

# MOZAK I UM: OD ELEKTRIČNIH POTENCIJALA DO SVJESNOG BIĆA

This manuscript ([permalink](#)) was automatically generated from [fpehar/manupsy@8cba25c](#) on December 5, 2019.

## Authors

- **John Doe**

 [XXXX-XXXX-XXXX-XXXX](#) ·  [johndoe](#) ·  [johndoe](#)

Department of Something, University of Whatever · Funded by Grant XXXXXXXX

- **Jane Roe**

 [XXXX-XXXX-XXXX-XXXX](#) ·  [janeroe](#)

Department of Something, University of Whatever; Department of Whatever, University of Something

## Predgovor

U trenutku pisanja ovog predgovora početak je 2019. godine i prošla su dva desetljeća od završetka *desetljeća mozga*, a istraživanja u neuroznanosti sve su zanimljivija. Primjerice, Nobelova nagrada iz fiziologije i medicine za 2014. godinu dodijeljena je za neuroznanstveno *otkriće stanica u mozgu koje sačinjavaju sustav pozicioniranja*. Nagradu su podijelili znanstvenici John O'Keefe, May-Britt Moser i Edvard I. Moser. Postoje i brojne druge spoznaje do kojih se došlo u dvijetisućitima. Primjerice, otkriće zrcalnih neurona s kraja prošlog stoljeća intenziviralo je daljnja istraživanja i razumijevanje njihove uloge u ovom stoljeću. Može se reći da su teme o mozgu doista neiscrpne. Istraživanja razlika muškog i ženskog mozga još su uvijek aktualna, s tim da novija istraživanja potvrđuju da su razlike među spolovima manje nego što se nekad mislilo. U fokusu su znanstvenih istraživanja i pitanja kako se motivacija manifestira na neuronskoj razini, tj. u snazi sinaptičkih veza među neuronima. Prisutnost alfa-valova tijekom meditiranja se, prema rezultatima recentnijih istraživanja, povezuje s mentalnom dobrobiti. Konkretnije, povećanje udjela alfa-valova povezano je s kreativnim mišljenjem i reduciranjem depresije. Fizička aktivnost također je povezana s funkcioniranjem mozga. Točnije, poboljšanja su vidljiva u samom zdravlju mozga, ali i u povećanoj kognitivnoj fleksibilnosti kod starijih osoba zbog bolje integracije bijele tvari, odnosno neuronskih vlakana. Većina navedenih spoznaja iznimno je važna u neuroznanosti i medicini, ali i u drugim područjima, primjerice u psihologiji, pedagogiji, filozofiji i kognitivnim znanostima općenito. Istraživanja mozga toliko su uznapredovala da danas nema ni jedne teme u suvremenoj psihologiji o kojoj se ne bi mogla pronaći barem djelomična neuronska osnova koja daje suvisla i detaljna objašnjenja za opisane psihološke fenomene. Stoga je danas više nego prije potrebno da suvremeni studiji psihologije integriraju spoznaje iz područja neuroznanosti u većinu kolegija. Isto bi se moglo preporučiti i drugim društvenim i humanističkim studijima poput filozofije, sociologije i pedagogije. U stjecanju znanja za studente psihologije više nije dovoljno da na samom početku studija dobiju uvid u osnovne spoznaje o građi i funkcijama živčanog sustava unutar kolegija koji se nekad zvao fiziološka psihologija (danas biološka psihologija) te da se nakon toga u ponekim kolegijima tijekom daljnjeg studiranja doziva takvo znanje. Spoznaje iz psihologije danas bi se ipak trebale proučavati višerazinski, kako na razini opažljivih fenomena u doživljavanju i ponašanju tako i na razni funkcioniranja živčanog sustava. Razvoj psihologije i neuroznanosti u budućnosti će se sve više preklapati, a navedeno se odnosi ne samo na bazičnu psihologijsku znanost unutar koje je takva integracija uspostavljena već i na primijenjenu psihologiju. Kako bi se nastavnici i studenti na studiju psihologije, ali i na drugim već spomenutim studijima, uhvatili u koštac s takvim izazovima, na raspolaganju su im brojni udžbenici iz osnova neuroznanosti od kojih su mnogi izvrsni. Svakom studentu psihologije preporučili bismo da što prije pročita barem jedan od takvih udžbenika u cjelini. Međutim, suvremeni trendovi optimizacije nastavnog procesa ograničavaju maksimalnu količinu gradiva na svakom kolegiju, što u konačnici može dovesti do

problema s upotrebom jako detaljnih udžbenika. Mnogi od udžbenika iz neuroznanosti preglomazni su i predetaljni i kao takvi više su namijenjeni studentima medicine i neuroznanosti nego studentima psihologije. Naime, takvi udžbenici pokrivaju gotovo sve teme koje se tiču mozga, a za određeni kolegij u studiju psihologije bitno je tek nekoliko tema. Takva razina detaljnosti može biti za studenta demotivirajuća i stoga se javila ideja o izboru odabranih tema iz neuroznanosti koje su korisne i zanimljive studentima psihologije, a vjerojatno i drugim studentima iz područja društvenih znanosti i humanistike. Cilj nam je stoga bio prikazati odabir istaknutih tema koje se danas izučavaju u psihologiji i neuroznanosti s naglaskom na rezultate novijih istraživanja, od kojih jedan dio proizlazi i iz primjene suvremenih tehnika oslikavanja mozga. Knjigu čini deset poglavlja. Prvo poglavlje bavi se živčanim sustavom, funkcijama različitih područja središnjeg živčanog sustava i obogaćeno je prikazima poznatih studija slučajeva ljudi s različitim oštećenjima mozga. U drugom poglavlju prikazana je elektroencefalografija kao jedna od najčešće korištenih metoda u proučavanju mozgovnih procesa. Treće poglavlje bavi se evolucijom mozga. U tom poglavlju čitatelj će se susresti s odgovorima na pitanje smanjuje li se mozak modernog čovjeka i koji bi mogli biti razlozi tomu. Četvrto poglavlje bavi se jednim od najtvrdokornijih neuromitova, mitom o 10 % iskorištenog mozga. Čitatelj ima priliku doznati kako je nastao mit, zašto ljudi vjeruju u psihološke i neuromitove općenito kao i specifično u ovaj mit. U poglavlju su također detaljno izloženi argumenti koji ga pobijaju. Vid je najvažnije ljudsko osjetilo i oko 80 % naših svakodnevnih aktivnosti posredovano je upravo njime. Peto poglavlje donosi informacije kako funkcionira prostorni vid, koji su drugi zadatci vidnog sustava te u kojim se sve područjima mozga obrađuju vidne informacije. Šesto poglavlje uvodi čitatelja u područja mozga koja sudjeluju u deklarativnom pamćenju, prikazuje studija slučajeva te suvremena istraživanja pamćenja koja se temelje na tehnikama vizualizacije ljudskog mozga. Sedmo poglavlje bavi se jezikom, dijelovima mozga koji procesiraju jezičnu informaciju, afazijama, načinima ispitivanja lokalizacije jezičnih funkcija te kako učenje stranog jezika utječe na mozgovne strukture. Osmo poglavlje bavi se fenomenom svijesti. Čitatelju pruža uvid u načine istraživanja svijesti, njezina opća obilježja i neuronske korelate. Deveto poglavlje posvećeno je mozgovnim procesima, hormonima i neuroprijenosnicima koji su uključeni u različite aspekte ljudske seksualnosti. To poglavlje pruža uvid u suvremena istraživanja neurokemijskih procesa koji se događaju u različitim stadijima romantične ljubavi: stadij požude i privlačnosti, stadij zaljubljenosti, stadij privrženosti i stadij prekida ljubavnog odnosa. Deseto poglavlje daje pregled istraživanja iz područja političke neuroznanosti. Radi se o mladoj znanstvenoj disciplini koja posljednjih desetak godina učvršćuje svoju poziciju u znanosti.

Knjiga je zamišljena kao dodatni udžbenik za veći broj kolegija na studiju psihologije. Kao takva trebala bi proširiti znanja studenata u odnosu na bazične teme koje su pokrivene temeljnim udžbenicima koji su zadani kao obvezna literatura unutar nekog kolegija. Knjiga koja se ispred vas nalazi trebala bi omogućiti kvalitetniju integraciju znanja te potaknuti studenta na daljnje istraživanje teme u sklopu seminarskih obaveza ili vlastitom unutarnjom motivacijom za stjecanjem znanja. Među predloženim kolegijima na studiju psihologije ovu knjigu preporučujemo kao dodatnu literaturu za sljedeće kolegije: Biološka psihologija, Psihologijska metodologija, Osjeti i percepcija, Kognitivna psihologija, Psihologija pamćenja, Psihologija učenja, Psihologija mišljenja, Psihologija jezika, Ličnost, Psihologija seksualnosti, Socijalna psihologija, Mjerne tehnike u psihofiziologiji, Klinička psihologija, Razvojna psihologija. Izbor tema za ovu knjigu došao je direktno iz psihologijske predavačke struke. Praktički svi suradnici, odnosno autori pojedinih poglavlja, sveučilišni su profesori, nastavnici i predavači za razne psihologijske kolegije i svaki od njih se u svojim predavanjima stalno ili barem povremeno dotiče neuroznanstvenih tema. Dakako, izbor naših tema nije potpun, niti može biti, s obzirom na iznimno velik broj neuropsiholoških tema. Odabrane teme svakako su među istaknutijima ako se kao kriterijem poslužimo iskustvom i odabirom stručnjaka u specifičnim kolegijima.

