom urednog razvoja. Veći broj studija ($n=10$) koristio je aritmetičke zadatke, dok su preostale ($n=3$) ispitivale moždanu aktivaciju u stanju mirovanja.

Mirovanje i približno mirovanje

Jolles i sur. (2016) i Mateu-Estivill i sur. (2024) istraživali su funkcionalnu povezanost moždanih područja u stanju mirovanja, dok su Wang i Jamaludin (2025) upotrijebili stanje koje oponaša uvjete mirovanja, tzv. približno mirovanje. Jolles i sur. (2016) izvještavaju o prisutnosti hiperpovezanosti IPS-a s bilateralnom fronto-parijetalnom mrežom u stanju mirovanja kod djece s diskalkulijom, dok Mateu-Estivill i sur. (2024) bilježe nekonzistentne nalaze o istodobnim obrascima povećane i smanjene funkcionalne povezanosti unutar fronto-parijetalnih regija, što pokazuje složenost i heterogenost moždane organizacije u ovoj populaciji. Wang i Jamaludin (2025) koristili su eksperimentalno stanje koje oponaša uvjete mirovanja, ali je prilagođeno djeci korištenjem nestrukturirane igre. Upotrebom fNIRS-a, koji u odnosu na fMRI, ne zahtijeva stanje potpunog mirovanja, te je pogodan za rad s malom djecom, utvrđena je smanjena nodalna učinkovitost u više moždanih područja kod djece s diskalkulijom - lijevi frontalni girus, desni medijalni frontalni girus (MFG) i okcipitalni girus.

Zadatci zbrajanja

- *Nesimbolički zadatci*

Jedna studija (n=1) upotrijebila je zadatak zbrajanja točkastih nizova (Wang i Jamaludin, 2025). Broj prikazanih točkica kretao se između 1 i 5, što odgovara rasponu unutar kojeg se aktivira sustav subitizacije. Postoji mogućnost da su sudionici rješavali zadatak angažirajući procese perceptivne subitizacije jer su te količine dostatno male i mogu se prepoznati bez serijskog prebrojavanja. Sudionici su morali zbrojiti dva skupa točkica, a za svaki zadatak su im bile ponuđene dvije moguće vrijednosti rezultata u rasponu od 3 do 9 (npr. odgovara

li zbroj točkica 2 i 3 vrijednosti 5 ili 4). S obzirom na ovako formiran tip rješavanja zadatka, zadatak je uključivao i elemente konceptualne subitizacije jer je sama odluka zahtijevala integraciju numeričkog odnosa između elemenata skupova. Ovaj zadatak nije izazvao razlike u aktivaciji među skupinama, ali je utvrđena povezanost nodalne učinkovitosti na spoju između lijevog IFG-a i MTG-a s točnošću i tečnošću kod djece urednog razvoja koja nije uočena kod djece s diskalkulijom (Wang i Jamaludin, 2025).

- *Simbolički zadatci*

Simbolički zadatci zbrajanja podrazumijevaju zadatke približnog i točnog izračuna. Zadatak približnog izračuna obično podrazumijeva zadatak u kojem sudionici procjenjuju približan rezultat zbroja dvaju brojeva i odabiru odgovor koji je najbliži stvarnom zbroju (npr. je li zbroj brojeva 8 i 3 bliži vrijednosti 10 ili 5), dok zadatak točnog izračuna najčešće od sudionika traži točan izračun i odabir točnog rezultata (npr. odgovara li zbroj 2 i 5 vrijednosti 9 ili 7). Navedeni primjeri ilustriraju, ali ne iscrpljuju načine na koje se ove vrste zadataka mogu ispitivati. Studije koje su primjenjivale zadatke približnog i točnog izračuna izvijestile su o različitim nalazima. Dvije su studije (n=2) koristile oba zadatka (Davis i sur., 2009; Kucian i sur., 2006), dok je jedna studija (n=1) koristila samo zadatak točnog izračuna (Dinkel i sur., 2013). Davis i sur. (2009) i Kucian i sur. (2006) koristili su zadatke izračuna jednoznamenkastih brojeva, dok su se Dinkel i sur. (2013) usmjerili na zadatke zbrajanja s malim brojevima, za čiji izračun nije bilo potrebe za prenošenjem preko desetice (brojevi su bili od 2 do 5, a rezultati od 5 do 9).

Veći je broj istraživanja (n=4) koristio jednostavne i složene zadatke zbrajanja s dva pribrojnika prikazana arapskim

brojevima (Ashkenazi i sur., 2012; Chen i sur., 2021; Kwok i sur., 2023; Rosenberg-Lee i sur., 2015). U manjem broju studija (n=2), upotrijebljeni su zadatci zbrajanja jednoznamenkastih brojeva, bez grupiranja zadataka u jednostavne i složene (Simos i sur., 2009; Wang i Jamaludin, 2025). Tako su kod Ashkenazi i sur. (2012) zadatci složenog zbrajanja uključivali dva pribrojnika, prvi pribrojnik se kretao od 2 do 9, a drugi od 2 do 5, dok je kod jednostavnih zadataka zbrajanja jedan pribrojnik uvijek iznosio 1. U studijama Chen i sur. (2021) i Rosenberg-Lee i sur. (2015), kod složenih zadataka zbrajanja prvi je pribrojnik bio od 2 do 9, a drugi od 2 do 5, dok je u zadacima jednostavnog zbrajanja jedan pribrojnik uvijek bio 1. Nadalje, zbroj u jednostavnim zadacima zbrajanja u studiji Kwok i sur. (2023) bio je manji ili jednak 10, a u zadacima složenog zbrajanja bio je veći od 10. Konačno, u jednostavnim zadacima zbrajanja u studiji Wang i Jamaludin (2025), sudionici su morali zbrojiti dva broja, pri čemu su pribrojnici bili od 1 do 5, a za svaki zadatak su im ponuđene dvije moguće vrijednosti rezultata od 3 do 9. Od prikazanih, jedan je odgovor bio točan, dok je drugi bio osmišljen kako bi pokazao učinak odstupanja za jednu ili dvije jedinice.

Tijekom zadatka približnog izračuna, Davis i sur. (2009) zabilježili su povećanu aktivaciju u bilateralnom IPS-u i IFG-u kod djece s diskalkulijom, a smanjenu aktivaciju kod djece urednog razvoja, dok su u istim regijama Kucian i sur. (2006) izvijestili o smanjenoj aktivaciji upravo kod djece s diskalkulijom. Zadatak točnog izračuna izazvao je slične obrasce aktivacije kod djece s diskalkulijom i djece urednog razvoja, a kao posljedica korištenja kompenzacijskih mehanizama kod djece s diskalkulijom uočena je dodatna povećana aktivacija u lijevom AG-u i desnom SMG-u (Dinkel i sur., 2013).

Zadatci zbrajanja izazvali su smanjenu moždanu aktivaciju u bilateralnom IPS-u i lijevom AG-u kod djece s diskalkulijom (Ashkenazi i sur., 2012; Chen i sur., 2021; Wang i Jamaludin, 2025), dok su u drugim studijama izazvali povećanu aktivaciju u višestrukim regijama mozga – desnom superiornom parijetalnom i bilateralnom anteriornom temporalnom korteksu (Rosenberg-Lee i sur., 2015; Simos i sur., 2009). Iako studijom Kwok i sur. (2023) nisu utvrđene razlike u aktivaciji, izvođenje zadatka izazvalo je povećanu moždanu aktivaciju u širokoj mreži fronto-parijetalnih područja mozga, što je jedan od ključnih razlikovnih obrazaca između djece s diskalkulijom i djece urednog razvoja (Dinkel i sur., 2013; Jolles i sur., 2016).

Zadatci oduzimanja

- *Nesimbolički zadatci*

Jedna je studija (n=1) koristila zadatke u kojima su se oduzimale količine prikazane nesimbolički, odnosno kao točkasti nizovi i brojevnice riječi (Peters i sur., 2018). Broj prikazanih točkica i brojevnih riječi bio je ispod 10, a sudionici su trebali donijeti odluku je li rezultat jednak referentnom broju na prikazu. Rezultati ukazuju na smanjenu aktivaciju u višestrukim regijama mozga kod djece s diskalkulijom, točnije u fronto-parijetalnim i okcipitalnim područjima.

