

**Recenzenti:**

doc. dr. sc. Daria Rovan, Učiteljski fakultet, Sveučilište u Zagrebu  
v. pred. dr. sc. Ana Sušac, Fizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu

**WEB predavanje** recenzirano dana 10. srpnja 2014. i prema Odluci donesenoj na 2. sjednici Vijeća Filozofskog fakulteta Sveučilišta u Splitu od 29. listopada 2014. postavljeno na [www.ffst.hr](http://www.ffst.hr) (službenoj web stranici Filozofskog fakulteta u Splitu).

**ZNANSTVENO PODRUČJE:** Interdisciplinarne znanosti

**ZNANSTVENO POLJE:** Obrazovne znanosti / Neuroznanost

**ZNANSTVENA GRANA:**

**STUDIJSKI PROGRAM:** Pedagogija

**GODINA I SEMESTAR:** 5. godina, 9. semestar; 4. godina, 8. semestar

**GODIŠNJI / TJEDNI BROJ SATI:** 45 sati (1 sat predavanja + 2 sata seminara)

**NASTAVNI PREDMET:** Evolucijske i biološke osnove ljudskog doživljavanja;  
Edukacijska neuroznanost

**NASTAVNA CJELINA:** Biološke osnove pamćenja, učenja i motivacije

**NASTAVNA JEDINICA:** Edukacijska neuroznanost

**NASTAVNI OBLICI RADA:** Frontalni rad i grupna rasprava

**NASTAVNO SREDSTVO:** PowerPoint prezentacija

**NASTAVNA POMAGALA:** Računalo i LCD projektor

**CILJ NASTAVE:** Upoznati studente s područjem edukacijske neuroznanosti i njezinim značajem za suvremene obrazovne znanosti

**ZADACI NASTAVE:**

- upoznati se s područjem i metodologijom edukacijske neuroznanosti
- steći uvid u istraživačke probleme kojima se bavi i saznanja koja nudi edukacijska neuroznanost
- potaknuti studente na kritičko promišljanje o važnosti edukacijske neuroznanosti za obrazovanje

**KORELACIJA:** Sadržaji iz Pedagoške psihologije

**PLAN SATI:**

- Uvodni dio: Osnovne značajke edukacijske neuroznanosti (frontalni rad)
- Glavni dio: Izazovi i glavna saznanja edukacijske neuroznanosti (frontalni rad)
- Završni dio: Rasprava i zaključci (frontalni rad; grupna rasprava)

**LITERATURA ZA STUDENTE:**

1. Jensen, E. (2005). *Poučavanje s mozgom na umu*. Zagreb: Educa.
2. Pinel, J. P. (2001). *Biološka psihologija*. Jastrebarsko: Naklada Slap. (poglavlja 5, 14 i 15)

# EDUKACIJSKA NEUROZNANOST

## Uvod

Edukacijska (obrazovna) neuroznanost predstavlja interdisciplinarno područje koje ujedinjuje područja neuroznanosti i obrazovnih znanosti. Razvilo se na poticaj znanstvenika koji su krajem 20. stoljeća pozivali stručnjake istraživače u području obrazovnih znanosti da svoja istraživanja i teorije obogate novim saznanjima vezanim uz rad mozga (Wittrock, 1980). To je rezultiralo formiranjem edukacijske neuropsihologije kao posebne discipline u okviru edukacijske psihologije, a kasnije i pojavom znatno šire edukacijske neuroznanosti. Zanimljivo, i sama neuroznanost predstavlja relativno novo interdisciplinarno istraživačko područje čija je metodologija omogućila istraživanje mentalnih procesa i tako potaknula razvoj najprije kognitivne, a zatim i razvojne i edukacijske neuroznanosti (Varma, McCandliss i Schwartz, 2008). Naime, istraživanja kojima su se unutar kognitivne neuroznanosti ispitivali neuralni mehanizmi fenomena poput mišljenja, pamćenja, emocija kao i razvojnih promjena u ovim i drugim procesima polako su se počela promatrati cjelovitije i radi njihovog povezivanja i primjene u obrazovanju, što je polako rezultiralo nastankom edukacijske neuroznanosti. Ova disciplina danas integrira klasične bihevioralne pristupe i neuroznanstvene metode s ciljem istraživanja učenja, poučavanja i drugih obrazovno relevantnih tema. Dakle, slično kao i druge obrazovne znanosti, i ova se disciplina u velikoj mjeri oslanja na iskaze i doživljaje ispitanika, kao i praćenje njihovih bihevioralnih učinaka pri rješavanju određenih zadataka. Međutim, edukacijska neuroznanost ovakve pristupe kombinira s neuroznanstvenim metodama koje prije svega uključuju funkcijsku magnetsku rezonanciju (fMR), elektroencefalografiju (EEG) i magnetoencefalografiju (MEG), ali i druge metode, primjerice snimanje pokreta očiju ili genetska istraživanja. Pritom se unutar edukacijske neuroznanosti istražuju brojne relevantne teme u području obrazovanja, kao što su učenje, čitanje, razumijevanje matematike, značaj emocija za učenje, motivacija, razvoj govora, itd. S obzirom na specifičnosti korištenih istraživačkih metoda, unutar edukacijske neuroznanosti koriste se potpuno nove ili donekle modificirane, najčešće pojednostavljene, klasične istraživačke paradigme obrazovnih znanosti. Iako takve preinake predstavljaju prije svega specifičnost, a ne nužno i nedostatak edukacijske neuroznanosti, upravo su one vrlo često bile na meti relativno velikog broja kritičara ove discipline.