Zahvaljujemo našim kolegama, autorima poglavlja na odabiru relevantnih tema i vrlo uspješnoj suradnji u svakoj fazi našeg zajedničkog rada. Također zahvaljujemo i našim kolegama recenzentima dr. sc. Draženu Domijanu, dr. sc. Ani Slišković i dr. sc. Ivani Hromatko na vrlo korisnim sugestijama i prijedlozima koji su utkani u sadržaj knjige. Toplo zahvaljujemo Tomislavu Grzunovu, diplomiranom

restauratoru – konzervatoru na ilustracijama živčanog sustava i izradi naslovne stranice. Značajnu zahvalu dugujemo i lektorici Editi Medić, prof.

- Studij psihologije (prema kolegijima):
- Biološka psihologija: cijela knjiga
- Osnove kognitivne neuroznanosti: cijela knjiga
- Kognitivna psihologija: poglavlja 2, 4, 5, 6, 7, 8
- Osjeti i percepcija: poglavlja 2 i 5
- Socijalna psihologija: poglavlja 3, 7, 8, 9, 10
- Edukacijska psihologija: poglavlja 4, 6, 7, 8
- Psihologijska metodologija: poglavlja 2, 4, 5, 7, 8
- Studij sociologije: poglavlja 1, 3, 7, 8, 9, 10
- Studij pedagogije: poglavlja 1, 2, 4, 6, 7, 8
- Studij lingvistike: poglavlja 1, 2, 3, 6, 7, 8, 10
- Studij informacijskih znanosti: poglavlja 1, 2, 3, 5, 6, 7
- Studij filozofije: poglavlja 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10.

Konačno, željeli bismo napomenuti da se uredništvo, iako je tražilo od autora da udovolje udžbeničkim zahtjevima, također zauzelo za relativno prohodan stil pisanja. Korištena literatura navedena je u popisu referenci u skladu s APA-inim standardima, dok u samom tekstu nije primijenjen ovaj način citiranja koji je inače uobičajen u znanstvenim člancima. Time je prosječnom čitatelju olakšan kontinuitet čitanja. Također je od autora zatraženo da svoja poglavlja obogate adekvatnim primjerima i anegdotama i time ih učine manje suhoparnim. U komunikaciji s autorima, kao i vlastitim intervencijama u tekst, uredništvo je nastojalo pronaći ravnotežu u poglavljima, i to u gustoći iznesenih spoznaja i detalja, kao i usklađivanju općeg tona knjige. Pritom se ipak pazilo da svako poglavlje zadrži i dio osobnosti i stila pisanja svojeg autora. Na taj način dobili smo ujednačeni niz uzbudljivih priča o mozgu u kojem svaka epizoda o mozgu ima svojeg specifičnog pripovjedača. Nadamo se da smo tekst uspjeli učiniti zanimljivijim i prohodnijim, ne samo studentima psihologije već i širem zainteresiranom čitateljstvu. Vjerujemo da će knjiga ovakvog formata biti interesantna kako studentima drugih društvenih i humanističkih studija tako i širem čitateljstvu koje osjeća uzbuđenje svaki put kad čuje dobru znanstvenu priču. Također se nadamo da smo fleksibilnošću i prohodnošću uspjeli složiti knjigu koja se može čitati i kao popularno-znanstveni tekst. Za nas urednike i autore ove publikacije veliki uspjeh i osobno zadovoljstvo bilo bi ako bi naša knjiga privukla pažnju srednjoškolaca te ih zainteresirala za znanstvenu psihologiju i neuroznanost općenito. Mozak je mnogima od nas, a i nama samima, još uvijek velika nepoznanica. Nevjerojatne i nove spoznaje o načinu njegova funkcioniranja gotovo se svakodnevno otkrivaju. Vrijeme je da uskočimo na neurovlak i da se bolje upoznamo s mozgom i pričama koje ovaj najkompleksniji organ priča o sebi.

Urednici

Nataša Šimić, Pavle Valerjev i Matilda Nikolić Ivanišević

Zadar, veljača 2019.

## Predgovor

U trenutku pisanja ovog predgovora početak je 2019. godine i prošla su dva desetljeća od završetka *desetljeća mozga*, a istraživanja u neuroznanosti sve su zanimljivija. Primjerice, Nobelova nagrada iz fiziologije i medicine za 2014. godinu dodijeljena je za neuroznanstveno *otkriće stanica u mozgu koje sačinjavaju sustav pozicioniranja*. Nagradu su podijelili znanstvenici John O'Keefe, May-Britt Moser i Edvard I. Moser. Postoje i brojne druge spoznaje do kojih se došlo u dvijetisućitima. Primjerice, otkriće zrcalnih neurona s kraja prošlog stoljeća intenziviralo je daljnja istraživanja i razumijevanje njihove uloge u ovom stoljeću. Može se reći da su teme o mozgu doista neiscrpne. Istraživanja razlika muškog i ženskog mozga još su uvijek aktualna, s tim da novija istraživanja potvrđuju da su razlike među spolovima manje nego što se nekad mislilo. U fokusu su znanstvenih istraživanja i pitanja kako se motivacija manifestira na neuronskoj razini, tj. u snazi sinaptičkih veza među neuronima. Prisutnost alfa-valova tijekom meditiranja se, prema rezultatima recentnijih istraživanja, povezuje s mentalnom dobrobiti. Konkretnije, povećanje udjela alfa-valova povezano je s kreativnim mišljenjem i reduciranjem depresije. Fizička aktivnost također je povezana s funkcioniranjem mozga. Točnije, poboljšanja su vidljiva u samom zdravlju mozga, ali i u povećanoj kognitivnoj fleksibilnosti kod starijih osoba zbog bolje integracije bijele tvari, odnosno neuronskih vlakana. Većina navedenih spoznaja iznimno je važna u neuroznanosti i medicini, ali i u drugim područjima, primjerice u psihologiji, pedagogiji, filozofiji i kognitivnim znanostima općenito. Istraživanja mozga toliko su uznapredovala da danas nema ni jedne teme u suvremenoj psihologiji o kojoj se ne bi mogla pronaći barem djelomična neuronska osnova koja daje suvisla i detaljna objašnjenja za opisane psihološke fenomene. Stoga je danas više nego prije potrebno da suvremeni studiji psihologije integriraju spoznaje iz područja neuroznanosti u većinu kolegija. Isto bi se moglo preporučiti i drugim društvenim i humanističkim studijima poput filozofije, sociologije i pedagogije. U stjecanju znanja za studente psihologije više nije dovoljno da na samom početku studija dobiju uvid u osnovne spoznaje o građi i funkcijama živčanog sustava unutar kolegija koji se nekad zvao fiziološka psihologija (danas biološka psihologija) te da se nakon toga u ponekim kolegijima tijekom daljnjeg studiranja doziva takvo znanje. Spoznaje iz psihologije danas bi se ipak trebale proučavati višerazinski, kako na razini opažljivih fenomena u doživljavanju i ponašanju tako i na razni funkcioniranja živčanog sustava. Razvoj psihologije i neuroznanosti u budućnosti će se sve više preklapati, a navedeno se odnosi ne samo na bazičnu psihologijsku znanost unutar koje je takva integracija uspostavljena već i na primijenjenu psihologiju. Kako bi se nastavnici i studenti na studiju psihologije, ali i na drugim već spomenutim studijima, uhvatili u koštac s takvim izazovima, na raspolaganju su im brojni udžbenici iz osnova neuroznanosti od kojih su mnogi izvrsni. Svakom studentu psihologije preporučili bismo da što prije pročita barem jedan od takvih udžbenika u cjelini. Međutim, suvremeni trendovi optimizacije nastavnog procesa ograničavaju maksimalnu količinu gradiva na svakom kolegiju, što u konačnici može dovesti do problema s upotrebom jako detaljnih udžbenika. Mnogi od udžbenika iz neuroznanosti preglomazni su i predetaljni i kao takvi više su namijenjeni studentima medicine i neuroznanosti nego studentima psihologije. Naime, takvi udžbenici pokrivaju gotovo sve teme koje se tiču mozga, a za određeni kolegij u studiju psihologije bitno je tek nekoliko tema. Takva razina detaljnosti može biti za studenta demotivirajuća i stoga se javila ideja o izboru odabranih tema iz neuroznanosti koje su korisne i zanimljive studentima psihologije, a vjerojatno i drugim studentima iz područja društvenih znanosti i humanistike. Cilj nam je stoga bio prikazati odabir istaknutih tema koje se danas izučavaju u psihologiji i neuroznanosti s naglaskom na rezultate novijih istraživanja, od kojih jedan dio proizlazi i iz primjene suvremenih tehnika oslikavanja mozga. Knjigu čini deset poglavlja. Prvo poglavlje bavi se živčanim sustavom, funkcijama različitih područja središnjeg živčanog sustava i obogaćeno je prikazima poznatih studija slučajeva ljudi s različitim oštećenjima mozga. U drugom poglavlju prikazana je elektroencefalografija kao jedna od najčešće korištenih metoda u proučavanju mozgovnih procesa. Treće poglavlje bavi se evolucijom mozga. U tom poglavlju čitatelj će se susresti s odgovorima na pitanje smanjuje li se mozak modernog čovjeka i koji bi mogli biti razlozi tomu. Četvrto poglavlje bavi se jednim od najtvrdokornijih neuromitova, mitom o 10 % iskorištenog mozga. Čitatelj