- *Simbolički zadatci*

Pojedine studije (n=2), uz složene zadatke zbrajanja, koristile su i zadatke oduzimanja (Chen i sur., 2021; Rosenberg-Lee i sur., 2015), dok su se drugi (n=1) usmjerili samo na zadatke oduzimanja jednoznamenkastih brojeva (Peters i sur., 2018). U zadacima složenog oduzimanja umanjenik je bio između 3 i 14, a umanjitelj između 2 i 5, dok je u zadacima jednostavnog oduzimanja umanjitelj uvijek bio 1. Svi su zadatci oduzimanja oblikovani da budu inverzni

zadacima zbrajanja (npr. zadatak zbrajanja $3 + 4 = 7$, odgovarao je zadacima oduzimanja $7 - 4 = 3$ ili $7 - 3 = 4$), pri čemu su korišteni isti brojevi (Chen i sur., 2021; Rosenberg-Lee i sur., 2015). Zadatak oduzimanja u studiji Peters i sur. (2018) obuhvaćao je oduzimanje jednoga jednoznamenkastog broja od drugoga. Sudionici su trebali oduzimati brojeve manje od 10, te označiti je li rješenje jednako referentnoj vrijednosti ili nije. Ta referentna vrijednost mijenjala se ovisno o seriji zadataka i bila je ili 4 ili 5, a prezentirana je u fiksnom redosljedu. U pojedinim studijama, zadatak oduzimanja izazvao je smanjenu moždanu aktivaciju u fronto-temporalnim i okcipitotemporalnim regijama kod djece s diskalkulijom (Chen i sur., 2021; Peters i sur., 2018), dok Rosenberg-Lee i sur. (2015) upućuju na povećanu aktivaciju i hiperpovezanost u istim regijama kod ove skupine prilikom izvođenja opisanih zadataka.

Zadatci množenja

Samo je jedna studija (n=1) koristila jednostavne i složene zadatke množenja jednoznamenkastih arapskih brojeva (Berteletti i sur., 2014). U jednostavnim zadacima oba faktora bila su jednaka ili manja od 5 (npr. 2×4), a u složenim su zadacima bili veći od 5 (npr. 6×9). Rezultati pokazuju smanjenu aktivaciju u verbalnim i numeričkim regijama kod djece s diskalkulijom, a jedina značajnija aktivacija uočena je u IPS-u pri rješavanju jednostavnih zadataka množenja (Berteletti i sur., 2014).

Kontrola podražaja i redosljed prikaza zadataka

Većina analiziranih studija (n=11) nije uključivala zadatke u kojima su oba broja i broj točkica bili identični (Ashkenazi i sur., 2012; Berteletti i sur., 2014; Chen i sur., 2021; Kwok i sur., 2023; Rosenberg-Lee i sur., 2015; Wang i Jamaludin, 2025), dok se

u preostalima (n=4) ne navode informacije o tome jesu li takvi zadatci bili uključeni ili isključeni iz eksperimentalnog dizajna (Dinkel i sur., 2013; Jolles i sur., 2016; Kucian i sur., 2006; Peters i sur., 2018). Dvije studije ne pružaju detaljne informacije o korištenim zadacima (Dinkel i sur., 2013; Simos i sur., 2008). U većem broju studija (n=7), svi su zadatci prikazani nasumičnim slijedom (Chen i sur., 2021; Davis i sur., 2009; Jolles i sur., 2016; Kucian i sur., 2006; Kwok i sur., 2023; Rosenberg-Lee i sur., 2015; Wang i Jamaludin, 2025), dok nekoliko njih (n=4) ne navodi informacije o redosljedu prikaza zadataka (Ashkenazi i sur., 2012; Berteletti i sur., 2014; Dinkel i sur., 2013; Peters i sur., 2018).

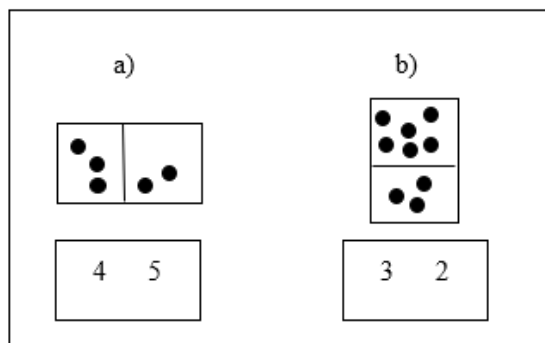
RASPRAVA

Cilj ovog preglednog rada bio je utvrditi funkcionalne razlike u moždanoj aktivaciji djece s diskalkulijom u usporedbi s urednom populacijom tijekom rješavanja različitih matematičkih zadataka korištenih u istraživanjima. U analiziranim studijama primjenjivali su se simbolički zadatci zbrajanja, uključujući zadatke točnog i približnog izračuna, te simbolički zadatci oduzimanja, kao i nesimbolički zadatci zbrajanja i oduzimanja količina prikazanih u obliku točkastih nizova i brojevnih riječi. Pregledom istraživanja utvrđeno je da djeca s diskalkulijom pokazuju atipičnu moždanu aktivaciju tijekom izvođenja simboličkih i nesimboličkih aritmetičkih zadataka, u kontekstu smanjene ili povećane aktivacije u frontalnim, parijetalnim i okcipitotemporalnim područjima.

Aritmetički zadatci u istraživanjima moždane aktivacije

Nesimbolički aritmetički zadatci, poput zbrajanja i oduzimanja točkastih nizova,

koriste se za proučavanje temeljnih numeričkih procesa (slika 2).

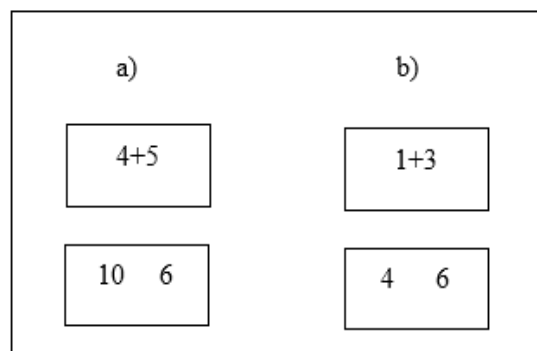


Slika 2. Primjer nesimboličkih zadataka; a) zbrajanje točkastih nizova, b) oduzimanje točkastih nizova

Unatoč malom broju studija koje su ispitivale razlike u moždanoj aktivaciji između djece urednog razvoja i djece s diskalkulijom tijekom nesimboličkih zadataka zbrajanja i oduzimanja točkastih nizova, rezultati jasno pokazuju razlike između ove dvije skupine djece. Naime, nalazi Wang i Jamaludin (2025) pokazuju nedostatnu nodalnu učinkovitost između lijevog IFG-a i MTG-a kod djece s diskalkulijom, a Peters i sur. (2018) na smanjenu moždanu aktivaciju u fronto-parijetalnim regijama. Uspješnost u nesimboličkim zadacima zbrajanja smatra se pokazateljem učinkovitosti perceptivnog i konceptualnog sustava subitizacije (Agrillo i sur., 2013). Dosadašnja bihevioralna istraživanja pritom dosljedno pokazuju da djeca s diskalkulijom u tim zadacima ostvaruju slabije rezultate u usporedbi s djecom urednog razvoja (Ashkenazi i sur., 2013; Cañizares i sur., 2012). Stoga dobiveni nalazi mogu upućivati na smanjenu aktivaciju navedenog sustava kod djece s diskalkulijom, te na razlike u funkcionalnoj organizaciji mreža koje podržavaju obradu malih numeričkih količina između djece urednog razvoja i djece s diskalkulijom. Osim toga, rješavanje nesimboličkih zadataka oduzimanja uključuje i aktivaciju ANS-a i procesa mentalnog računanja (Geary i sur.,

2014; Peters i sur., 2016). Naime, djeca prvo moraju procijeniti numeričku veličinu ponuđenih skupova, tj. koji je skup točaka veći, a koji manji. Zatim mentalno manipuliraju tim veličinama kako bi izvela operaciju oduzimanja između dvaju nesimbolički prikazanih skupova. U skladu s tim, smanjena aktivacija može ukazivati na otežanu koordinaciju između frontalnih i parijetalnih područja zaduženih za perceptivnu procjenu količine i izvršnih funkcija, poput radnog pamćenja i pažnje, kod djece s diskalkulijom (Venkatraman i sur., 2005).

Utvrđeno je kako je simbolički zadatak zbrajanja najčešće korišten zadatak među studijama (slika 3).