## Istraživanja edukacijske neuroznanosti

Kao što je ranije navedeno, temeljna specifičnost edukacijske neuroznanosti je njezina metodologija, odnosno činjenica da se unutar ove discipline klasični bihevioralni pristupi usmjereni praćenju postignuća i doživljaja ispitanika kombiniraju s različitim neuroznanstvenim metodama. Takav pristup omogućuje istraživanje vrlo raznolikih obrazovnih problema od kojih se brojni, primjerice učinkovitost učenja različitih vrsta gradiva, utjecaj pozitivnih i negativnih emocija na učenje ili utjecaj različitih teškoća na učenje, istražuju i u drugim srodnim disciplinama. Uz njih, metodološka specifičnost ove discipline omogućuje ispitivanje i nekih specifičnijih tema, kao što su neuralni mehanizmi pojedinih kognitivnih procesa ili promjene rada mozga zbog različitih vrsta smetnji i teškoća.

Kako bismo lakše razumjeli znanstveni pristup unutar edukacijske neuroznanosti, navest ćemo dva primjera istraživanja provedenih u ovom području. Prvo istraživanje uključivalo je primjenu fMR-a radi ispitivanja kauzalnog rezoniranja kod studenata. Naime, u praksi se često javlja problem nedovoljnog razumijevanja različitih znanstvenih teorija kod učenika i studenata, unatoč činjenici da se one opetovano susreću tijekom školovanja. Pretpostavlja se da do teškoća u učenju takvog gradiva dolazi jer učenici u školu dolaze s nekim intuitivnim, tzv. naivnim teorijama koje su često pogrešne, odnosno suprotne znanstveno utemeljenim teorijama koje se poučavaju u školi. Kako bi se njihova uvjerenja promijenila, tijekom obrazovanja učenike se često izlaže dokazima koji pokazuju da su njihove naivne teorije netočne, kao i primjerima događaja koji odstupaju od tih teorija. Fugelsang i Dunbar (2005) željeli su istražiti dovodi li pokazivanje informacija koje opovrgavaju neko uvjerenje ili teoriju zaista do učenja i restrukturiranja znanja. Stoga su razvili zadatak kauzalnog rezoniranja unutar kojeg su ispitanicima prikazali informacije koje su bile konzistentne ili nekonzistentne s njihovim uvjerenjima. Tijekom prezentacije zadataka, ispitanicima su mjerili aktivaciju mozga korištenjem fMR-a kojim su dobili podatke o razlikama u aktivnosti pojedinih dijelova mozga pri razmatranju konzistentnih i nekonzistentnih informacija. Dobiveni rezultati pokazali su kako čitanje konzistentnih informacija aktivira dijelove mozga koji su uključeni u proces učenja, kao što su kaudatna jezgra i parahipokampalna vijuga. Za razliku od toga, nekonzistentni podatci aktivirali su dijelove mozga koji sudjeluju u radnom pamćenju i detekciji pogrešaka, kao što su prednji cingularni korteks i dorsolateralni prefrontalni korteks (Fugelsang i Dunbar, 2005). Povezivanjem rezultata dobivenih ovim istraživanjem i ranijih saznanja o uključenosti aktiviranih sustava u različite vrste kognitivnih procesa, može se zaključiti kako obrada informacija nekonzistentnih s njihovim ranijim uvjerenjima ispitanike nije potaknula na učenje, već su ih doživjeli kao pogreške. Uz to, ovi su rezultati pokazali kako prikazivanje

informacija koje nisu u skladu s prethodnim uvjerenjima ispitanika često dovodi do inhibicije takvih informacija, a ne do restrukturiranja znanja i novog učenja. Takvi su rezultati jako važni jer pokazuju utjecaj prethodnih uvjerenja na učenje, kao i teškoće koje se mogu javiti u primjeni strategije prikazivanja iznimki za razumijevanje znanstvenih pojmova ili zakona u školi. U dodatnim istraživanjima fenomena konceptualne promjene Dunbar, Fugelsang i Stein (2007; prema Dunbar, Fugelsang i Stein, 2007) pokazali su kako točno odgovaranje u testovima nije pokazatelj potpunog razumijevanja i prihvaćanja poučavanog gradiva. Naime, njihovi rezultati upućuju na zaključak da ljudi, čak i nakon učenja određenog gradiva i usvajanja znanstveno prihvaćenih teorija, ne zaboravljaju u potpunosti ranija uvjerenja i naivne teorije s kojima svi dolazimo u školu. Umjesto toga, kod rješavanja zadataka koji zahtijevaju primjenu znanja i teorija naučenih u školi dosjećaju se i točnih i netočnih, odnosno intuitivnih teorija. Kada prepoznaju kontekst u kojem trebaju primijeniti znanje vezano uz formalne teorije oni mogu inhibirati netočne naivne teorije koje se u nekom drugom kontekstu ponovo mogu aktivirati i, u slučaju nedovoljno naučenog gradiva, prevladati one druge.