ima priliku doznati kako je nastao mit, zašto ljudi vjeruju u psihološke i neuromitove općenito kao i specifično u ovaj mit. U poglavlju su također detaljno izloženi argumenti koji ga pobijaju. Vid je najvažnije ljudsko osjetilo i oko 80 % naših svakodnevnih aktivnosti posredovano je upravo njime. Peto poglavlje donosi informacije kako funkcionira prostorni vid, koji su drugi zadatci vidnog sustava te u kojim se sve područjima mozga obrađuju vidne informacije. Šesto poglavlje uvodi čitatelja u područja mozga koja sudjeluju u deklarativnom pamćenju, prikazuje studija slučajeva te suvremena istraživanja pamćenja koja se temelje na tehnikama vizualizacije ljudskog mozga. Sedmo poglavlje bavi se jezikom, dijelovima mozga koji procesiraju jezičnu informaciju, afazijama, načinima ispitivanja lokalizacije jezičnih funkcija te kako učenje stranog jezika utječe na mozgovne strukture. Osmo poglavlje bavi se fenomenom svijesti. Čitatelju pruža uvid u načine istraživanja svijesti, njezina opća obilježja i neuronske korelate. Deveto poglavlje posvećeno je mozgovnim procesima, hormonima i neuroprijenosnicima koji su uključeni u različite aspekte ljudske seksualnosti. To poglavlje pruža uvid u suvremena istraživanja neurokemijskih procesa koji se događaju u različitim stadijima romantične ljubavi: stadij požude i privlačnosti, stadij zaljubljenosti, stadij privrženosti i stadij prekida ljubavnog odnosa. Deseto poglavlje daje pregled istraživanja iz područja političke neuroznanosti. Radi se o mladoj znanstvenoj disciplini koja posljednjih desetak godina učvršćuje svoju poziciju u znanosti.

Knjiga je zamišljena kao dodatni udžbenik za veći broj kolegija na studiju psihologije. Kao takva trebala bi proširiti znanja studenata u odnosu na bazične teme koje su pokrivene temeljnim udžbenicima koji su zadani kao obvezna literatura unutar nekog kolegija. Knjiga koja se ispred vas nalazi trebala bi omogućiti kvalitetniju integraciju znanja te potaknuti studenta na daljnje istraživanje teme u sklopu seminarskih obaveza ili vlastitom unutarnjom motivacijom za stjecanjem znanja. Među predloženim kolegijima na studiju psihologije ovu knjigu preporučujemo kao dodatnu literaturu za sljedeće kolegije: Biološka psihologija, Psihologijska metodologija, Osjeti i percepcija, Kognitivna psihologija, Psihologija pamćenja, Psihologija učenja, Psihologija mišljenja, Psihologija jezika, Ličnost, Psihologija seksualnosti, Socijalna psihologija, Mjerne tehnike u psihofiziologiji, Klinička psihologija, Razvojna psihologija. Izbor tema za ovu knjigu došao je direktno iz psihologijske predavačke struke. Praktički svi suradnici, odnosno autori pojedinih poglavlja, sveučilišni su profesori, nastavnici i predavači za razne psihologijske kolegije i svaki od njih se u svojim predavanjima stalno ili barem povremeno dotiče neuroznanstvenih tema. Dakako, izbor naših tema nije potpun, niti može biti, s obzirom na iznimno velik broj neuropsiholoških tema. Odabrane teme svakako su među istaknutijima ako se kao kriterijem poslužimo iskustvom i odabirom stručnjaka u specifičnim kolegijima.

Zahvaljujemo našim kolegama, autorima poglavlja na odabiru relevantnih tema i vrlo uspješnoj suradnji u svakoj fazi našeg zajedničkog rada. Također zahvaljujemo i našim kolegama recenzentima dr. sc. Draženu Domijanu, dr. sc. Ani Slišković i dr. sc. Ivani Hromatko na vrlo korisnim sugestijama i prijedlozima koji su utkani u sadržaj knjige. Toplo zahvaljujemo Tomislavu Grzunovu, diplomiranom restauratoru – konzervatoru na ilustracijama živčanog sustava i izradi naslovne stranice. Značajnu zahvalu dugujemo i lektorici Editi Medić, prof.

Knjiga je vrlo pažljivo i suvremeno didaktički opremljena. Svako poglavlje započinje popisom glavnih tema koje će biti objašnjene te sadrži originalne ilustracije koje olakšavaju praćenje teksta. Završetak svakog poglavlja donosi numerirani popis najvažnijih zaključaka, popis pitanja za vježbu i ponavljanje i preporučenu literaturu za proširivanje znanja. Potom slijedi popis definicija važnih pojmova iz poglavlja i popis korištene literature. Poglavlja su povezana i integrirana međusobno tako da knjiga čini jednu cjelinu, ali dopušta čitatelju i vrlo fleksibilan pristup. Može se čitati kao cjelovita knjiga, od korica do korica, a s druge je strane moguće čitati samo odabrana poglavlja prema potrebama kolegija ili prema želji samog čitatelja. U sljedećim redcima donosimo prijedloge naših poglavlja za pojedine kolegije na studiju psihologije te na drugim studijima uključujući studij sociologije, pedagogije, lingvistike, filozofije i informacijskih znanosti.

Studij psihologije (prema kolegijima):

- Biološka psihologija: cijela knjiga
- Osnove kognitivne neuroznanosti: cijela knjiga
- Kognitivna psihologija: poglavlja 2, 4, 5, 6, 7, 8
- Osjeti i percepcija: poglavlja 2 i 5
- Socijalna psihologija: poglavlja 3, 7, 8, 9, 10
- Edukacijska psihologija: poglavlja 4, 6, 7, 8
- Psihologijska metodologija: poglavlja 2, 4, 5, 7, 8

Studij sociologije: poglavlja 1, 3, 7, 8, 9, 10

Studij pedagogije: poglavlja 1, 2, 4, 6, 7, 8

Studij lingvistike: poglavlja 1, 2, 3, 6, 7, 8, 10

Studij informacijskih znanosti: poglavlja 1, 2, 3, 5, 6, 7

Studij filozofije: poglavlja 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10.

Konačno, željeli bismo napomenuti da se uredništvo, iako je tražilo od autora da udovolje udžbeničkim zahtjevima, također zauzelo za relativno prohodan stil pisanja. Korištena literatura navedena je u popisu referenci u skladu s APA-inim standardima, dok u samom tekstu nije primijenjen ovaj način citiranja koji je inače uobičajen u znanstvenim člancima. Time je prosječnom čitatelju olakšan kontinuitet čitanja. Također je od autora zatraženo da svoja poglavlja obogate adekvatnim primjerima i anegdotama i time ih učine manje suhoparnim. U komunikaciji s autorima, kao i vlastitim intervencijama u tekst, uredništvo je nastojalo pronaći ravnotežu u poglavljima, i to u gustoći iznesenih spoznaja i detalja, kao i usklađivanju općeg tona knjige. Pritom se ipak pazilo da svako poglavlje zadrži i dio osobnosti i stila pisanja svojeg autora. Na taj način dobili smo ujednačeni niz uzbudljivih priča o mozgu u kojem svaka epizoda o mozgu ima svojeg specifičnog pripovjedača. Nadamo se da smo tekst uspjeli učiniti zanimljivijim i prohodnijim, ne samo studentima psihologije već i širem zainteresiranom čitateljstvu. Vjerujemo da će knjiga ovakvog formata biti interesantna kako studentima drugih društvenih i humanističkih studija tako i širem čitateljstvu koje osjeća uzbuđenje svaki put kad čuje dobru znanstvenu priču. Također se nadamo da smo fleksibilnošću i prohodnošću uspjeli složiti knjigu koja se može čitati i kao popularno-znanstveni tekst. Za nas urednike i autore ove publikacije veliki uspjeh i osobno zadovoljstvo bilo bi ako bi naša knjiga privukla pažnju srednjoškolaca te ih zainteresirala za znanstvenu psihologiju i neuroznanost općenito. Mozak je mnogima od nas, a i nama samima, još uvijek velika nepoznanica. Nevjerojatne i nove spoznaje o načinu njegova funkcioniranja gotovo se svakodnevno otkrivaju. Vrijeme je da uskočimo na neurovlak i da se bolje upoznamo s mozgom i pričama koje ovaj najkompleksniji organ priča o sebi.