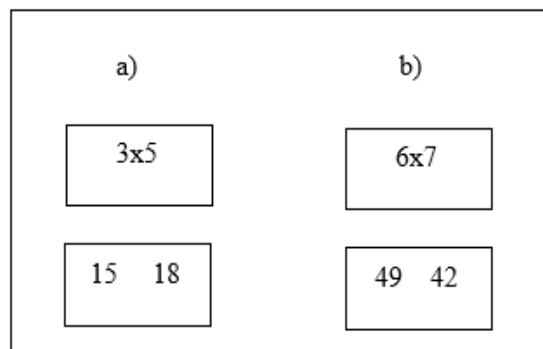
Slika 3. Primjer zadataka simboličkog zbrajanja; a) približan izračun, b) točan izračun

U istraživanjima su češće korišteni zadatci točnog izračuna, odnosno jednostavni i složeni zadaci zbrajanja i oduzimanja, dok su zadatci približnog izračuna prisutni u dvjema studijama (slika 3). Iako je riječ o različitim vrstama zadataka koje zahtijevaju angažman različitih kognitivnih mehanizama, dosadašnja istraživanja pokazuju neujednačene nalaze za obje vrste zadataka. Kod djece s diskalkulijom zabilježena je aktivacija bilateralnog IPS-a i frontalnih struktura tijekom izvođenja zadatka približnog izračuna, pri čemu su pronađeni obrasci i smanjene (npr. Kucian i

sur., 2006), ali i povećane (npr. Davis i sur., 2009) moždane aktivacije u tim regijama. Zadatci točnog izračuna izazvali su aktivaciju u široj moždanoj mreži. Nalazi potvrđuju neujednačene obrasce moždane aktivacije kod djece s diskalkulijom kod obje vrste zadataka točnog izračuna, pri čemu je pronađena smanjena aktivacija (npr. Ashkenazi i sur., 2012; Peters i sur., 2018) i povećana aktivacija (npr. Simos i sur., 2009, Dinkel i sur., 2013). Dodatno, zadatci oduzimanja izazvali su i hiperpovezanost između fronto-parijetalnih i okcipito-temporalnih regija kod djece s diskalkulijom (npr. Rosenberg-Lee i sur., 2015). Iako su pojedini autori primjenjivali zadatke zbrajanja koji su bili inverzni zadatcima oduzimanja, te uskladili numeričke vrijednosti u obje vrste zadataka (Chen i sur., 2021; Rosenberg-Lee i sur., 2015), takvi zadatci ne moraju nužno biti podjednako kognitivno zahtjevni. Naime, zbrajanje i oduzimanje, čak i kada uključuju iste numeričke količine, ne predstavljaju ekvivalentne mentalne operacije, te mogu aktivirati različite zahtjeve u obradi informacija (Ren i sur., 2025). Navedenu činjenicu potrebno je uzeti u obzir pri interpretaciji razlika u neuralnoj aktivaciji između skupina, osobito u istraživanjima u kojima se unutar iste studije primjenjuju i zadatci zbrajanja i zadatci oduzimanja. Konačno, s obzirom na to da se radi o računanju s jednoznamenkastim brojevima, povećana moždana aktivacija tijekom zadataka približnog izračuna, te zadataka zbrajanja i oduzimanja kod djece s diskalkulijom, u usporedbi s djecom urednog razvoja, može upućivati na to da takvi zadatci ne zahtijevaju visok kognitivni napor (Wei i Shiqiao, 2025), ali i na mogućnost da pojedina djeca s diskalkulijom pri njihovu rješavanju primjenjuju alternativne strategije. Suprotno tomu, u istraživanjima u kojima je utvrđena smanjena aktivacija tijekom rješavanja navedenih zadataka kod

djece s diskalkulijom, takvi se nalazi vjerojatno mogu tumačiti kao odraz teškoća u modulaciji neuralnih odgovora unutar pojedinih moždanih regija (Ashkenazi i sur., 2012).

Najmanji broj istraživanja koristio je zadatke množenja, uključujući jednostavne i složene zadatke (slika 4).



Slika 4. Primjer simboličkih zadataka množenja; a) jednostavan zadatak množenja, b) složeni zadatak množenja

Objе vrste zadataka množenja pokazale su smanjenu aktivaciju u verbalnim i numeričkim regijama kod djece s diskalkulijom, pri čemu je jedina izraženija aktivacija zabilježena u IPS-u tijekom rješavanja jednostavnih zadataka množenja (Berteletti i sur., 2014). Ovi zadatci zahtijevaju dohvaćanje automatiziranih aritmetičkih činjenica iz dugoročnog pamćenja, te su u urednoj populaciji povezani s povećanom aktivacijom navedenih regija (Prado i sur., 2014). Stoga, smanjena aktivacija kod djece s diskalkulijom može upućivati na slabiju automatizaciju numeričkih činjenica i otežano dohvaćanje odgovora, dok aktivacija IPS-a vjerojatno odražava oslanjanje na primarne numeričke procese procjene kao potencijalni kompenzacijski mehanizam (Andres i sur., 2011). No, činjenica da je pronađeno samo jedno istraživanje koje je koristilo zadatke množenja otežava generalizaciju ovih nalaza.

Grupiranjem zadataka, korištenih u analiziranim studijama, uočava se da funkcionalne razlike u moždanoj aktivnosti djece s diskalkulijom odstupaju od očekivanih obrazaca pronađenih kod djece urednog razvoja. Umjesto stabilne i specifične aktivacije pojedinih moždanih regija, nalazi pokazuju varijabilne i ponekad atipične obrasce aktivacije tijekom izvođenja zadataka. Teškoće kod djece s diskalkulijom nisu ograničene samo na jednu vrstu zadatka, već mogu zahvatiti širok spektar zadataka, dok sama aktivacija može ovisiti o operaciji, budući da svaka zahtijeva drukčije kognitivne procese. Budući da rezultati ne upućuju na izražene funkcionalne promjene u okcipitalnim regijama, teškoće djece s diskalkulijom ne proizlaze primarno iz problema u prepoznavanju arapskih znamenki, već se vjerojatnije javljaju pri izvođenju računskih operacija. Uočene razlike u obrascima moždane aktivacije kod djece s diskalkulijom mogu se interpretirati u kontekstu izrazite heterogenosti ovog poremećaja, s obzirom na to da se njegova manifestacija među pojedincima značajno razlikuje - i u pogledu kliničke slike samog poremećaja i u specifičnim kognitivno-neuralnim profilima.

Istraživanja koja su uključivala djecu sa supojavnošću disleksije i diskalkulije (Peters i sur., 2018; Simos i sur., 2008), odnosno djecu s disleksijom (Peters i sur., 2018), ispitivala su aktivnost mozga tijekom aritmetičkih zadataka zbrajanja i oduzimanja simboličkog i nesimboličkog formata i ukazala na značajne razlike u aktivaciji mozga između promatranih skupina: djeca urednog razvoja pokazala su veću aktivaciju u fronto-parijetalnim i okcipitalnim područjima lijeve hemisfere u usporedbi s ostale tri skupine, a obrasci moždane aktivacije točno su razlikovali djecu s poremećajima od djece urednog

razvoja (Peters i sur. 2018; Simos i sur., 2009). Na bihevioralnoj razini, ove neuralne razlike kod djece s disleksijom reflektiraju se u teškoćama poput slabijeg dohvaćanja aritmetičkih činjenica (Koerte i sur., 2016), manje točnosti i sporosti u računanju (Boets i De Smedt, 2010). S obzirom na pronađene preklapajuće obrasce moždane aktivacije i teškoće u matematici koje djeca s disleksijom pokazuju, moguće je da disleksija i diskalkulija dijele zajedničku neurobiološku osnovu, a zabilježene funkcionalne razlike mogu se tumačiti kao manifestacija zajedničkih razvojnih odstupanja koja se očituju različitim simptomima, ali imaju isti temeljni uzrok, što dodatno objašnjava visoku stopu supojavnosti.

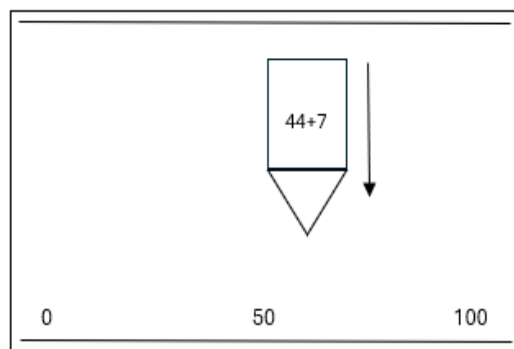
Uloga intervencija u promjeni moždane aktivnosti kod djece s diskalkulijom

U novije vrijeme razvijaju se različiti treninzi, terapijski pristupi i adaptivna softverska rješenja, često u obliku igara, koji su usmjereni na osnaživanje specifičnih kognitivnih sustava koji su temelj razvoja matematičkih sposobnosti. Pregledom literature uočava se da je nazivlje vezano uz poduku, trening i terapiju često korišteno nesustavno. Dok se poduka i trening mogu odnositi i na programe namijenjene široj populaciji djece, pojmovi terapija i intervencija trebali bi se primarno odnositi na programe namijenjene djeci s poremećajima i rizičnim skupinama. Iako autori istraživanja koja se bave učinkom različitih programa na razvoj matematičkih sposobnosti ove pojmove koriste nesustavno, nekoliko se istraživanja bavilo upravo skupinom djece s diskalkulijom, te istraživanja pokazuju da pojedini treninzi i terapijski programi mogu imati pozitivne učinke na bihevioralnoj i neuralnoj razini kod ove skupine djece (npr. Iuculano i sur., 2015; Soltanlou i sur., 2022).