U drugom istraživanju kojeg ćemo prikazati ispitivane su razlike u aktivaciji mozga pri rješavanju novih aritmetičkih operacija korištenjem dviju različitih strategija rješavanja (Delazer i sur., 2005). Naime, ispitanicima su prikazani zadatci s različitim operandima na kojima su trebali provesti novu, izmišljenu aritmetičku operaciju s kojom su na početku bili upoznati. Pritom je jedna skupina ispitanika zadatke učila rješavati koristeći strategiju učenja napamet, odnosno tako da je upamćivala koje operande treba ujediniti kako bi se dobio neki rezultat. Za razliku od toga, ispitanici u drugoj skupini iste zadatke rješavali su strateški, tako što su najprije naučili algoritam za pretvaranje operanda u konačni rezultat. Nakon učenja, ispitanicima je fMR-om snimana aktivnost mozga tijekom rješavanja zadataka. Dobiveni rezultati pokazali su veću aktivnost dijelova mozga uključenih u dosjećanje verbalnih informacija i korištenje verbalnih strategija ponavljanja (npr. angularne vijuge) kod skupine koja je koristila strategiju učenja napamet. Za razliku od nje, skupina koja je strateški rješavala zadatke pokazala je veću aktivnost u dijelovima mozga koji su uključeni u izvršne procese i vidnoprstornu obradu informacija, odnosno vidno predočavanje i spacijalno radno pamćenje (npr. dijelovi precuneusa i prednji cingularni korteks). Dakle, iako su obje skupine naučile rješavati iste zadatke, na temelju aktivacije njihovih mozgova mogle su se lako identificirati razlike u strategijama korištenim za rješavanje zadataka. Slično tome, istraživanja utjecaja kulture na aktivaciju mozga pokazuju kako različite strategije učenja matematike u ranoj dobi dovode do razlika u aktiviranju različitih dijelova mozga pri rješavanju matematičkih problema. Naime, rezultati istraživanja Tanga i sur. (2006) pokazali

su kako pri zbrajanju i uspoređivanju brojeva govornici engleskog jezika aktiviraju jezične, a govornici kineskog motoričke centre u mozgu. Ove razlike u aktivaciji pojedinih mozgovnih sustava mogu se povezati s razlikama u iskustvima djece različitih kultura, primjerice činjenicom da su govornici kineskog u većoj mjeri matematiku učili uz pomoć abakusa što zahtijeva značajnije korištenje vidnomotoričkih strategija učenja koje nisu koristila djeca koja matematiku uče korištenjem primarno verbalnih strategija.

## **Prednosti upotrebe i primjena saznanja edukacijske neuroznanosti**

Iako se radi o relativno mladoj disciplini, edukacijska neuroznanost već je ostavila određenog traga u obrazovnim teorijama i praksi. Na primjer, nastavnici se svakim danom sve više susreću s pojmom obrazovanja utemeljenog na znanju o razvoju i funkcioniranju mozga. Unatoč tome, ponekad je teško izdvojiti primjere saznanja edukacijske neuroznanosti koja se već koriste, ili bi se lako mogla primijeniti u praksi, što se dijelom može povezati s nepostojanjem jednoznačnih kriterija za odabir takvih saznanja. Međutim, među tim primjerima zasigurno treba izdvojiti saznanja koja pokazuju *promjene u radu mozga pod utjecajem iskustva*. Naime, iako je odavno poznato kako aktivnost naših gena i razvoj živčanog sustava ovisi o okolini i iskustvima, novija istraživanja pokazuju kako su mozgovi čak i odraslih ljudi jako plastični i sposobni na značajnu reorganizaciju (Lövdén, Bäckman, Lindenberger, Schaefer i Schmiedek, 2010). Naime, mozak je podložan cjeloživotnom učenju i prilagodbi pod utjecajem iskustva (Draganski i sur., 2004; Gaser i Schlaug, 2003), što je izrazito važno za obrazovni kontekst. Pritom prilagodljivost različitih dijelova mozga nije jednaka u različitim životnim razdobljima, pri čemu poznavanje razlika u funkcioniranju dječjeg, adolescentskog i odraslog mozga može značajno doprinijeti planiranju obrazovnih intervencija kod svake od tih skupina (Blakemore i Frith, 2005). Međutim, bez obzira na dob, djeca danas provode iznimno mnogo vremena u učionici i iskustva koja tamo dožive značajno utječu na razvoj njihovih mozgova. Stoga ne čudi što neka istraživanja pokazuju kako se najveće povećanje učinkovitosti kognitivnog funkcioniranja povezuje s obrazovanjem i obrazovnim intervencijama, unatoč vjerovanjima da se ljudske sposobnosti najbolje mogu razvijati i promijeniti na druge načine, primjerice korištenjem droga ili naprednih tehnologija (Bostrom i Sandberg, 2009). Uz to, duljina obrazovanja povezana je s manjim rizikom od demencije i višim kognitivnim sposobnostima u starijoj dobi (Barnett i Sahakian, 2010).