Urednici

Nataša Šimić, Pavle Valerjev i Matilda Nikolić Ivanišević

Zadar, veljača 2019.

### 3. EVOLUCIJA MOZGA

U ovom poglavlju naučit ćemo:

- o evoluciji živih bića
- o evoluciji mozga hominida
- o usporedbi mozga čovjeka i drugih vrsta kralježnjaka\*\*
- o veličini mozga modernog čovjeka

Ništa u biologiji nema smisla, osim u svjetlu evolucije.

Theodosius Dobzhansky

Evolucijski biolog Dobzhansky bio je u pravu – biologiju čovjeka i funkcioniranje mozga uistinu ćemo lakše objasniti i razumjeti ako znamo kako su i zašto nastali i evoluirali.

Prije nego što krenemo, provjerite svoje znanje o evoluciji mozga. Što mislite, jesu li dolje navedene tvrdnje točne ili netočne?\*\*

- Čovjek je nastao od majmuna.
- Čovjek ima veći mozak od svih ostalih životinja.
- Evolucija se može prikazati kao jedinstvena linija.
- Današnji čovjek ima veći mozak nego što su imali neandertalci.
- Mozak današnjih ljudi još uvijek raste.

Sve su ove tvrdnje netočne, a u ostatku ovog poglavlja možete saznati zašto. Pa krenimo.

## Kako funkcionira evolucija?

**Evolucija** živih bića proces je tijekom kojeg se događaju postepene promjene. Kada se govori o evolucijskim promjenama, misli se na promjene u genima koji se prenose iz generacije u generaciju. Iako se na evoluciju u većini slučajeva gleda kao na polagani i dugotrajni proces, neke promjene mogu nastati jako brzo. Slučaj ovnova s velikim rogovima u Kanadi dobar je primjer tih brzih promjena i načina na koji evolucija funkcionira. Naime, u jednom području u Kanadi veliki uvijeni rogovi ovnova predstavljaju prestižan trofej lokalnim lovcima. Legalni lov takvih ovnova doveo je do smanjenja veličine rogova za čak 25 % u posljednjih 30 godina. Što se dogodilo? S obzirom na to da su lovci ubijali samo one ovnove koji su imali velike rogove, geni tih ovnova nisu preneseni na sljedeće generacije potomaka. Gene su prenosili samo ovnovi s manjim rogovima, zbog čega je u populaciji ovnova prosječna veličina rogova znatno smanjena. Dakle, pod utjecajem čovjeka došlo je do promjene učestalosti pojedinih gena. To je primjer tzv. **umjetnog odabira** koji se dogodio u jako kratkom periodu. Ljudi su „odabrali“ koji će se geni prenositi na sljedeće generacije. Mnogo je drugih sličnih slučajeva, kao što su primjerice farmeri koji pospješuju razmnožavanje samo onih krava koje daju više mlijeka ili poljoprivrednici koji su selektivno uzgojili povrće kakvo danas jedemo. Poznat je i primjer selektivnog uzgoja buldoga, koji je doveo do velike promjene njegove anatomije zbog koje danas ima problema s disanjem. Na isti način, selektivnim razmnožavanjem, nastale su sve evolucijske promjene tijekom više milijuna godina, ali u tom slučaju odabir nije vršio čovjek, nego priroda. Jedna je od tih promjena uspravno hoda. Zamislite period od prije 4,4 milijuna godina u evolucijskoj povijesti. To je period neposredno prije pojave uspravnog hoda. Naši tadašnji predci koji su bili nešto uspravniji, imali su prednost naspram onih koji su hodali četveronoške. Uspravniji hod omogućio im je bolje uočavanje opasnosti i hrane u visokim savanama, dosezanje hrane koja je bila visoko, slobodne ruke za manipulaciju alatima i slično. Tako su imali veće šanse preživjeti i prenijeti svoje „uspravne“ gene na sljedeće generacije. Postupno, „četveronožni“ geni izgubili su se iz populacije. Taj proces prenošenja



gena povezanih s većim preživljavanjem (ili još preciznije govoreći, s većom vjerojatnošću reprodukcije) na iduće generacije nazivamo **prirodnim odabirom**. Dakle, prirodnim se odabirom geni u populaciji polako mijenjaju nakupljanjem postupnih promjena iz generacije u generaciju. Istim se postupnim promjenama razvila naša vrsta, a **vrstu** možemo definirati kao skup genetski sličnih jedinki koje se mogu međusobno razmnožavati.

Proučavanjem fosilnih ostataka, usporedbom živih vrsta te genetičkim analizama ljudi i drugih vrsta istraživači su otkrili kako je tekla evolucija čovjeka. Evoluciju se može prikazati kao razgranato stablo (iako će neki reći da više nalikuje na grm zbog gustoće grančica) na kojem najmanja grančica predstavlja jednu vrstu. Zajednička grana na kojoj je više manjih grančica predstavlja zajedničkog pretka. Dakle, sve su vrste međusobno povezane, iako mogu biti vremenski udaljene milijunima godina. Pojednostavljeno na Slici 3.1., vrste A, B i C imaju zajedničkog pretka P. Možemo tako zamisliti da A predstavlja današnjeg čovjeka, a B čimpanzu. Dakle, ljudi nisu potekli od majmuna i čimpanzi, nego imaju zajedničkog pretka, zbog čega dijele gotovo 99 % DNA.

(SLIKA 3.1. OVDJE)

**U evolucijskom su se stablu, unutar skupine kralježnjaka, pojavili prvi sisavci otprilike prije 180 milijuna godina. Sisavci se dalje dijele na redove, kao što je red primata. Primati su pak podijeljeni u porodice, od kojih jednu čine hominidi, a oni su podijeljeni u dva roda: *Australopithecus* i *Homo*. Čovjek, *Homo sapiens*, spada u rod *Homo*, a smatra se da se razvio iz jedne vrste *Australopithecusa* (Slika 3.2.).**

(SLIKA 3.2. OTPRILIKE OVDJE)

## Evolucija mozga hominida

Općenito se istraživanje evolucijskog razvoja čovjeka temelji na brojnim fosilnim ostacima i proučavanju živućih životinjskih vrsta. Međutim, kada je riječ o istraživanju evolucije mozga, postoji jedan problem. Mozak se ne fosilizira, tako da se o njegovu evolucijskom razvoju može zaključivati samo indirektno, na temelju veličina pronađenih lubanja. Veličine tih lubanja potom se rekonstruiraju izradom kalupa od gipsa, s pomoću kojih se procjenjuje volumen lubanje te stoga i volumen mozga. Ta je metoda omogućila prikupljanje informacija o razvoju mozga od pojave *Australopithecusa afarensisa*, otprilike prije 3 do 4 milijuna godina, pa sve do danas. Najpoznatiji je *Australopithecus aferensis* **Lucy**, čije su kosti otkrivene 1974. godine u Etiopiji. Dobila je ime prema pjesmi Beatlesa *Lucy in the sky with diamonds*, koja je glasno svirala u kampu gdje je bio smješten tim istraživača koji su iskopali kosti. Istraživanja njezinih kostiju dovela su do bitnih spoznaja o toj vrsti, a jedna od njih je da su ti naši predci hodali uspravno i da su bili niskog rasta (nešto viši od jednog metra). Pronalazak Lucy je, osim u istraživačkim krugovima, odjeknuo i u javnosti. Važnost njezina pronalaska opisana je u knjizi *Lucy: The Beginning of Humankind*, autora Donalda Johansona, koji ju je i pronašao. Njezine se kosti danas čuvaju u posebnim uvjetima u Nacionalnom muzeju u Addis Ababi u Etiopiji.

Na Slici 3.3. prikazan je pretpostavljeni slijed pojave različitih hominida tijekom evolucijske povijesti, počevši od *Australopithecusa afarensisa*. Iako su se pojavljivale različitim redoslijedom, ne znači da su sve vrste živjele u odvojenim vremenskim razmacima. Primjerice, *Homo habilis* i *Homo erectus* živjeli su u isto vrijeme dug period. Također, već je i spomenuto kako su *Homo sapiens* i *Homo neandertalensis* bili suvremenici.