Iuculano i sur. (2015) opisuju program u trajanju od osam tjedana, koji se sastoji od kombinacije konceptualnog podučavanja i ciljanih vježbi brzog dohvaćanja aritmetičkih činjenica, pri čemu se potiče razumijevanje brojeva i odnosa među računskim operacijama. Program je namijenjen djeci s diskalkulijom kronološke dobi 7-9 godina. Neki od primjera korištenih matematičkih igara su: „Matematički bingo“, „Matematički rat“ i „Potraga za blagom“. U igri „Matematički bingo“ dijete treba izračunati zbroj zadanih brojeva i provjeriti je li odgovor na njegovoj „bingo kartici“. U igri „Matematički rat“ dijete se natječe s učiteljem kako bi dobilo najveći zbroj iz svojih špilova karata, dok igra „Potraga za blagom“ podrazumijeva da dijete izračuna odgovor zadanog zadatka te zapiše i jednadžbu i njezino točno rješenje na kamenje „karte s blagom“, pri čemu postupno, korak po korak, napreduje prema cilju, tj. do škrinje s blagom. Rezultati su pokazali da opisani program dovodi do značajnog poboljšanja točnosti u rješavanju aritmetičkih zadataka. Također, prije primjene programa kod djece s diskalkulijom uočena je prekomjerna moždana aktivacija u prefrontalnim, parijetalnim i ventralnim okcipitotemporalnim regijama. Sudjelovanje djece u programu rezultiralo je normalizacijom moždane aktivnosti u opisanim regijama, tj. razine aktivacije bile su u skladu s onima zabilježenim kod djece urednog razvoja (Iuculano i sur., 2015).

Soltanlou i sur. (2022) prikazuju primjer aritmetičkog treninga u trajanju od dva tjedna namijenjenog djeci s diskalkulijom kronološke dobi 10-15 godina, koji se provodi kod kuće putem internetske stranice i uključuje višestruko ponavljanje zadataka jednostavnog i složenog množenja, pri čemu je potrebno zadatke riješiti što brže i što preciznije. Zadatci su se prikazivali

nasumičnim slijedom, a djeca su imala mogućnost odabira između više ponuđenih rješenja. Djeca su dobivala povratnu informaciju o točnosti svojih odgovora, a zadatke su rješavala sve dok nisu odabrala točno rješenje. Rezultati su pokazali kako je trening doveo do smanjenja broja pogrešaka u rješavanju uvježbanih jednostavnih zadataka množenja, te do povećane aktivacije temporo-parijetalnih regija koja je prije treninga bila smanjena kod djece s diskalkulijom. Autori su zaključili kako je povećanje moždane aktivacije u ovim regijama odraz većeg korištenja strategija pronalaženja činjenica i automatiziranih postupaka (Soltanlou i sur., 2022). Jedan od primjera adaptivnih softverskih rješenja u obliku igara je trening mentalnog brojevnog pravca (Kucian i sur. 2011; Michels i sur., 2018). Terapija se provodi pomoću računalnog programa *Rescue Calcularis* (slika 5), u trajanju od pet tjedana, s ciljem poboljšanja reprezentacije brojeva i jačanja veze između brojeva i prostorne obrade u unutarnjem mentalnom brojevnom pravcu (Kucian i sur., 2011).



Slika 5. Prikaz treninga *Rescue Calcularis*

Brojevni pravac (0–100) prikazao se na dnu ekrana, dok se s vrha ekrana pojavljuje svemirski brod koji nosi arapsku znamenku, zadatak zbrajanja ili oduzimanja ili skup točaka. Zadatak je bio usmjeriti svemirski brod na točnu lokaciju na brojevnom pravcu koja odgovara brojčanoj vrijednosti svemirskog broda (Kucian i sur., 2011).

Rezultati su pokazali da navedeni trening dovodi do bolje preciznosti u procjeni smještanja brojeva na mentalnom brojevnom pravcu i mogućnost transfera na poboljšanje matematičkih sposobnosti, uključujući točnije rješavanje zadataka zbrajanja i oduzimanja, bolje razumijevanje redoslijeda brojeva, te preciznije povezivanje brojeva kao simbola i numeričkih veličina koje ti simboli označavaju.

Zadatci korišteni u pregledanim istraživanjima moždane aktivacije kod djece s diskalkulijom usporedivi su sa zadatcima unutar terapije *Rescue Calcularis*, aritmetičkih treninga i podučavanja matematike. Naime, pokazalo se kako u istraživanjima djeca s diskalkulijom najčešće rješavaju zadatke zbrajanja i oduzimanja arapskih brojeva ili skupova točkica, te množenja arapskih brojeva. Slično tome, terapija *Rescue Calcularis* koristi zadatke u kojima se arapski brojevi, jednostavni aritmetički zadatci ili skupovi točkica trebaju povezati s točnim mjestom na mentalnom brojevnom pravcu. Prema tome, istraživački zadatci usmjereni su na simboličku i nesimboličku numeričku obradu, dok terapijski zadatci istu vrstu informacija integriraju u kontekst mentalnog brojevnog pravca, čime dodatno angažiraju vizualno-prostornu komponentu, za koju se također pokazalo da može biti narušena kod djece s diskalkulijom (McCaskey i sur., 2017; Rykhlevskaia i sur., 2009; Szucs i sur., 2013). Osim toga, i aritmetički trening i program podučavanja matematike podrazumijevaju uvježbavanje aritmetičkih zadataka u kojima djeca s diskalkulijom pokazuju odstupanja - i na bihevioralnoj i na neuralnoj razini. Na taj način, funkcionalno se aktiviraju iste moždane regije čija je aktivacija u pregledanim istraživanjima često opisana kao atipična (npr. IPS, IFG, AG), čime se

potencijalno potiče funkcionalna reorganizacija moždanih mreža relevantnih za aritmetičku obradu. Podudarnost između zadataka korištenih u istraživanjima slikovnih pretraga mozga i onih u sklopu terapija omogućuje evaluaciju učinaka terapija ne samo na bihevioralnoj, već i na neuralnoj razini. Takva neurokognitivna utemeljenost opisanih programa potvrđuje važnost razvoja terapijskih programa koji se oslanjaju na empirijske dokaze, nudeći konkretan primjer prijenosa neuroznanstvenih spoznaja u logopedsku praksu.

Iako su dosadašnja istraživanja dala određene uvide, ostaje nerazriješeno pitanje predstavljaju li funkcionalne razlike u mozgu uzrok diskalkulije ili se razvijaju naknadno, kao rezultat opetovanih teškoća u matematici. Navedeno upućuje na potrebu za longitudinalnim istraživanjima, koja bi omogućila bolje razumijevanje uzročno-posljedičnih odnosa. Takve spoznaje imale bi značajne implikacije za utvrđivanje čimbenika rizika za pojavnost diskalkulije, jer bi pouzdani neurobiološki markeri mogli omogućiti predviđanje razvoja matematičkih teškoća i time otvoriti prostor pravodobnim, individualiziranim i ciljano usmjerenim terapijama.

U odnosu na slične sustavne preglede (npr. Fengjuan i Jamaludin, 2023; Ren i Libertus, 2023; Vogel i De Smedt, 2021), ovaj pregled donosi sustavnu sintezu dostupnih istraživanja s fokusom na moždanu aktivaciju tijekom rješavanja aritmetičkih zadataka kod djece s diskalkulijom. Naime, ovim pregledom pružen je detaljan opis aritmetičkih zadataka korištenih u istraživanjima. Kao i kod ostalih neurorazvojnih poremećaja, terapijski pristupi kod diskalkulije primarno djeluju na razini ponašanja, pri čemu se posredno nastoji utjecati na temeljne mehanizme koji stoje u podlozi poremećaja, uključujući i

neurokognitivnu organizaciju. Razumijevanje zadataka koji se koriste u neurokognitivnim istraživanjima, osobito u fMRI studijama, omogućuje bolje povezivanje bihevioralnih manifestacija s njihovim neuralnim korelatima. Proučavanje tih zadataka pruža vrijedan okvir za planiranje terapija koje uključuju aktivnosti za koje postoje empirijski dokazi da kod djece s diskalkulijom izazivaju ne samo bihevioralna, već i mjerljiva neurokognitivna odstupanja tijekom njihova rješavanja.

Ograničenja i preporuke za buduća istraživanja

Iako je u radu primijenjen sustavni pristup i temeljit pregled relevantne literature, utvrđeno je da se tek manji broj istraživanja bavio ispitivanjem funkcionalnih razlika u mozgu između djece s diskalkulijom i djece urednog razvoja, pri čemu je u većini identificiranih studija primijenjena samo jedna slikovna metoda ispitivanja mozga. Kombinacija različitih tehnika snimanja mogla bi pružiti sveobuhvatnije i temeljitije razumijevanje funkcije mozga kod djece s diskalkulijom. Osim toga, mnoge studije usmjerile su se na specifične, pojedinačne regije mozga. Veći broj istraživanja mreže funkcionalne povezanosti omogućio bi spoznaje o tome kako različite regije mozga međusobno komuniciraju i koordiniraju tijekom rješavanja različitih matematičkih zadataka. Konačno, broj sudionika unutar pojedinih skupina bio je malen i često neujednačen, što može ograničiti generalizaciju rezultata.