Nadalje, istraživanja pokazuju kako je mozak jako znatiželjan, odnosno kako je *potreba za učenjem i znanjem* nešto što nam je praktički urođeno. Naš mozak traži i voli

novosti i promjene koje predstavljaju jedan od ključnih oblika privlačenja pažnje (Friedman, Cycowicz i Gaeta, 2001). Uz njih, tjelesne potrebe, kao i podražaji koji se ističu među okolinom ili su važni za pojedinca mogu lako usmjeriti pažnju pojedinca (Sternberg, 2005). Također, danas znamo da je svako dijete biološki određeno da može učiti iz iskustva, donositi odluke i osmišljavati svijet oko sebe. Pritom vježba, odnosno iskustvo dovodi do promjena ne samo strukture, nego i načina na koji mozak obrađuje informacije i rješava zadatke (Delazer i sur., 2003). Uz to, bitno je naglasiti da je za učenje i pamćenje ključno osmišljavanje informacija koje se usvajaju, odnosno njihovo organiziranje i povezivanje s drugim relevantnim ili ranije naučenim znanjima. Rezultati dosadašnjih istraživanja pokazuju kako u takvom osmišljavanju sudjeluje prije svega lijevi inferiorni prefrontalni korteks (Fletcher, Stephenson, Carpenter i Donovan Bullmore, 2003). Pritom su za učenje nerijetko presudne emocije koje olakšavaju upamćivanje važnih informacija. Hinton, Miyamoto i Della-Chiesa (2008) stoga naglašavaju važnost osmišljavanja pozitivnog okoliša za učenje koji će učenike motivirati i omogućiti im stjecanje vještina emocionalne samoregulacije. Također, na učinkovitost učenja utječe i tjelesna aktivnost, što pokazuju rezultati istraživanja koja su ispitala povezanost vježbanja i kognitivnog funkcioniranja (Reed i sur., 2010).

Zanimljiva su i potencijalno relevantna istraživanja koja nude prijedloge kako *organizirati poučavanje različitih oblika gradiva*. Primjerice, istraživanja pokazuju kako je pri učenju nekih vrsta gradiva bitno uzeti u obzir osjetljiva razdoblja tijekom kojih mozak najlakše uči takve sadržaje. To se, na primjer, odnosi na učenje jezika jer istraživanja pokazuju kako se gramatička znanja i pravilan naglasak najlakše stječu u ranoj dobi (Hinton i sur., 2008). Stoga je učenje stranih jezika primjereno učiti prije puberteta, već u vrtićkoj ili ranoj osnovnoškolskoj dobi (Hernandez i Li, 2007; Johnson i Newport, 1989). Također, učenje matematike nerijetko se može olakšati uzmu li se u obzir saznanja o povezanosti načina na koji mozak reprezentira brojeve i prostor (Dehaene, 1997). Kao što navodi Goswami (2006), rezultati istraživanja ukazuju na mogućnost korištenja prostornih strategija, primjerice brojevni linija, za poučavanje ordinalnosti ili drugih matematičkih pojmova.

Na kraju, treba spomenuti kako se u novije vrijeme edukacijska neuroznanost sve više okreće ispitivanju kognitivnih i neuralnih mehanizama koji se nalaze u osnovi različitih oblika *teškoća u učenju*. Na primjer, istraživanja pokazuju da aktivnost mozga djece s disleksijom karakterizira nedovoljna aktivacija mozgovnih sustava uključenih u čitanje (Goswami, 2008), dok je pojava diskalkulije povezana s teškoćama dosjećanja aritmetičkih činjenica i osiromašenih numeričkih reprezentacija (Ansari i Karmiloff-Smith, 2002). Na temelju ovih i

sličnih rezultata razvijaju se strategije poučavanja koje su prilagođene različitim oblicima individualnih razlika (Bowyer-Crane i sur., 2008; Fidler i Nadel, 2007).

## Kritike i izazovi edukacijske neuroznanosti

U ranijem odlomku prikazani su primjeri primjene spoznaja edukacijske neuroznanosti u praksi, koje upućuju na potencijalnu jedinstvenost i korisnost ove discipline. Unatoč tome edukacijska neuroznanost je, od samog nastanka, izazivala brojne kontroverze. Dok su neki pozdravili njezinu pojavu (Ansari i Coch, 2006; Geake i Cooper, 2003; Howard-Jones, 2008), drugi su znanstvenici od samih početaka sumnjali u potencijalnu primjenjivost ove discipline (Bruer, 1997). Naime, unatoč brojnim nastojanjima korištenja neuroznanstvenih istraživačkih metoda za ispitivanje učenja, poučavanja i drugih edukacijskih tema, još uvijek postoje brojne sumnje u vrijednost ovakvih pristupa za razumijevanje obrazovno relevantnih pojava. Njih su objedinili Varma i sur. (2008) koji smatraju da se kritike edukacijske neuroznanosti mogu sažeti u dvije skupine, tzv. teorijske ili znanstvene i pragmatične. Autori pritom naglašavaju kako te kritike zapravo treba smatrati izazovima koje edukacijska neuroznanost treba prevladati kako bi uistinu zaživjela i postala prihvaćena u obrazovnom kontekstu. U *Tablici 1.* prikazani su pojedinačni izazovi edukacijske neuroznanosti kako ih navode Varma i sur. (2008).

*Tablica 1.* Izazovi s kojima se susreće edukacijska neuroznanost (Varma i sur., 2008).