Istraživač David Geary sa Sveučilišta u Missouriu sažeo je prikupljene informacije o povećanju mozga prikazanih vrsta hominida. Uočio je da se mozak malo povećavao svaki put kad bi se pojavila nova vrsta, s tim da je prvo veće povećanje volumena mozga utvrđeno kod pojave roda *Homo* (*Homo habilis*), otprilike prije 2,5 milijuna godina. Primjerice, *Australopithecus africanus* je imao volumen

mozga od oko 500 cm<sup>3</sup>, dok je prosječni volumen mozga *Homo habilis* bio oko 650 cm<sup>3</sup>. Osim što je rod *Homo* u usporedbi s rodom *Australopithecus* imao veći mozak, smatra se da je imao i više vijuga i brazdi, što znači da je površina moždane kore bila veća. Mozak se dalje značajno povećao kada se pojavila vrsta *Homo erectus*, s prosječnim volumenom mozga od oko 900 cm<sup>3</sup>. *Homo erectus* je izrazito važna vrsta za proučavanje evolucije čovjeka jer je to prva vrsta hominida čiji su ostatci pronađeni izvan Afrike (u Kini i Indoneziji). Također se smatra da je to prva vrsta hominida koja je kontrolirala vatru.

(SLIKA 3.3. OVDJE)

Daljnje povećanje mozga, čak do 1500 cm<sup>3</sup>, uočeno je kod našeg bliskog srodnika, *Homo neandertalensis*, poznatog kao neandertalac. Neandertalac je imao nešto veći mozak od mozga *Homo sapiens*. Zvuči nevjerovatno, ali nije pogrešno – neandertalac je uistinu imao veći mozak od nas! Kako je to moguće? Ti su hominidi bili teži i imali su više mišićnog tkiva od čovjeka. Osim toga, živjeli su za vrijeme ledenih doba, a vrste koje žive u hladnijim uvjetima, imaju i veći mozak. Zapravo, neandertalci su uspjeli preživjeti u nekim od najgorih uvjeta poznatih čovjeku. Uspjeli su jer su živjeli u spiljama, kontrolirali vatru i odijevali životinjsku kožu.

Fosilni ostatci ukazuju da su neandertalci i današnji čovjek, *Homo sapiens*, evoluirali od istog pretka te su više tisuća godina bili suvremenici. Genetski nalazi čak pokazuju da su se međusobno razmnožavali. Pronađeno je da moderni ljudi s područja Europe dijele 1 – 4 % DNA s neandertalcima. Istraživači s Max Planck Instituta za evolucijsku antropologiju otkrili su da je moderni čovjek od neandertalaca „naslijedio” gene koji su odgovorni za imunološki sustav. To je vjerojatno pomoglo *Homo sapiensu* da se uspješno obrani od različitih vrsta patogena kada je počeo naseljavati područje Europe. Neki teoretičari evolucije smatraju da su te dvije vrste hominida bile u interakciji desetak tisuća godina tijekom ledenog doba, sve dok se broj neandertalaca nije značajno smanjio prije otprilike 40 000 godina. Tada nestaju svi njegovi tragovi. Ostatci neandertalaca pronađeni su i u Hrvatskoj, na **Hušnjakovom brdu** u Krapini. Iskapanja ostataka trajala su čak šest godina, od 1899. do 1905. Pronađene su kosti više hominida u životnoj dobi od 2 do 40 godina. To je nalazište dalo veliki doprinos europskoj i svjetskoj znanosti o evoluciji čovjeka. Više informacija o hrvatskim neandertalcima možete naći u Muzeju krapinskih neandertalaca u Krapini.

*Homo sapiens* je nastavio naseljavati područje Europe i nakon izumiranja neandertalaca te se ubrzo razvija u anatomski modernog čovjeka, koji danas ima prosječni volumen mozga oko 1400 cm<sup>3</sup>. Iako je taj volumen manji od volumena mozga neandertalaca, on je gotovo tri puta veći od volumena mozga današnjih čimpanzi (prosječno oko 400 cm<sup>3</sup>) i gorila (prosječno oko 500 cm<sup>3</sup>). Dakle, osim proučavanja fosilnih ostataka, ovakve usporedbe veličine mozga čovjeka i drugih živućih životinjskih vrsta također su bitne u proučavanju evolucije mozga. Sličnost s nekim drugim vrstama ukazuje da imamo zajedničkog pretka i da je grana te vrste u evolucijskom stablu blizu naše grane. Takve usporedbe omogućuju istraživačima da upotpune evolucijsko stablo i otkriju podrijetlo današnjeg čovjeka i složenog živčanog sustava. Što smo ovom metodom saznali do sada?

## Usporedbe mozga čovjeka i drugih vrsta kralježnjaka

Bilo bi logično da se evolucijskim razvojem mozak kralježnjaka (Slika 3.4.) sve više i više povećavao. Tako bi ribe koje su se pojavile ranije, trebale imati manji mozak od gmazova koji se pojavljuju nakon njih. Slično, gmazovi bi trebali imati manji mozak od sisavaca jer su se sisavci pojavili kasnije. Istom bismo logikom očekivali da sisavci imaju nešto manji ili jednak mozak kao i današnje ptice jer su se obje vrste pojavile približno u isto vrijeme. Međutim, ptice imaju daleko manji mozak od sisavaca kao što je čovjek. Iz toga proizlazi da evolucijski razvoj nije linearan, odnosno ne može se opisati jednostavnom linijom. Inače, današnje su ptice jedini „živući dinosauri”. One su se razvile od teropoda – vrste dinosaura s kojima dijele brojne zajedničke karakteristike. Najpoznatiji i najstariji blizak srodnik

pretku današnjih ptica je **Archaeopteryx**. Najcjelovitiji fosilni primjerak *Archaeopteryxa* nalazi se u Prirodoslovnom muzeju u Berlinu. Pronašao ga je 1874. godine njemački farmer Jakob Niemeyer koji ga je, možda i ne znajući njegovu znanstvenu vrijednost, prodao kako bi mogao kupiti kravu za svoju farmu. Nakon nekoliko različitih vlasnika, taj je dragocjeni fosil dospio do muzeja.

#### (SLIKA 3.4. OTPRILIKE OVDJE)

Kako naglašava neuroznanstvenik Stephen Marc Breedlove i njegovi suradnici sa sveučilišta u Michiganu, razvoj mozga različitih životinjskih vrsta nije imao linearan slijed jer je evolucija kralježnjaka tekla odvojeno i simultano tijekom više od 200 milijuna godina, baš poput razgranatog evolucijskog stabla. Za demonstraciju odvojenog i simultanog razvoja Breedlove i suradnici daju primjer mozga morskog psa, koji spada u grupu riba. Današnji morski pas ima veći mozak od primitivnih morskih pasa iz evolucijske povijesti. Međutim, povećanje mozga današnjeg morskog psa nije povezano s povećanjem mozga današnjeg čovjeka koji spada u grupu sisavaca – razvoj morskog psa i čovjeka zapravo su dvije odvojene grane na evolucijskom stablu. Dakle, njihove su evolucijske promjene neovisne iako imaju davnog zajedničkog pretka iz kojeg su se razvili svi kralježnjaci.

Da su svi kralježnjaci međusobno povezani preko spomenutog zajedničkog pretka, govore nalazi da svi mozgovi kralježnjaka imaju istu građu neurona. No mozgovi različitih kralježnjaka razlikuju se po ukupnoj veličini, razgranatosti izdanaka neurona i broju međusobnih veza među neuronima. Isto tako, svi mozgovi kralježnjaka sadrže iste dijelove, ali se također razlikuju u veličini. Primjerice, svaki dio mozga čovjeka ima „svog dvojnika“ u mozgu miša. Pod dvojnikom se misli na osnovu strukture, koja uključuje koru velikog mozga, moždano deblo, srednji mozak, međumozak i slično. Može se reći da su razlike u mozgu različitih vrsta sisavaca kvantitativne prirode, odnosno razlikuju se u veličini, a ne u osnovnoj strukturi. Tako moždana kora kod čovjeka zauzima veći dio cijelog mozga nego kora mozga kod miševa. Dok je moždana kora čovjeka naborana, kod miša je glatka.