Jedno od ograničenja ovog pregleda je što pretragom literature nisu obuhvaćeni svi termini koji se ponekad koriste za opis matematičkih teškoća kod djece (npr. *math disorder*, *math disability*, *math learning*

disability). Pri odabiru ključnih pojmova naglasak je na definiciji razvojne diskalkulije prema DSM-5, jer se u literaturi širi termini često koriste nejasno: ponekad označavaju formalno dijagnosticiranu diskalkuliju, ponekad opće teškoće u matematici bez kliničke dijagnoze, što često utječe na izrazitu heterogenost uzorka (npr. uključena su i djeca s blagim kognitivnim teškoćama, genetskim sindromima i sl.).

Aritmetički zadaci u analiziranim studijama općenito su jasno i dosljedno opisani u pogledu ključnih parametara, uključujući vrstu operacije, format zadatka, opseg brojeva i osnovni način izvođenja (Ashkenazi i sur., 2012; Berteletti i sur., 2014; Chen i sur., 2021; Kwok i sur., 2023; Rosenberg-Lee i sur., 2015; Wang i Jamaludin, 2025). Međutim, u manjem broju studija koje uključuju nesimboličke zadatke nedostaju potpune informacije o kontroli varijabli poput veličine, gustoće i prostornog rasporeda točkica, što može utjecati na interpretaciju rezultata (Peters i sur., 2018; Wang i Jamaludin, 2025). Pri interpretaciji nalaza u ovom pregledu nije se posebno razdvajalo rješavanje zadataka prema malim i velikim količinama niti se razlikovala subitizacija od ANS-a, što predstavlja ograničenje u detaljnom tumačenju rezultata. Primjenom standardiziranih protokola u opisu i prezentaciji aritmetičkih zadataka unaprijedila bi se metodološka usklađenost, olakšala usporedivost i generalizacija nalaza. Konačno, veći broj studija koristi zadatke zbrajanja, dok su druge aritmetičke operacije znatno manje zastupljene. Buduća istraživanja trebala bi se sustavnije usmjeriti na operacije oduzimanja, množenja i dijeljenja, kako bi se pridonijelo potpunijem razumijevanju aritmetičke obrade kod djece s diskalkulijom.

Rezultati pregleda pokazuju da je potrebno provesti više longitudinalnih i komparativnih studija, kako bi se detaljnije razjasnile uzročno-posljedične veze između funkcionalnih osobitosti i poremećaja u matematici. Također bi bilo korisno istražiti obrasce moždane aktivacije kod različitih podtipova diskalkulije, kao i učinkovitost različitih terapijskih pristupa ovisno o neurobiološkom profilu pojedinaca.

ZAKLJUČAK

Diskalkulija je cjeloživotni poremećaj koji može utjecati na obrazovni uspjeh, a njezine posljedice protežu se i u odraslu dob. Pregledom dostupnih istraživanja identificirani su obrasci moždane aktivacije kod djece s diskalkulijom, koji se razlikuju od onih u djece urednog razvoja. Unatoč neujednačenim rezultatima, veći broj studija izvještava o smanjenoj moždanoj aktivaciji kod djece s diskalkulijom uz evidentirane promjene u IPS-u i fronto-parijetalnim regijama. Mnogi pristupi u terapiji diskalkulije utemeljeni su upravo na neurokognitivnim spoznajama, stoga poznavanje zadataka koji aktiviraju specifične moždane regije može biti značajno u kliničkom radu logopeda. Nadalje, poznavanje funkcionalnih razlika u mozgu djece s diskalkulijom pruža preciznije podatke o pozadini teškoća u matematici i osigurava bolje razumijevanje vidljivih teškoća. Ključno je razvijati ciljne učinkovite terapije koje bi omogućile dugotrajne promjene u moždanim mrežama odgovornima za matematičke sposobnosti, čime bi se osigurala bolja učinkovitost provedenih postupaka.

LITERATURA

- Agrillo, C., Piffer, L., & Adriano, A. (2013). Individual differences in non-symbolic numerical abilities predict mathematical achievements but contradict ATOM. *Behavioral and Brain Functions*, 9(1), 26. <https://doi.org/10.1186/1744-9081-9-26>
- Allievi, A. G., Melendez-Calderon, A., Arichi, T., Edwards, A. D., & Burdet, E. (2013). An fMRI compatible wrist robotic interface to study brain development in neonates. *Annals of biomedical engineering*, 41(6), 1181–1192. <https://doi.org/10.1007/s10439-013-0782-x>
- Andres, M., Pelgrims, B., Michaux, N., Olivier, E., & Pesenti, M. (2011). Role of distinct parietal areas in arithmetic: an fMRI-guided TMS study. *NeuroImage*, 54(4), 3048–3056. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.11.009>
- Ansari, D., & Dhital, B. (2006). Age-related changes in the activation of the intraparietal sulcus during nonsymbolic magnitude processing: an event-related functional magnetic resonance imaging study. *Journal of cognitive neuroscience*, 18(11), 1820–1828. <https://doi.org/10.1162/jocn.2006.18.11.1820>
- Ansari, D., Garcia, N., Lucas, E., Hamon, K., & Dhital, B. (2005). Neural correlates of symbolic number processing in children and adults. *Neuroreport*, 16(16), 1769–1773. <https://doi.org/10.1097/01.wnr.0000183905.23396.f1>
- *Ashkenazi, S., Rosenberg-Lee, M., Tenison, C., & Menon, V. (2012). Weak task-related modulation and stimulus representations during arithmetic problem solving in children with developmental dyscalculia. *Developmental cognitive neuroscience*, 2 Suppl 1(Suppl 1), S152–S166. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2011.09.006>

- Ashkenazi, S., Mark-Zigdon, N., & Henik, A. (2013). Do subitizing deficits in developmental dyscalculia involve pattern recognition weakness?. *Developmental science*, 16(1), 35–46.
<https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2012.01190.x>
- Berteletti, I., Prado, J., & Booth, J. R. (2014). Children with mathematical learning disability fail in recruiting verbal and numerical brain regions when solving simple multiplication problems. *Cortex; a journal devoted to the study of the nervous system and behavior*, 57, 143–155.
<https://doi.org/10.1016/j.cortex.2014.04.01>
- Bjorklund Boistrup, L. (2016). The Role of Conceptual Subitizing in the Development of Foundational Number Sense. *Mathematics Education in the Early Years*.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-23935-4_21
- Boets, B., & De Smedt, B. (2010). Single-digit arithmetic in children with dyslexia. *Dyslexia (Chichester, England)*, 16(2), 183–191.
<https://doi.org/10.1002/dys.403>
- Castro Cañizares, D., Reigosa Crespo, V., & González Alemañ, E. (2012). Symbolic and non-symbolic number magnitude processing in children with developmental dyscalculia. *The Spanish journal of psychology*, 15(3), 952–966.
https://doi.org/10.5209/rev_sjop.2012.v15.n3.39387
- *Chen, L., Iuculano, T., Mistry, P., Nicholas, J., Zhang, Y., & Menon, V. (2021). Linear and nonlinear profiles of weak behavioral and neural differentiation between numerical operations in children with math learning difficulties. *Neuropsychologia*, 160, 107977.
<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2021.107977>
- Chinn, S. (Ed.). (2014). *The Routledge international handbook of dyscalculia and mathematical learning difficulties*. Routledge.
- Cho, S., Ryali, S., Geary, D. C., & Menon, V. (2011). How does a child solve 7 + 8? Decoding brain activity patterns associated with counting and retrieval strategies. *Developmental science*, 14(5), 989–1001.
<https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2011.01055.x>
- Dattola, S., Bonanno, L., Ielo, A., Quercia, A., Quartarone, A., & La Foresta, F. (2023). Brain Active Areas Associated with a Mental Arithmetic Task: An eLORETA Study. *Bioengineering*, 10(12), 1388.
<https://doi.org/10.3390/bioengineering10121388>
- Davis, N., Cannistraci, C. J., Rogers, B. P., Gatenby, J. C., Fuchs, L. S., Anderson, A. W., & Gore, J. C. (2009). Aberrant functional activation in school age children at-risk for mathematical disability: a functional imaging study of simple arithmetic skill. *Neuropsychologia*, 47(12), 2470–2479.
<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.04.024>
- Devine, A., Fawcett, K., Szűcs, D., & Dowker, A. (2012). Gender differences in mathematics anxiety and the relation to mathematics performance while controlling for test anxiety. *Behavioral and Brain Functions*, 8, 33. <http://dx.doi.org/10.1186/1744-9081-8-33>
- Dinkel, P. J., Willmes, K., Krinzinger, H., Konrad, K., & Koten, J. W., Jr (2013). Diagnosing developmental dyscalculia on the basis of reliable single case fMRI methods: promises and limitations. *PloS one*, 8(12), e83722.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0083722>
- Dirks, E., Spyer, G., van Lieshout, E. C., & de Sonneville, L. (2008). Prevalence of combined reading and arithmetic disabilities. *Journal of learning disabilities*, 41(5), 460–473.
<https://doi.org/10.1177/0022219408321128>