Teorijski izazovi	Pragmatični izazovi
1. Najvažnija pitanja u okviru obrazovnih znanosti nije moguće istraživati neuroznanstvenim metodama.	1. Neuroznanstvene metode su preskupe za primjenu unutar edukacijskog konteksta.
2. Lokalizacija kognitivnih funkcija nije informativna za obrazovni sustav.	2. Principi rada živčanog sustava još su uvijek previše nepoznati, pa rezultati dobiveni neuroznanstvenim istraživanjima nisu praktično primjenjivi.
3. Neuroznanost karakterizira redukcionizam koji nije primjeren obrazovnom kontekstu.	3. Neuroznanost ugrožava neovisnost obrazovnih znanosti.
4. Obrazovanje i neuroznanost predstavljaju nepomirljiva područja: obrazovanje se bavi bihevioralnim, a neuroznanost fizičkim	4. Iskustvo nas uči da se neuroznanstvena saznanja lako pretvaraju u neuromitove.

Ključne kritike koje se vežu uz edukacijsku neuroznanost teorijske su prirode i odnose se na primjerenost korištenja neuroznanstvenih metoda radi istraživanja obrazovnih tema. Metodologija edukacijske neuroznanosti do sada je bila izložena brojnim kritikama, unatoč činjenici da znanstvena istraživanja općenito, bez obzira na korištene metode, najčešće zahtijevaju određeno pojednostavljenje proučavanih fenomena. Naime, znanstveno utemeljena istraživanja teže prikupljanju valjanih i pouzdanih podataka strogo definiranim postupcima analize podataka koji su u svakom trenutku podložni provjeri i pokušajima replikacije. Prema nekim autorima, znanstvena utemeljenost praksi u obrazovanju predstavlja ključni preduvjet za razvoj ovog područja (Slavin, 2002). Međutim, prema drugim autorima, pretjerana kontrola u obrazovnim istraživanjima nije nužno prikladna i značajno može umanjiti kasniju vrijednost i primjenjivost prikupljenih podataka (Olson, 2004). U skladu s tim, David Berliner (2002) navodi kako je unutar složenih konteksta, poput onog obrazovnog, ključno organizirati multidisciplinarna istraživanja i kombinirati različite istraživačke pristupe jer strogo kontrolirana kvantitativna istraživanja nude ograničene vrste spoznaja i zaključaka. S obzirom na to da se ove kritike odnose čak i na kvantitativnu bihevioralnu metodologiju, ne čudi činjenica da je korištenje neuroznanstvenih metoda unutar obrazovnih znanosti naišlo na brojne zamjerke istraživača. Bez sumnje, primjena neuroznanstvenih metoda najčešće zahtijeva vrlo umjetne i kontrolirane eksperimentalne uvjete kao i određeni redukcionizam u odabiru tema za istraživanja. Na primjer, prilikom snimanja EEG-a, MEG-a ili fMR-a sudionici istraživanja u pravilu moraju mirovati relativno dugo vremena tijekom kojeg rješavaju veliki broj jednolikih zadataka koje treba ponavljati kako bi se njima mogli dobiti pouzdani rezultati. Ti su zadatci pritom najčešće vrlo pojednostavljeni i teško usporedivi sa složenim zadatcima s kojima se, u znatno bogatijem fizičkom i socijalnom kontekstu, susrećemo unutar obrazovnog sustava. Stoga kritičari smatraju da neuroznanstvene metode karakterizira pretjerani redukcionizam te da se njima ne može zahvatiti složenost fenomena koji zanimaju obrazovne znanosti (Varma i sur., 2008). Uz to, često se navodi kako odgovori koje nude neuroznanstvene metode nisu primjereni vrstama pitanja koja se postavljaju unutar obrazovanja, primjerice onom o utjecaju socijalnog konteksta na učenje (Varma i sur., 2008; Byrnes i Fox, 1998). Naime, neuroznanstvena istraživanja često za cilj imaju lokalizaciju funkcija, odnosno određivanje dijelova mozga koji se aktiviraju prilikom rješavanja određenih zadataka ili regrutiranja kognitivnih funkcija. Primjerice, ako unutar nekog istraživanja saznamo da se pri računanju matematičkih zadataka aktiviraju dijelovi parijetalnog režnja



velikog mozga, time nismo saznali ništa što bi nastavnici ili drugi sudionici obrazovnog sustava mogli lako iskoristiti. Takva vrsta saznanja dakako ima svoju vrijednost, ali ne nudi odgovore koji se izravno mogu primijeniti u praksi. Štoviše, s obzirom na to da odgovori dobiveni neuroznanstvenim metodama u sebi u pravilu sadrže fizikalne fenomene, neki autori navode kako se oni nikad neće moći iskoristiti za objašnjenje mentalnih i bihevioralnih pojava zbog čega obrazovanje i neuroznanost nikad neće biti međusobno kompatibilni (Varma i sur., 2008).

Unatoč djelomičnoj utemeljenosti navedenih teorijskih prigovora, bitno je naglasiti kako se u novije vrijeme sve više provode sofisticirana neuroznanstvena istraživanja usmjerena ispitivanju obrazovno relevantnih tema, kao što su strategije učenja (Delazer i sur., 2005; Dehaene, Piazza, Pinel i Cohen, 2003), razumijevanje matematičkih pojmova kod djece i odraslih (Dehaene, 1997), individualne razlike u učenju (Maurer i sur., 2007) te vrednovanje programa pomoći učenicima s teškoćama ili adaptivnih tehnologija za pomoć u učenju (Eden i sur., 2004; Brem i sur., 2010). Rezultati ovakvih istraživanja pokazuju da korištenje neuroznanstvenih metoda može rezultirati zaključcima vezanim uz složenu problematiku koja se najčešće susreće u okviru obrazovnih znanosti. Na primjer, zagovornici edukacijske neuroznanosti navode kako čak i sama lokalizacija jezičnih funkcija može pružiti ne samo informaciju o tome koji dijelovi mozga su uključeni u jezične funkcije, već i dati odgovore na složenija pitanja o tome kada i kako je najbolje početi učiti strane jezike. Stoga je moguće očekivati da će u budućnosti edukacijska neuroznanost uspješno odgovoriti na barem neke od teorijskih prigovora koji su joj upućeni.