Dakle, istraživanja evolucije mozga bila su usmjerena na veličinu mozga. Logično je bilo očekivati da veći mozak označava i veće kognitivne sposobnosti te da bi čovjek trebao biti na vrhu evolucijske ljestvice. Iznenađenje je uslijedilo kada je otkriveno da slonovi, dupini i plavi kitovi imaju veći mozak od nas, dok je mozak morževa sličan našem. Da podsjetimo, i neandertalci su imali veći mozak od nas, kao i izumrli mamuti. Možemo za primjer uzeti i mozak plavog kita koji je izrazito veći od mozga crvenogrlog kolibrića. Unatoč toj razlici, obje vrste pokazuju iznimno složen sklop ponašanja: imaju složeno glasanje, brane svoj teritorij, zavode partnere, odgajaju svoje potomke i migriraju u daleke krajeve. Iz toga slijedi da veličina mozga ne govori mnogo o kognitivnim sposobnostima vrste.

Kada su istraživači shvatili da apsolutna veličina mozga ipak nije dobra mjera sposobnosti i inteligencije vrste, uveli su novu mjeru – stavili su u omjer težinu mozga i težinu tijela. Što je mozak teži u odnosu na tijelo, omjer je veći, i obrnuto. Pa izračunajmo koliko taj omjer iznosi kod čovjeka. Težina mozga je 1,4 kg, a tijela u prosjeku 75 kg.  $1,4/75 = 1,86 \%$ . Omjer kod čimpanzi iznosi 0,88 % (0,4 kg/45 kg), što ukazuje da ljudi imaju razvijenije sposobnosti od svojeg bliskog srodnika. Iako se ta formula čini logičnom, ona također pokazuje da omjer kod male rove iznosi čak 10 % (3 g/30 g = 10 %)! To je inače najveći omjer nađen kod životinja i zapravo nam govori da bi rove trebale biti pet puta inteligentnije od nas. Dakle, formula očito nije dovoljno dobra. Istraživači su se potom zapitali kakav je općeniti odnos između težine tijela i težine mozga različitih vrsta. Kao odgovor na to pitanje, razvili su tzv. **kvocijent encefalizacije**. Navedeni je kvocijent mjera *relativne težine*, umjesto apsolutne težine mozga. Dobiva se kao omjer stvarne težine mozga i predviđene težine mozga kakvu bismo očekivali za vrstu određene težine tijela. Pojednostavljeno, recimo da znamo da riba koja teži 100 grama ima mozak prosječne težine od 0,1 gram. Ako pretpostavimo da ribe i sisavci imaju jednaku inteligenciju i sposobnosti, tada bismo očekivali da i sisavac koji teži 100 grama ima mozak od 0,1 gram. Međutim, istraživači su uočili da sisavac koji teži 100 grama (npr. miš) ima u prosjeku mozak težine oko 1 gram, što je 10 puta teže od mozga ribe u našem primjeru. Dakle, u ovom primjeru sisavci imaju veći kvocijent encefalizacije od riba. Jednako kao što možemo uspoređivati kvocijente encefalizacije

različitih razreda životinja (ribe vs. sisavci), možemo uspoređivati kvocijente različitih vrsta unutar istog razreda (npr. čovjek vs. miš unutar razreda sisavaca). Takve su usporedbe dovele do saznanja da čovjek ima najveći kvocijent encefalizacije u usporedbi sa svim drugim vrstama. U tablici 3.1. možete vidjeti koliko iznose kvocijenti za različite vrste prema istraživaču Cairòu.

Tablica 3.1. Kvocijent encefalizacije za različite vrste

Vrsta	Kvocijent encefalizacije
Čovjek	6,56
Velika pliskavica	5,55
Makaki majmun	3,15
Pavijan	2,81
Čimpanza	2,63
Gorila	1,75
Lav	0,73
Tigar	0,68
Plavi kit	0,38

Dakle, na temelju toga možemo reći da ljudi imaju najveći mozak u relativnom smislu. Razlika u veličini mozga čovjeka i ostalih životinja uglavnom proizlazi iz većeg prednjeg dijela frontalnog režnja te većih asocijativnih područja koja sadrže veći broj neurona nego kod ostalih primata. Razvoj moždane kore, odnosno njezina prednjeg dijela frontalnog režnja, čovjeku je omogućio visoke kognitivne sposobnosti, apstraktno mišljenje, složenu jezičnu komunikaciju, stvaranje širokih društvenih mreža, industrijsku i računalnu revoluciju, let u svemir i slično. Povećanje određenih dijelova prednje moždane kore, kao i veza između pojedinih područja, dovelo je do razvoja sposobnosti koje nas čine ljudima. Antropolog i evolucijski psiholog Robin Dunbar sa Sveučilišta u Oxfordu smatra da je do povećanja moždane kore došlo da bi se ljudi uspješno snašli u velikoj društvenoj mreži i održavali odnose u zajednicama. Navedeno je poznato kao **hipoteza društvenog mozga**. Dunbar je utvrdio da postoji povezanost između veličine zajednice, učestalosti međusobnog druženja i veličine prednjeg dijela moždane kore. Što su zajednice veće, potrebno je procesirati više informacija, zbog čega je potreban i veći dio moždane kore. Vezano za uspješno preživljavanje u takvim složenim društvenim zajednicama, našim je predcima od iznimne važnosti bilo razumjeti namjere drugih članova zajednice te njihovu spremnost na suradnju. Smatra se da je suradnja članova zajednice tijekom lova, obrane od predatora, traženja hrane i slično, univerzalna karakteristika koja je nastala pojavom roda *Homo*. Kako bi suradnja bila uspješna, naši su predci morali biti sposobni detektirati varalice, odnosno članove zajednice koji nisu spremni za suradnju. Uistinu, čini se da je tijekom evolucijske povijesti nastao modul u mozgu upravo za prepoznavanje varalica i laži. Bitno je napomenuti da se, kada se govori o modulu, ne misli na specifičan dio mozga koji je moguće prepoznati tehnikama oslikavanja mozga, već o složenom sustavu i mreži neurona u živčanom sustavu. Navedeni je modul samo jedan od brojnih evolucijskih adaptacija mozga koje rješavaju specifične probleme iz prošlosti ljudskih predaka. Pretpostavlja se da postoje i druge slične adaptacije kao što su mogućnost prepoznavanja lica, detektiranje emocionalnih ekspresija, pa čak i doživljavanje ljubomore. Smatra se da je ljubomora kao složena emocija evoluirala s ciljem detektiranja i uklanjanja prijetnje trenutnoj ljubavnoj vezi, što je povećavalo vjerojatnost uspješnog razmnožavanja i prenošenja gena na sljedeće generacije. Zanimljivo, brojna istraživanja pokazuju da muškarci i žene različito reaguju na različite oblike prijetnje vezi. Nalazi ukazuju da je muškarac ljubomorniji na seksualnu nevjeru partnerice. Smatra se da je to zbog toga što je time ugrožena njegova sigurnost u očinstvo te je veća vjerojatnost ulaganja u potomstvo koje nije njegovo. S druge strane, žena je uvijek sigurna da je dijete njezino, ali riskira partnerovo napuštanje i gubitak njegove potpore. Vjerojatnost napuštanja je veća ako se muškarac

zaljubi u drugu ženu te se pretpostavlja da su žene tijekom evolucije razvile posebnu osjetljivost na znakove emocionalne nevjere. Svi ovi i slični moduli u živčanom sustavu razvijali su se tijekom evolucijske povijesti jer su povećavali vjerojatnost uspješnog preživljavanja i razmnožavanja. Iako čovjek ima relativno najveći mozak, nisu svi dijelovi njegova mozga veći od dijelova mozga drugih životinja. Neki dijelovi mozga su kod čovjeka manji. Primjerice, njušna lukovica, struktura smještena u prednjem mozgu koja je važna za osjet njuha, značajno je veća kod pasa i koza. Slično, područja mozga zadužena za lokalizaciju i prepoznavanje zvukova velika su kod šišmiša i dupina. Također je bitno spomenuti da to što čovjek ima relativno najveći mozak ne znači ujedno da je najprilagođeniji i najposposobniji od svih ostalih vrsta na planetu. Sve su druge životinje, kao i čovjek, dobro prilagođene okolini u kojoj žive. Upravo je ta okolina dovela do mozga kakvog danas poznajemo kod čovjeka i svih ostalih životinjskih vrsta. Primjerice, okolina se može razlikovati po dostupnosti hrane za životinje. Zanimljivo je da životinje koje žive u okolini u kojoj hrana nije lako dostupna, imaju veće mozgove. Zašto je to tako? Većina vrsta veliku količinu energije i vremena troši na pronalaženje hrane i koristi različite strategije kako bi došla do nje. Što je hranu teže naći u okolini, strategije moraju biti složenije. Zbog toga vrste koje teže pronalaze hranu imaju i veće mozgove koji im omogućuju složene strategije.