- Evans, T. M., Kochalka, J., Ngoon, T. J., Wu, S. S., Qin, S., Battista, C., & Menon, V. (2015). Brain Structural Integrity and Intrinsic Functional Connectivity Forecast 6 Year Longitudinal Growth in Children's Numerical Abilities. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, 35(33), 11743–11750.
<https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0216-15.2015>
- Fias, Wim & Menon, Vinod & Szűcs, Dénes. (2013). Multiple components of developmental dyscalculia. *Trends in Neuroscience and Education*. 2.
<https://doi.org/10.1016/j.tine.2013.06.006>
- Filipović Perić, I., Gelo, N., Punjek Vizek, A. i Mujagić, L. (2023). Učestalost postavljanja dijagnoze diskalkulije u logopedskom radu. *Logopedija*, 13 (2), 83-88.
<https://doi.org/10.31299/log.13.2.5>
- Geary, D. C., Berch, D. B., & Koepke, K. M. (Eds.). (2014). *Evolutionary origins and early development of number processing* (Vol. 1). Academic Press.
- Gliksman, Y., Berebbi, S., & Henik, A. (2022). Math Fluency during Primary School. *Brain sciences*, 12(3), 371.
<https://doi.org/10.3390/brainsci12030371>
- Hussain, K., & Soares, N. (2022). Dyscalculia. *International Journal of Child Health & Human Development*, 15(3).
<https://doi.org/10.35765/mjse.2024.1326/22>
- Hyde D. C. (2011). Two systems of non-symbolic numerical cognition. *Frontiers in human neuroscience*, 5, 150.
<https://doi.org/10.3389/fnhum.2011.00150>
- Ischebeck, A., Zamarian, L., Schocke, M., & Delazer, M. (2009). Flexible transfer of knowledge in mental arithmetic--an fMRI study. *NeuroImage*, 44(3), 1103–1112.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2008.10.025>
- Iuculano, T., Rosenberg-Lee, M., Richardson, J., Tenison, C., Fuchs, L., Supekar, K., & Menon, V. (2015). Cognitive tutoring induces widespread neuroplasticity and remediates brain function in children with mathematical learning disabilities. *Nat. Commun.* 6, 8453.
<http://dx.doi.org/10.1038/ncomms9453>
- *Jolles, D., Ashkenazi, S., Kochalka, J., Evans, T., Richardson, J., Rosenberg-Lee, M., Zhao, H., Supekar, K., Chen, T., & Menon, V. (2016). Parietal hyper-connectivity, aberrant brain organization, and circuit-based biomarkers in children with mathematical disabilities. *Developmental science*, 19(4), 613–631.
<https://doi.org/10.1111/desc.12399>
- Jukić, V., & Arbanas, G. (Ur.). (2014). *Dijagnostički i statistički priručnik za duševne poremećaje: DSM-5 (peto izdanje)*. Naklada Slap.
- Jung, M., Hartman, P., Smith, T., & Wallace, S. (2013). The Effectiveness of Teaching Number Relationships in Preschool. *International journal of instruction*. 6(1), 165–178.
- Kaufmann, L., von Aster, M., Göbel, S., Marksteiner, J., Klein, E. (2020). Developmental dyscalculia in adults. *Lernen und Lernstörungen*. 9. 1-12.
<https://doi.org/10.1024/2235-0977/a000294>
- Kaufmann, L., & von Aster, M. (2012). The diagnosis and management of dyscalculia. *Deutsches Arzteblatt international*, 109(45), 767–778.
<https://doi.org/10.3238/arztebl.2012.0767>
- Koerte, I. K., Willems, A., Muehlmann, M., Moll, K., Cornell, S., Pixner, S., Steffinger, D., Keeser, D., Heinen, F., Kubicki, M., Shenton, M. E., Ertl-Wagner, B., & Schulte-Körne, G. (2016). Mathematical abilities in dyslexic children: a diffusion tensor imaging study. *Brain imaging and behavior*, 10(3), 781–791. <https://doi.org/10.1007/s11682-015-9436-y>

- Kucian, K., Grond, U., Rotzer, S., Henzi, B., Schönmann, C., Plangger, F., Gälli, M., Martin, E., & von Aster, M. (2011). Mental number line training in children with developmental dyscalculia. *NeuroImage*, 57(3), 782–795.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.01.070>
- Kucian, K., Loenneker, T., Dietrich, T., Dosch, M., Martin, E., & von Aster, M. (2006). Impaired neural networks for approximate calculation in dyscalculic children: a functional MRI study. *Behavioral and brain functions : BBF*, 2, 31.
<https://doi.org/10.1186/1744-9081-2-31>
- *Kwok, F. Y., Wilkey, E. D., Peters, L., Khiu, E., Bull, R., Lee, K., & Ansari, D. (2023). Developmental dyscalculia is not associated with atypical brain activation: A univariate fMRI study of arithmetic, magnitude processing, and visuospatial working memory. *Human brain mapping*, 44(18), 6308–6325.
<https://doi.org/10.1002/hbm.26495>
- Lewis, C., Hitch, G. J., & Walker, P. (1994). The prevalence of specific arithmetic difficulties and specific reading difficulties in 9- to 10-year-old boys and girls. *Journal of child psychology and psychiatry, and allied disciplines*, 35(2), 283–292.
<https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1994.tb01162.x>
- Lindskog, M., Winman, A., Juslin, P., & Poom, L. (2013). Measuring acuity of the approximate number system reliably and validly: The evaluation of an adaptive test procedure. *Frontiers in Psychology*, 4, 510.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00510>
- Lubin, A., Rossi, S., Simon, G., Lanoë, C., Leroux, G., Poirel, N., Pineau, A., & Houdé, O. (2013). Numerical Transcoding Proficiency in 10-Year-Old Schoolchildren is Associated with Gray Matter Inter-Individual Differences: A Voxel-Based Morphometry Study. *Frontiers in psychology*, 4, 197.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00197>
- Luoni, C., Scorza, M., Stefanelli, S., Fagiolini, B., & Termine, C. (2023). A Neuropsychological Profile of Developmental Dyscalculia: The Role of Comorbidity. *Journal of learning disabilities*, 56(4), 310–323.
<https://doi.org/10.1177/00222194221102925>
- Lyons, I. M., Price, G. R., Vaessen, A., Blomert, L., & Ansari, D. (2014). Numerical predictors of arithmetic success in grades 1–6. *Developmental science*, 17(5), 714–726.
<https://doi.org/10.1111/desc.12152>
- Mahmud, M. S., Zainal, M. S., Rosli, R., & Maat, S. M. (2020). Dyscalculia: What we must know about students' learning disability in mathematics. *Universal Journal of Educational Research*, 8(12B), 8214–8222.
<https://doi.org/10.13189/ujer.2020.082625>
- Mateu-Estivill, R., Adan, A., Grau, S., Rifà-Ros, X., Caldú, X., Bargalló, N., & Serra-Grabulosa, J. M. (2024). Alterations in functional brain connectivity associated with developmental dyscalculia. *Journal of neuroimaging : official journal of the American Society of Neuroimaging*, 34(6), 694–703.
<https://doi.org/10.1111/jon.13236>
- McCaskey, U., von Aster, M., O'Gorman, R., & Kucian, K. (2017). Adolescents with Developmental Dyscalculia Do Not Have a Generalized Magnitude Deficit - Processing of Discrete and Continuous Magnitudes. *Frontiers in human neuroscience*, 11, 102.
<https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00102>
- Michels, L., O'Gorman, R., & Kucian, K. (2018). Functional hyperconnectivity vanishes in children with developmental dyscalculia after numerical intervention. *Developmental cognitive neuroscience*, 30, 291–303.
<https://doi.org/10.1016/j.dcn.2017.03.005>
- Neumärker, K. J. (2000). Mathematics and the brain: uncharted territory?. *European child & adolescent psychiatry*, 9, S2–S10.
<https://doi.org/10.1007/s007870070002>