Kao što je navedeno u *Tablici 1*, osim teorijskih, često se spominju i neki pragmatični prigovori edukacijskoj neuroznanosti. Među njima, najvažniji je prigovor koji se odnosi na čestu zlouporabu neuroznanstvenih saznanja. Naime, mnoge primjene neuroznanstvenih istraživanja započinju primjerenim tumačenjem dobivenih rezultata koje se nerijetko pretvara u neopravdana nagađanja. Primjeri takvih neopravdanih tumačenja, tzv. neuromitova, uključuju široko raširena i neutemeljena uvjerenja o korištenju samo 10 % mozga, kao i pretjerane generalizacije saznanja o lateralizaciji mozga, kritičnim periodima razvoja, Mozart učinku, senzacionalnim rezultatima programa za poboljšanje kognitivnih sposobnosti i mozgovnih funkcija ili višestrukim inteligencijama (Geake, 2008; Waterhouse, 2006; Goswami, 2006). Na primjer, iako se u popularnim medijima često mogu čuti informacije o tome kako ljudi u prosjeku koriste samo 10 % mozga, ta je tvrdnja u potpunosti netočna i ne može se opravdati rezultatima neuroznanstvenih istraživanja. Iako se način aktivacije našeg mozga mijenja s obzirom na iskustvo i vježbu, što upućuje na zaključak da se naš mozak

stalno razvija i da ga možemo naučiti „učinkovitije koristiti“, svatko od nas svakodnevno koristi svih 100 % mozga čiji se različiti dijelovi uključuju u različite zadatke. Dakle, s obzirom na čestu praksu pogrešne interpretacije neuroznanstvenih istraživanja, zaista je važno biti oprezan pri tumačenju i primjeni rezultata dobivenih neuroznanstvenim istraživanjima. Uz to, treba uzeti u obzir da ljudi nerijetko vrlo lako povjeruju neuroznanstvenim objašnjenjima, čak i kad su ona irelevantna ili logički neutemeljena (Weisberg, Keil, Goodstein, Rawson i Gray, 2008). Stoga uvjerljivost ili popularnost takvih istraživanja ne smije biti kriterij za određivanje njihove stvarne vrijednosti unutar obrazovnog konteksta. Unatoč važnosti ovoga prigovora, važno je imati na umu da on ne može opravdati nekorištenje spoznaja edukacijske neuroznanosti, već se treba shvatiti kao dodatno upozorenje o važnosti cjelovitijeg obrazovanja svih koji spoznaje ove discipline koriste u svom radu. Slično treba shvatiti i kritike koje upućuju na činjenicu da su neuroznanstvena istraživanja trenutno teško primjenjiva u praksi jer su principi rada živčanog sustava još uvijek previše nepoznati, a cijena provedbe ovih istraživanja prevelika. Naime, iako opravdani, ovi prigovori ne umanjuju potencijalnu iskoristivost i primjenu neuroznanstvene metodologije za ispitivanje obrazovno relevantnih fenomena. Iako bi takva raširenija primjena ove metodologije u budućnosti mogla donekle ugroziti neovisnost obrazovnih znanosti, što predstavlja dodatnu kritiku ovog područja, nema razloga vjerovati da će se to doista dogoditi jer će svaka disciplina unutar ovog područja zasigurno zadržati svoje posebnosti i prednosti.

Zaključno, iako su do sada upućene brojne kritike području edukacijske neuroznanosti, nerijetko se naglašava kako one zapravo predstavljaju izazove koje ovo područje treba nadići kako bi cjelovitije doprinijelo području obrazovnih znanosti. Taj proces zahtijeva dugoročni i usmjereni dijalog istraživača različitih znanstvenih disciplina, kao i nastavnika i ostalih sudionika obrazovnog sustava.

## **Zaključak**

Često se smatra kako obrazovanje i neuroznanost predstavljaju dva odvojena svijeta. Obrazovni sustav je jako složen, a učenje i poučavanje koje se u njemu događa ovisi o brojnim složenim kontekstualnim činiteljima. Iako takvu složenost pojedinačna neuroznanstvena istraživanja ne mogu obuhvatiti, u posljednjih nekoliko desetljeća ova se istraživanja sve više provode radi ispitivanja obrazovno relevantnih pitanja. Unatoč brojnim kritikama, neuroznanstvena istraživanja uspijevaju u sve većoj mjeri ponuditi saznanja vezana uz bitna pitanja koja uključuju, primjerice, emocionalno funkcioniranje djece, motivaciju ili

utjecaj obrazovnih programa na mozak i kogniciju djece i odraslih. Stoga se u novije vrijeme sve više čuju pozivi na dijalog među istraživačima različitih znanstvenih disciplina, kao i na korištenje različitih znanstvenih pristupa radi razumijevanja pojedinih fenomena. Također, sve se više potiče praktična primjena spoznaja edukacijske neuroznanosti, odnosno organiziranje obrazovne prakse tako da bude utemeljena na znanju o radu živčanog sustava. Iako postaje sve jasnije kako neuroznanstvena istraživanja uistinu mogu informirati obrazovne znanosti, još treba mnogo toga napraviti kako bi se edukacijska neuroznanost dodatno razvila i pokazala svoje komparativne prednosti koje će budući multidisciplinarni pristupi rješavanju relevantnih obrazovnih pitanja znati iskoristiti.