Prednosti većeg mozga su jasne – veći mozak omogućava širok raspon različitih sposobnosti. Međutim, neuroznanstvenik Breedlove naglašava da veliki mozak ima nekih svojih nedostataka. Da bi se razvio veći mozak, potreban je duži period trudnoće, što može predstavljati problem za majku. Nadalje, veliki mozak zahtijeva i veću lubanju, što može komplicirati porod. Komplikacije mogu nastati ako je lubanja prevelika da prođe kroz uski porođajni kanal, posebice ako majka ima usku zdjelicu. U tom slučaju i dijete i majka mogu biti u životnoj opasnosti. Ipak, današnji napredak medicine u području ginekologije i opstetricije uvelike smanjuje vjerojatnost negativnih ishoda tijekom poroda. Primjerice, danas se veliki broj poroda obavlja carskim rezom, zbog čega i žene s jako uskom zdjelicom mogu bez većih poteškoća roditi zdravo dijete. Istraživači Mitteroecker i suradnici sa Sveučilišta u Beču smatraju da je sve veći broj poroda carskim rezom mogao dovesti do promjena u ljudskoj evoluciji. Autori objašnjavaju da su tijekom evolucijske prošlosti žene s uskom zdjelicom imale manju šansu preživljavanja tijekom poroda. U isto vrijeme, prirodni je odabir djelovao tako da se rađaju djeca s većom lubanjom jer su velika novorođenčad ujedno imala i veću šansu preživljavanja. Dakle, riječ je o svojevrsnom konfliktu – velika lubanja djeteta mogla je dovesti u opasnost život roditelja, ali u isto je vrijeme mogla dovesti i do veće kasnije adaptibilnosti djeteta, što je u literaturi poznato kao **opstetricijska dilema**. Navedeno znači da je morao postojati „kompromis“ između veličine zdjelice majke i veličine djeteta da bi oboje uspješno preživjeli. Moguće je da je carski rez „poremetio“ taj kompromis jer danas i žene s uskom zdjelicom uspješno rađaju veliku novorođenčad, prenoseći gene na svoje kćeri koje će vjerojatno također imati usku zdjelicu. Moguće je da se zbog toga sve više rađaju i djeca s većom lubanjom, jer velika lubanja više nije prijetnja uspješnom porodu. Ta je mogućnost uistinu zanimljiva, a buduća će istraživanja svakako dati uvid u stvarne podatke te otkriti koliko su uistinu veliki efekti carskog reza na evoluciju čovjeka.

Postoje i drugi problemi koji se tiču evolucijskog razvoja mozga. Prvo, da bi mozak dosegao veličinu kao kod odraslog čovjeka, mora se razvijati i nakon rođenja, što znači da je dijete duže ovisno o majci. Nadalje, naš mozak troši jako mnogo energije. U prvom poglavlju susreli ste se s podatkom da taj organ troši 20 % naše energije iako zauzima samo 2 % naše mase. Uzevši u obzir veliku količinu energije koju mozak troši za svoj rad, možda ste među onima koji su se zapitali je li moguće napornom mentalnom aktivnošću (npr. učenjem za ispit) potrošiti više energije te time i više kalorija. Konačno, može li se tako smršavjeti? Ako ste se to zapitali, niste jedini, ali odgovor je nažalost negativan – rješavanje statističkih zadataka neće ukloniti efekte čipsa koji ste pojeli. Profesor David Levitsky s Cornell University objasnio je da povećanje mentalne aktivnosti uistinu povećava potrošnju energije i gubljenje kalorija – ali samo do 10 kalorija dnevno. To znači da bi bilo potrebno nekoliko godina da se promijeni broj na vagi. A zamislite samo kako bi bilo zabavno da možemo smršavjeti ležeći na kauču i rješavajući složene matematičke jednadžbe.

Sada kada znamo kako se mozak razvio tijekom evolucijske povijesti, pitanje je što se događa s mozgom posljednjih desetak tisuća godina. Je li se još povećao ili je ostao isti? Mijenja li se još uvijek ili je razvoj stao pojavom modernog čovjeka?

## Mozak modernog čovjeka

Istraživanja koja je proveo profesor John Hawks sa Sveučilišta u Winsconsinu pokazuju da se u posljednjih 20 000 godina mozak modernog čovjeka – smanjuje! Hawks daje zapanjujuće podatke o brzini smanjivanja mozga: ako se smanjivanje nastavi jednakim tempom, u sljedećih 20 000 godina naš će mozak biti veličine mozga *Homo erectusa*. Naravno, taj je podatak samo ilustracija brzine smanjivanja, zapravo je malo vjerojatno da će se to uistinu i dogoditi. Neovisno o tome, činjenica jest da je došlo do malog smanjenja veličine mozga i postavlja se pitanje zašto. Nekoliko je mogućih razloga. Prvo, prosječna veličina tijela modernih ljudi smanjila se tijekom posljednjih 10 000 godina. Kako je ranije spomenuto, veća masa tijela uglavnom je povezana s većim mozgom. Nadalje, u posljednjih 20 000 godina otkako se mozak smanjuje, nastupilo je razdoblje holocena koje je obilježeno višim temperaturama i toplijim klimatskim uvjetima. Toplija je klima pak povezana s manjim mozgom. Christopher Stringer, paleoantropolog iz Prirodoslovnog muzeja u Londonu predlaže mogućnost da je način života modernog čovjeka doveo do smanjenja mozga. Na primjer, pripitomljene životinje imaju manje mozgove od svojih srodnika koji žive u divljini, vjerojatno jer ne trebaju promišljati o strategijama pronalaska hrane i izbjegavanju neprijatelja. Ne treba dodatno pojašnjavati da je moderni čovjek danas poprilično „pripitomljen“ i zaštićen u svojem domu za razliku od prvih *Homo sapiensa*, što je možda dovelo do smanjenja njegova mozga.

Kognitivni znanstvenik i evolucijski psiholog David Geary objašnjava svoju teoriju zašto se mozak smanjuje. Za to ćemo pojašnjenje kratko ponoviti kako evolucija funkcionira. Dakle, ako se neki pojedinci iz nekog razloga više razmnožavaju, logično je da imaju i više potomaka koji nasljeđuju njihove gene. Posljedično, tijekom mnogo generacija frekvencija gena tih pojedinaca u populaciji će se povećati. Naši predci koji su imali veći mozak, bili su uspješniji u preživljavanju i razmnožavanju te je stoga došlo do povećanja mozga. Međutim, Geary smatra da to više nije slučaj jer je posljednjih desetak tisuća godina čovjek počeo stvarati velike društvene zajednice, živjeti u udobnosti svojeg doma u gušće naseljenim područjima te je uveo podjelu rada i učinkovitiji pronalazak i uzgoj hrane. Od tada se uspješno mogu razmnožavati i ljudi s manjim mozgom i nižih sposobnosti. Na tu je ideju Geary došao kada je istraživanjem utvrdio da ljudi u gušće naseljenim područjima imaju manju lubanju i vjerojatno manji mozak. To ga je navelo na zaključak da razvojem složenih društvenih zajednica ljudi ne moraju imati velike adaptivne sposobnosti da bi preživjeli jer im pomažu drugi članovi zajednice. Takav je stil života poprilično različit od života naših predaka čiji je život ovisio o uspješnim strategijama pronalaska hrane, lovu i izbjegavanju predatora. David Geary također na duhovit način svoju teoriju o smanjenju mozga povezuje s filmom *Idiocracy* iz 2006. godine, redatelja Mikea Judgea. U filmu se Joe Bauers, kojeg glumi Luke Wilson, budi iz hibernacije nakon 500 godina i shvaća da je najpametnija osoba u Americi jer se cijela populacija pretvorila u neinteligentne ljude. Dakako, to se nije zapravo dogodilo s modernim čovjekom, ali je zabavan znanstveno-fantastični prikaz koji vrijedi pogledati. Čini se da još uvijek nemamo odgovor na pitanje zašto se mozak smanjio i kakav će biti u budućnosti, no ta problematika svakako predstavlja izazov za daljnja istraživanja. Osim toga, zasigurno nas čekaju nova otkrića koja će upotpuniti sliku našeg evolucijskog stabla i dovesti do novih spoznaja o evoluciji ovog najkompleksnijeg organa modernog čovjeka. Ova su istraživanja iznimno važna jer su milijuni godina evolucije doveli do mozga kakvog imamo danas i oblikovali naše cjelokupno ponašanje.

### Zaključci

1. Evolucija živih bića proces je tijekom kojeg se događaju postupne promjene u genima koje se prenose iz generacije u generaciju. Prirodni odabir označava proces prenošenja gena povezanih s većim preživljavanjem na iduće generacije. Pod umjetnim odabirom podrazumijevaju se promjene učestalosti gena u populaciji, koje se događaju pod utjecajem čovjeka. Vrstu možemo definirati kao skup genetski sličnih jedinki koje se mogu međusobno razmnožavati.