- Nieder, A. (2025). The calculating brain. *Physiological Reviews*, 105(1), 267-314. <https://doi.org/10.1152/physrev.00014.2024>
- O'Shaughnessy, D. M., Gibson, E., & Piantadosi, S. T. (2022). The cultural origins of symbolic number. *Psychological Review*, 129(6), 1442–1456. <https://doi.org/10.1037/rev0000289>
- Peters, L., & De Smedt, B. (2018). Arithmetic in the developing brain: A review of brain imaging studies. *Developmental cognitive neuroscience*, 30, 265–279. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2017.05.002>
- *Peters, L., Bulthé, J., Daniels, N., Op de Beeck, H., & De Smedt, B. (2018). Dyscalculia and dyslexia: Different behavioral, yet similar brain activity profiles during arithmetic. *NeuroImage. Clinical*, 18, 663–674. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2018.03.003>
- Peters, L., Polspoel, B., Op de Beeck, H., & De Smedt, B. (2016). Brain activity during arithmetic in symbolic and non-symbolic formats in 9-12 year old children. *Neuropsychologia*, 86, 19–28. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2016.04.001>
- Piazza, M. (2010). Neurocognitive start-up tools for symbolic number representations. *Trends in cognitive sciences*, 14(12), 542-551. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2010.09.008>
- Qin, S., Cho, S., Chen, T., Rosenberg-Lee, M., Geary, D. C., & Menon, V. (2014). Hippocampal-neocortical functional reorganization underlies children's cognitive development. *Nature neuroscience*, 17(9), 1263–1269. <https://doi.org/10.1038/nn.3788>
- Quesque, F., & Brass, M. (2019). The role of the temporoparietal junction in self-other distinction. *Brain topography*, 32(6), 943-955. <https://doi.org/10.1007/s10548-019-00737-5>
- Ren, T., Wang, J., Li, M., Ding, X., & Cheng, C. (2025). To add or to remove? The role of working memory updating in preschool children's non-symbolic arithmetic abilities between addition and subtraction. *Journal of experimental child psychology*, 252, 106182. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2024.106182>
- Ren, X., & Libertus, M. E. (2023). Identifying the Neural Bases of Math Competence Based on Structural and Functional Properties of the Human Brain. *Journal of cognitive neuroscience*, 35(8), 1212–1228. https://doi.org/10.1162/jocn_a.02008
- Rivera, S. M., Reiss, A. L., Eckert, M. A., & Menon, V. (2005). Developmental changes in mental arithmetic: evidence for increased functional specialization in the left inferior parietal cortex. *Cerebral cortex* (New York, N.Y. : 1991), 15(11), 1779–1790. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhi055>
- *Rosenberg-Lee, M., Ashkenazi, S., Chen, T., Young, C. B., Geary, D. C., & Menon, V. (2015). Brain hyper-connectivity and operation-specific deficits during arithmetic problem solving in children with developmental dyscalculia. *Developmental science*, 18(3), 351–372. <https://doi.org/10.1111/desc.12216>
- Rubinsten, Orly. (2015). Developmental Dyscalculia: A Cognitive Neuroscience Perspective. *Brain Disorders & Therapy*. 04. <https://doi.org/10.4172/2168-975X.1000190>
- Rykhlevskaia, E., Uddin, L. Q., Kondos, L., & Menon, V. (2009). Neuroanatomical correlates of developmental dyscalculia: combined evidence from morphometry and tractography. *Frontiers in human neuroscience*, 3, 51. <https://doi.org/10.3389/neuro.09.051.2009>

- Saga, M., Rkhaila, A., Oubaha, D., & Ounine, K. (2023). The impact of anxiety and life quality on the mathematical performance of dyscalculic middle school children. *Applied neuropsychology. Child*, 12(4), 318–326. <https://doi.org/10.1080/21622965.2022.2105146>
- Siemann, J., & Petermann, F. (2018). Evaluation of the Triple Code Model of numerical processing-Reviewing past neuroimaging and clinical findings. *Research in developmental disabilities*, 72, 106–117. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2017.11.001>
- *Simos, P. G., Kanatsouli, K., Fletcher, J. M., Sarkari, S., Juranek, J., Cirino, P., Passaro, A., & Papanicolaou, A. C. (2008). Aberrant spatiotemporal activation profiles associated with math difficulties in children: a magnetic source imaging study. *Neuropsychology*, 22(5), 571–584. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.22.5.571>
- Sokolowski, H. M., Hawes, Z., & Ansari, D. (2023). The neural correlates of retrieval and procedural strategies in mental arithmetic: A functional neuroimaging meta-analysis. *Human brain mapping*, 44(1), 229–244. <https://doi.org/10.1002/hbm.26082>
- Soltanlou, M., Dresler, T., Artemenko, C., Rosenbaum, D., Ehlis, A. C., & Nuerk, H. C. (2022). Training causes activation increase in temporo-parietal and parietal regions in children with mathematical disabilities. *Brain structure & function*, 227(5), 1757–1771. <https://doi.org/10.1007/s00429-022-02470-5>
- Splinter, S. E., Depaepe, F., Verschaffel, L., & Torbeyns, J. (2024). Perceptual subitizing performance in 3- and 4-year-olds: The impact of visual features of sets. *Journal of experimental child psychology*, 244, 105946. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2024.105946>
- Szűcs, D., Devine, A., Soltesz, F., Nobes, A., & Gabriel, F. (2013). Developmental dyscalculia is related to visuo-spatial memory and inhibition impairment. *Cortex; a journal devoted to the study of the nervous system and behavior*, 49(10), 2674–2688. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2013.06.007>
- Szűcs, Dénes & Goswami, Usha. (2013). Developmental dyscalculia: Fresh perspectives. *Trends in Neuroscience and Education*. 2. 33–37. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2013.06.004>
- Tablante, J., Krossa, L., Azimi, T., & Chen, L. (2023). Dysfunctions associated with the intraparietal sulcus and a distributed network in individuals with math learning difficulties: An ALE meta-analysis. *Human brain mapping*, 44(7), 2726–2740. <https://doi.org/10.1002/hbm.26240>
- Venkatraman, V., Ansari, D., & Chee, M. W. (2005). Neural correlates of symbolic and non-symbolic arithmetic. *Neuropsychologia*, 43(5), 744–753. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2004.08.005>
- Vogel, S. E., & De Smedt, B. (2021). Developmental brain dynamics of numerical and arithmetic abilities. *NPJ science of learning*, 6(1), 22. <https://doi.org/10.1038/s41539-021-00099-3>
- Wang, F., & Jamaludin, A. (2025). Investigating frontoparietal networks and activation in children with mathematics learning difficulties: Cases with different deficit profiles. *The European journal of neuroscience*, 61(1), e16629. <https://doi.org/10.1111/ejn.16629>
- Wei, W. & Shiqiao, S. (2025). The storage component of working memory mediates the relationship between mathematical anxiety and arithmetic performance. *Contemporary Educational Psychology*. 81. 102372. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2025.102372>

Wilkey, E. D., Cutting, L. E., & Price, G. R. (2018). Neuroanatomical correlates of performance in a state-wide test of math achievement. *Developmental science*, 21(2), 10.1111/desc.12545.

<https://doi.org/10.1111/desc.12545>

Zamarian, L., Ischebeck, A., & Delazer, M. (2009). Neuroscience of learning arithmetic--evidence from brain imaging studies. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 33(6), 909–925.

<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2009.03.005>

Zhou, H., Tan, Q., Ye, X., & Miao, L. (2022). Number sense: the mediating effect between nonverbal intelligence and children's mathematical performance. *Psicologia, reflexao e critica : revista semestral do Departamento de Psicologia da UFRGS*, 35(1), 27.

<https://doi.org/10.1186/s41155-022-00231-1>

Zygouris, N., Vlachos, F., Dadaliaris, A., Oikonomou, P., Stamoulis, G., Vavougiou, D., Nerantzaki, E., & Striftou, A. (2017). A neuropsychological approach of developmental dyscalculia and a screening test via a web application. *International Journal of Engineering Pedagogy (ijEP)*, 7(4), 51–60.

<https://doi.org/10.3991/ijep.v7i4.7434>

Živković, M. (2025). *Sklonost k prirodnim brojevima u radu s racionalnim brojevima - važnost za prepoznavanje teškoća u matematici* [Diplomski rad]. Edukacijsko-rehabilitacijski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

Dodatak

Tablica 1. Prikaz funkcionalnih razlika u mozgu kod djece s diskalkulijom s obzirom na korištene matematičke zadatke.