## Literatura

- Ansari, D., i Coch, D. (2006). Bridges over troubled waters: Education and cognitive neuroscience. *Trends in Cognitive Sciences*, 10(4), 146–151.
- Ansari, D., i Karmiloff-Smith, A. (2002). Atypical trajectories of number development: A neuroconstructivist perspective. *Trends in Cognitive Sciences*, 6(12), 511–516.
- Barnett J. H., i Sahakian B. J. (2010). Cognitive reserve and mental capital. U Cooper, G.L., Field, J., Goswami, U., Jenkins, R., i Sahakian, B.J. (Ur.). *Mental capital and wellbeing*. Wiley-Blackwell: London.
- Berliner, D. C. (2002). Comment: Educational research: The hardest science of all. *Educational Researcher*, 31(8), 18–20.
- Blakemore, S. J., i Frith, U. (2005). The learning brain: Lessons for education: A précis. *Developmental Science*, 8(6), 459-465.
- Bostrom, N., i Sandberg, A. (2009). Cognitive enhancement: Methods, ethics, regulatory challenges. *Science and Engineering Ethics*, 15(3), 311–341.
- Bowyer-Crane, C., Snowling, M. J., Duff, F. J., Fieldsend, E., Carroll, J. M., Miles, J., i sur. (2008). Improving early language and literacy skills: Differential effects of an oral language versus a phonology with reading intervention. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 49(4), 422–432.
- Brem, S., Bach, S., Kucian, K., Guttorm, T. K., Martin, E., Lyytinen, H., i sur. (2010). Brain sensitivity to print emerges when children learn letter–speech sound correspondences. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(17), 7939–7944.
- Bruer, J. T. (1997). Education and the brain: A bridge too far. *Educational Researcher*, 26(8), 4–16.

- Byrnes, J. P., i Fox, N. A. (1998). The educational relevance of research in cognitive neuroscience. *Educational Psychology Review*, 10(3), 297–342.
- Dehaene, S. (1997). *The number sense: How the mind creates mathematics*. Oxford University Press.
- Dehaene, S., Piazza, M., Pinel, P., i Cohen, L. (2003). Three parietal circuits for number processing. *Cognitive Neuropsychology*, 20(3-6), 487–506.
- Delazer, M., Domahs, F., Bartha, L., Brenneis, C., Lochy, A., Trieb, T., i Benke, T. (2003). Learning complex arithmetic—An fMRI study. *Cognitive Brain Research*, 18(1), 76–88.
- Delazer, M., Ischebeck, A., Domahs, F., Zamarian, L., Koppelstaetter, F., Siedentopf, C. M., i sur. (2005). Learning by strategies and learning by drill—Evidence from an fMRI study. *Neuroimage*, 25(3), 838–849.
- Draganski, B., Gaser, C., Busch, V., Schuierer, G., Bogdahn, U., i May, A. (2004). Neuroplasticity: Changes in grey matter induced by training. *Nature*, 427(6972), 311–312.
- Dunbar, K., Fugelsang, J., i Stein, C. (2007). Do naïve theories ever go away? U M. Lovett, i P. Shah (Ur.). *Thinking with Data: 33rd Carnegie Symposium on Cognition*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Eden, G. F., Jones, K. M., Cappell, K., Gareau, L., Wood, F. B., Zeffiro, T. A., i sur. (2004). Neural changes following remediation in adult developmental dyslexia. *Neuron*, 44(3), 411–422.
- Fidler, D. J., i Nadel, L. (2007). Education and children with Down syndrome: Neuroscience, development, and intervention. *Mental Retardation and Developmental Disabilities Research Reviews*, 13(3), 262–271.
- Fletcher, P. C., Stephenson, C. M., Carpenter, T. A., Donovan, T., i Bullmore, E. T. (2003). Regional brain activations predicting subsequent memory success: An event-related fMRI study of the influence of encoding tasks. *Cortex*, 39(4), 1009–1026.
- Friedman, D., Cycowicz, Y. M., i Gaeta, H. (2001). The novelty P3: An event-related brain potential (ERP) sign of the brain's evaluation of novelty. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 25(4), 355–373.
- Fugelsang, J. A., i Dunbar, K. N. (2005). Brain-based mechanisms underlying complex causal thinking. *Neuropsychologia*, 43(8), 1204–1213.
- Gaser, C., i Schlaug, G. (2003). Brain structures differ between musicians and non-musicians. *The Journal of Neuroscience*, 23(27), 9240–9245.
- Geake, J. (2008). Neuromythologies in education. *Educational Research*, 50(2), 123–133.