2. Evolucija se može prikazati kao razgranato stablo na kojem najmanja grančica predstavlja jednu vrstu, dok zajednička grana na kojoj se nalazi više manjih grančica predstavlja zajedničkog pretka. Unutar skupine kralježnjaka prvi su se sisavci pojavili otprilike prije 180 milijuna godina. Sisavci se dijele na redove, kao što je primjerice red primata. Oni se dalje dijele u porodice, od kojih jednu čine hominidi koji se dalje dijele u dva roda: *Australopithecus* i *Homo*. Čovjek, *Homo sapiens*, spada u rod *Homo*, a najvjerojatnije se razvio iz jedne vrste *Australopithecusa*.

3. Istraživanja evolucijskog razvoja čovjeka temelje se na proučavanjima fosilnih ostataka i živućih životinjskih vrsta. O evolucijskom razvoju mozga zaključuje se indirektno na temelju veličina pronađenih lubanja. Lucy je najpoznatiji *Australopithecus aferensis* čije su kosti otkrivene u Etiopiji 70-ih godina prošlog stoljeća. S pojavom novih vrsta njihov mozak se povećavao, s tim da je prvo značajnije povećanje volumena mozga utvrđeno kod pojave roda *Homo* otprilike prije 2,5 milijuna godina. Mozgovi modernog čovjeka imaju prosječan volumen oko 1400 cm<sup>3</sup>.

4. Mozgovi različitih kralježnjaka razlikuju se u ukupnoj veličini, razgranatosti izdanaka i broju sinaptičkih veza među neuronima. Kvocijent encefalizacije predstavlja mjeru relativne težine mozga, a dobije se kao omjer stvarne težine mozga i predviđene težine mozga kakvu bismo očekivali za vrstu određene težine tijela. Usporedbe kvocijenata encefalizacije različitih vrsta rezultirale su spoznajom da čovjek u usporedbi sa svim drugim vrstama ima najveći mozak u relativnom smislu. U usporedbi s drugim primatima, čovjek ima veće prednje dijelove frontalnog režnja, a njegova asocijativna kortikalna područja sadrže veći broj neurona. Navedeno mu je omogućilo visoke kognitivne sposobnosti, apstraktno mišljenje i jezičnu komunikaciju. Hipoteza društvenog mozga pretpostavlja povećanje moždane kore kako bi se ljudi uspješno snašli u većoj društvenoj mreži i kako bi održavali odnose u zajednicama. Iako veći mozak omogućava širok raspon različitih sposobnosti, za njegov razvoj potreban je duži period trudnoće te veća lubanja. Opstetirijska dilema pretpostavlja kompromis između veličine zdjelice majke i veličine djeteta kako bi oboje uspješno preživjeli porod.

5. Posljednjih se 20 000 godina mozak modernog čovjeka smanjuje. Nekoliko je mogućih razloga: topliji klimatski uvjeti, smanjenje tjelesne mase, način života modernog čovjeka, život u gušće naseljenim područjima.

## Testirajte se

1. Navedite i opišite neke primjene umjetnog odabira.
2. Koje su sve moguće prednosti uspravnog u usporedbi s četveronožnim hodaњem za ljude?
3. Koji su mogući razlozi zbog kojih je neandertalac imao veći mozak od današnjeg čovjeka?
4. Razmislite koji su sve mogući nedostaci i posljedice evolucijskog povećanja mozga.
5. Navedite hipotetske uzroke koji su mogli utjecati na smanjenje mozga suvremenog čovjeka.

## Preporučena dodatna literatura

Miller, G. (2007). *Razum i razmnožavanje: Kako je izbor seksualnih partnera oblikovao ljudsku narav*. Zagreb, Hrvatska: Algoritam.

Miller, J. i Van Loon, B. (2010). *Introducing Darwin: A Graphic Guide*. United Kingdom: Icon Books Ltd.

Ridley, M. (2004). *Evolucija: klasici i suvremene spoznaje*. Zagreb: Naklada Jasenski i Turk.

## Važni pojmovi

**Archaeopteryx** Najstariji i najpoznatiji blizak srodnik pretku današnjih ptica.

**Evolucija** Proces tijekom kojeg se događaju postepene promjene u genima koji se prenose iz generacije u generaciju.

**Hipoteza društvenog mozga** Pretpostavka da je do povećanja moždane kore došlo kako bi se ljudi uspješno snašli u velikoj društvenoj mreži i održavali odnose u zajednicama.

**Hušnjakovo brdo** Hrvatsko pronalazište ostataka neandertalaca koje je dalo veliki doprinos europskoj i svjetskoj znanosti o evoluciji čovjeka.

**Kvocijent encefalizacije** Mjera relativne težine mozga koja se dobiva kao omjer stvarne težine mozga i predviđene težine mozga kakvu bismo očekivali za vrstu određene težine tijela.

**Lucy** Najpoznatiji *Australopithecus aferensis*, čiji je pronalazak doveo do bitnih spoznaja o toj vrsti, a jedna od njih je da su ti naši predci hodali uspravno i da su bili niskog rasta (nešto viši od jednog metra).

**Opstetirijska dilema** Svojevrсни konflikt između veličine lubanje novorođenčeta koja može dovesti u opasnost život roditelja te istovremeno može dovesti do veće adaptibilnosti djeteta s većom lubanjom. Navedeno znači da je morao postojati „kompromis“ između veličine zdjelice majke i veličine djeteta da bi oboje uspješno preživjeli.

**Prirodni odabir** Povećanje učestalosti pojedinih gena u populaciji koji su povezani s većom vjerojatnosti preživljavanja, odnosno smanjenje učestalosti onih koji su povezani s manjom vjerojatnosti preživljavanja.

**Umjetni odabir** Promjene učestalosti pojedinih gena u populaciji pod utjecajem čovjeka.

**Vrsta** Skup genetski sličnih jedinki koje se mogu međusobno razmnožavati.

## Literatura

Breedlove, S. M., & Watson, N. V. (2013). *Evolution of the Brain and Behavior*. In S. M. Breedlove, & N. V. Watson (Eds.), *Biological Psychology: An Introduction to Behavioral, Cognitive, and Clinical Neuroscience* (pp. 151-178). Sunderland, MA: Sinauer Associates, Inc. Publishers.

Buss, D. M. (2013). Sexual jealousy. *Psihologijske teme*, 22(2), 155-182.

Cairó, O. (2011). External measures of cognition. *Frontiers in human neuroscience*, 5(108), 1-9.

Dannemann, M., Andrés, A. M., Kelso, J. (2016). Introgression of Neandertal- and Denisovan-like Haplotypes Contributes to Adaptive Variation in Human Toll-like Receptors. *American Journal of Human Genetics*, 98, (1), 22-33.

Deschamps, M., Laval, G., Fagny, M., Itan, Y., Abel, L., Casanova, J. L., Ptin, E., Quintana-Murci, L. (2016). Genomic signatures of selective pressures and introgression from archaic hominins at



human innate immunity genes. *The American Journal of Human Genetics*, 98(1), 5-21.

Geary, D. C. (2005). *The origin of mind: Evolution of brain, cognition, and general intelligence*. American Psychological Association.

Hofman, M. A. (2014). Evolution of the human brain: when bigger is better. *Frontiers in neuroanatomy*, 8, 15.

Johanson, D. i Edey, M. A. (1990). *Lucy: The beginnings of humankind*. New York, New York: Simon and Schuster.

Kaas, J. H. (2012). The evolution of neocortex in primates. *Progress in brain research*, 195, 91-102.

Kavoi, B. M., & Jameela, H. (2011). Comparative morphometry of the olfactory bulb, tract and stria in the human, dog and goat. *International Journal of Morphology*, 29(3). 939-946.

Nieuwenhuys, R., Ten Donkelaar, H. J. i Nicholson, C. (1998). *The Central Nervous System of Vertebrates*. Berlin, Germany: Springer.

Pinel, J. P. J. (2000). *Biološka psihologija*. Jastrebarsko: Naklada Slap.

Stone, V. E., Cosmides, L., Tooby, J., Kroll, N. i Knight, R. T. (2002). Selective impairment of reasoning about social exchange in a patient with bilateral limbic system damage.

*Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(17), 11531-11536.

Stringer, C. Why Have Our Brains Started to Shrink?

URL: <https://www.scientificamerican.com/article/why-have-our-brains-started-to-shrink/>

**Popis slika**

C:\Users\Pavle\Desktop\Ilustracije\3.1.jpg

Slika. 3.1. Ilustracija evolucijskog stabla

C:\Users\Pavle\Desktop\Ilustracije\3.2.jpg

Slika 3.2. Biološka kvalifikacija današnjeg čovjeka.

C:\Users\Pavle\Desktop\Ilustracije\3.3.jpg

Slika 3.3. Pojednostavljen prikaz evolucije današnjeg čovjeka

C:\Users\Pavle\Desktop\Ilustracije\Pog3\_fin\3.4\3.4.jpg

Slika 3.4. Pojednostavljen prikaz evolucije kralježnjaka

# References

---