Autori, časopis i godina	Metoda i uzorak (N, KD)	Bihevioralne mjere	Glavni nalazi
Ashkenazi i sur. <i>Developmental Cognitive Neuroscience</i> , 2012	fMRI N = 34 KD = 7-9 god.	jednostavni i složeni zadatci zbrajanja jednoznamenastih brojeva	- smanjena aktivacija u bilateralnom PFC-u, desnom posteriornom parijetalnom i okcipitotemporalnom korteksu - smanjena prepoznatljivost moždane aktivacije u bilateralnom IPS-u - obrasci aktivacije točno su razlikovali UR od Disk.
Berteletti i sur. <i>Cortex</i> , 2014	fMRI N = 40 KD = 8-13 god.	jednostavni i složeni zadatci množenja jednoznamenastih brojeva	- smanjena aktivacija i u verbalnoj (lijevi IFG i lijevi MTG i STG) i u numeričkoj regiji (desni superiorni parijetalni korteks) kod oba zadatka - značajna aktivacija samo u IPS-u kod jednostavnih zadataka - veća aktivacija u IPS-u kod UR - povećana aktivacija u STG-u, MTG-u i IFG-u kod UR kod jednostavnih zadataka
Chen i sur. <i>Neuropsychologia</i> , 2021	fMRI N = 45 KD = 7-9 god.	jednostavni i složeni zadatci zbrajanja i oduzimanja jednoznamenastih brojeva	- manje diferencirane neuronske reprezentacije između operacija zbrajanja i oduzimanja u bilateralnom FG-u, IPS-u, anteriornom temporalnom korteksu i insuli - nepravilna integracija reprezentacija unutar bilateralnog FG-a i IPS-a
Davis i sur. <i>Neuropsychologia</i> , 2009	fMRI N = 48 KD = 8-9 god.	zadatak približnog izračuna zadatak točnog izračuna	- značajno veća aktivacija u bilateralnom parijetalnom i frontalnom, te lijevom cingularnom korteksu - smanjena aktivacija u bilateralnom parijetalnom i frontalnom te lijevom cingularnom korteksu kod UR - značajno veća aktivacija u lijevom MFG-u i SFG-u - smanjena aktivacija u lijevom MFG-u i SFG-u kod UR
Dinkel i sur. <i>PLOS One</i> , 2013	fMRI N = 38 KD = 7-9 god.	zadatak točnog izračuna	- povećana aktivacija u lijevom AG-u i desnom SMG-u - pronađene male razlike u aktivaciji oko lijevog IFG-a - slični obrasci aktivacije između UR i Disk. - fronto-parijetalni sustavi mogu razlikovati UR od Disk.
Jolles i sur. <i>Developmental Science</i> , 2016	fMRI N = 38 KD = 7-9 god.	stanje mirovanja	- hiperpovezanost IPS-a s bilateralnom fronto-parijetalnom mrežom (lijevi i desni IPS, desni SFG, lijevi frontalni korteks) - veće niskofrekventne fluktuacije u fronto-parijetalnim regijama koje se preklapaju s područjima hiperaktivno povezanim s IPS-om - obrasci povezanosti IPS-a točno su razlikovali UR i Disk.
Kucian i sur. <i>Behavioral and Brain Functions</i> , 2006	fMRI N = 48 KD = 9-12 god.	zadatak približnog izračuna zadatak točnog izračuna	- smanjena aktivacija u bilateralnom IPS-u, MFG-u i IFG-u - povećana aktivacija u bilateralnom MFG-u, anteriornom CG-u, IPS-u i IFG-u kod UR - postoji povezanost između lijevog IPS-a, lijevog IFG-a i desnog MFG-a sa stopom točnosti - slični obrasci aktivacije kod UR i Disk.
Kwok i sur. <i>Human Brain Mapping</i> , 2023	fMRI N = 68 KD = 8-10 god.	jednostavni i složeni zadatci zbrajanja jednoznamenastih brojeva	- nisu pronađene grupne razlike u aktivaciji - zadatak je izazvao moždanu aktivaciju u širokoj mreži fronto-parijetalnih područja mozga

Mateu-Estivill i sur. <i>Journal of Neuroimaging</i> , 2024	fMRI N = 32 KD = 7,5-8 god.	stanje mirovanja	- smanjena rs-FC između MTG-a i pCC-a, te medijalnog frontalnog korteksa, anteriornog dijela MTG-a, AG-a i anteriome cingularne regije - smanjena rs-FC između lijevog MTG-a i područja DMN-a te lijevog MTG-a i MFG-a, hipokampusu i malog mozga - povećana funkcionalna povezanost između desnog i lijevog MTG-a i područja senzomotorne mreže (SMA, lijevi anteriori i posteriorni MFG) - značajne razlike u obrascima povezanosti između skupina
Peters i sur. <i>NeuroImage: Clinical</i> , 2018	fMRI N = 62 KD = 9-12 god.	zadatak oduzimanja jednoznamenastih brojeva	- povećana aktivacija u lijevom posteriornom i inferiornom parijetalnom području, bilateralnom cuneusu, lijevom MTG-u i IFG-u kod UR
		zadatak nesimboličkog oduzimanja (točkasti nizovi)	- povećana aktivacija u bilateralnim frontalnim, parijetalnim, temporalnim i okcipitalnim regijama kod UR
		zadatak nesimboličkog oduzimanja (brojevnice riječi)	- povećana aktivacija u lijevom posteriornom i inferiornom parijetalnom i okcipitalnom području, bilateralnom cuneusu, MTG-u i IFG-u kod UR
			- slični odstupajući obrasci neuralne aktivacije kod Disk., Disl./Disk. i Disl. - obrasci neuralne aktivacije točno su razlikovali UR od Disk., Disl./Disk. i Disl.
Rosenberg-Lee i sur. <i>Developmental Science</i> , 2015	fMRI N = 36 KD = 8-11 god.	jednostavni i složeni zadaci zbrajanja i oduzimanja jednoznamenastih brojeva	- hiperpovezanost između IPS-a i lateralne fronto-parijetalne i DMN - veća aktivacija za zbrajanje nego za oduzimanje u bilateralnom hipokampusu i anteriornom temporalnom korteksu - veća aktivacija za oduzimanje nego za zbrajanje u lijevom MFG-u, lijevom IPS-u i desnom SMG-u - povećana aktivacija u bilateralnom IPS-u i bilateralnom superiornom parijetalnom korteksu te u posteriornom parijetalnom korteksu i FG-u u ventralnom okcipito-temporalnom korteksu kod oduzimanja
Simos i sur. <i>Neuropsychology</i> , 2008	MEG N = 55 KD = 8-15 god.	zadatak zbrajanja jednoznamenastih brojeva	- značajne razlike u aktivaciji mozga između UR i Disl./Disk. - povećana desna asimetrija stupnja aktivnosti AG - povećana aktivacija u desnim inferiornim i superiornim parijetalnim regijama - povećana aktivacija u lijevim inferiornim i superiornim parijetalnim regijama kod UR - povećana rana angažiranost bilateralnog PFC-a - povećano oslanjanje na mrežu desnih parijetalnih i frontalnih područja -potisnuta neuronska aktivacija kod Disl./Disk.
Wang i Jamaludin <i>European Journal of Neuroscience</i> , 2025	fNIRS N = 54 KD = 7 god.	približno stanje mirovanja	- smanjen stupanj nodalne mreže u različitim kanalima, najčešće u desnom MFG-u - značajno smanjena nodalna učinkovitost u desnom posteriornom parijetalnom girusu, frontalnom i posteriornom parijetalnom području - šire smanjenje nodalne učinkovitosti, koje se proteže od udaljenog lijevog frontalnog girusa, preko desnog MFG-a do desnog okcipitalnog girusa
		zadatak nesimboličkog zbrajanja (točkasti nizovi)	- nije utvrđena promijenjena aktivacija - povezanost nodalne učinkovitosti na spoju između lijevog IFG-a i MTG-a s točnošću i tečnošću kod UR
		zadatak zbrajanja jednoznamenastih brojeva	- značajno smanjena aktivacija u području preklapanja lijevog IFG-a i MFG-a te lijevog AG-a

N = ukupan broj sudionika, KD = kronološka dob, fMRI = funkcionalna magnetska rezonanca, MEG = magnetoencefalografija, fNIRS = funkcionalna bliska infracrvena spektroskopija, PFC = prefrontalni korteks, IPS = intraparijetalni sulcus, IFG = inferiorni frontalni girus, MTG = medijalni temporalni girus, STG = superiorni temporalni girus, FG = fusiformni girus, MFG = medijalni frontalni girus, SFG = superiorni frontalni girus, AG = angularni girus, SMG = supramarginalni girus, CG = cingularni girus, rs-FC = funkcionalna povezanost u mirovanju, pCC = posteriorni cingulatni korteks ili prekuneus, DMN = mreža zadanog načina rada, SMA = suplementarno motoričko područje. Napomena: U svrhu ove analize u tablici su navedeni isključivo aritmetički zadatci, iako su autori uključili i druge zadatke. Nalazi koji su pronađeni kod djece urednog razvoja i djece s diskalkulijom ili samo kod djece urednog razvoja označeni su s UR i Disk., odnosno UR. Nalazi koji su pronađeni kod djece kod koje su disleksija i diskalkulija u supojavnosti označeni su s Disl./Disk., dok su oni pronađeni kod izolirane disleksije označeni s Disl. Svi preostali nalazi pronađeni su kod djece s diskalkulijom. Sva uključena istraživanja u literature su označena s “*” prije navođenja reference.