- Geake, J., i Cooper, P. (2003). Cognitive Neuroscience: Implications for education? *Westminster Studies in Education*, 26(1), 7–20.
- Goswami, U. (2006). Neuroscience and education: From research to practice? *Nature Reviews Neuroscience*, 7(5), 406–413.
- Goswami, U. (2008). Reading, dyslexia and the brain. *Educational Research*, 50(2), 135-148.
- Hernandez, A. E., i Li, P. (2007). Age of acquisition: Its neural and computational mechanisms. *Psychological Bulletin*, 133(4), 638–650.
- Hinton, C., Miyamoto, K., i Della-Chiesa, B. (2008). Brain research, learning and emotions: Implications for education research, policy and practice. *European Journal of Education*, 43(1), 87–103.
- Howard-Jones, P. A. (2008). Education and neuroscience. *Educational Research*, 50(2), 119-122.
- Johnson, J. S., i Newport, E. L. (1989). Critical period effects in second language learning: The influence of maturational state on the acquisition of English as a second language. *Cognitive Psychology*, 21(1), 60–99.
- Lövdén, M., Bäckman, L., Lindenberger, U., Schaefer, S., i Schmiedek, F. (2010). A theoretical framework for the study of adult cognitive plasticity. *Psychological Bulletin*, 136(4), 659–676.
- Maurer, U., Brem, S., Bucher, K., Kranz, F., Benz, R., Steinhausen, H.-C., i Brandeis, D. (2007). Impaired tuning of a fast occipito-temporal response for print in dyslexic children learning to read. *Brain*, 130(12), 3200–3210.
- Olson, D. R. (2004). The triumph of hope over experience in the search for “what works”: A response to Slavin. *Educational Researcher*, 33(1), 24–26.
- Reed, J. A., Einstein, G., Hahn, E., Hooker, S. P., Gross, V. P., i Kravitz, J. (2010). Examining the impact of integrating physical activity on fluid intelligence and academic performance in an elementary school setting: a preliminary investigation. *Journal of Physical Activity & Health*, 7(3), 343-351.
- Slavin, R. E. (2002). Evidence-based education policies: Transforming educational practice and research. *Educational Researcher*, 31(7), 15–21.
- Sternberg, R. (2005). *Kognitivna psihologija*. Jastrebarsko: Naklada Slap.
- Tang, Y., Zhang, W., Chen, K., Feng, S., Ji, Y., Shen, J., i sur. (2006). Arithmetic processing in the brain shaped by cultures. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(28), 10775–10780.

- Varma, S., McCandliss, B. D., i Schwartz, D. L. (2008). Scientific and pragmatic challenges for bridging education and neuroscience. *Educational Researcher*, 37(3), 140–152.
- Waterhouse, L. (2006). Multiple intelligences, the Mozart effect, and emotional intelligence: A critical review. *Educational Psychologist*, 41(4), 207–225.
- Weisberg, D. S., Keil, F. C., Goodstein, J., Rawson, E., i Gray, J. R. (2008). The seductive allure of neuroscience explanations. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(3), 470–477.
- Wittrock, M. C. (1980). Learning and the brain. U Wittrock, M. C. (Ur.) *The Brain and Psychology* (str. 371–403). New York: Academic Press.

## **Sažetak**

Edukacijska neuroznanost predstavlja interdisciplinarno znanstveno područje koja ujedinjuje područja neuroznanosti i obrazovnih znanosti. Istraživanja edukacijske neuroznanosti usmjerena su na ispitivanje neuralnih osnova kognitivnih procesa i fenomena relevantnih za obrazovanje, primjerice učenja, pamćenja, emocija, motivacije, teškoća u učenju i slično, neuroznanstvenim metodama poput funkcijske magnetske rezonancije ili elektroencefalografije. Ovo je područje do sada bilo izloženo brojnim kritikama koje se odnose na moguću neprimjerenost neuroznanstvenih metoda za ispitivanje pojava relevantnih za složeni obrazovni kontekst i poteškoće u izravnoj primjeni spoznaja neuroznanstvenih istraživanja u praksi. Međutim, edukacijska neuroznanost sve se više razvija, a istraživanja koja se provode u ovom području postaju sve složenija i usmjerenija na fenomene koji u obzir uzimaju kompleksnost obrazovnog procesa i sustava u kojem se taj proces događa. Stoga možemo očekivati da će se u narednim desetljećima ovo područje sve više razvijati, a prikupljene spoznaje sve više primjenjivati u praksi.

**Ključne riječi:** edukacijska neuroznanost, neuroznanost, obrazovne znanosti, poučavanje, učenje.

## **Summary**

Educational neuroscience represents an interdisciplinary scientific field that unites neurosciences and educational sciences. Studies within educational neuroscience investigate neural foundations of cognitive processes and educationally relevant phenomena such as learning, memory, emotion, motivation, learning difficulties, etc., using neuroscientific methods such as functional magnetic resonance or electroencephalography. Educational neuroscience has often been criticized, mostly because of the suggested inadequacy of neuroscientific methods for addressing the educationally relevant phenomena. However, this field is constantly developing and the conducted studies are becoming more sophisticated and focused on phenomena that take into account the complexity of the educational process and the system within which they occur. Therefore, it may be assumed that educational neuroscience will continue to develop even further, and that its findings will become more widely applied within the educational system.

**Keywords:** educational neuroscience, educational sciences, learning, neuroscience, teaching.