

# I mozak ima spol

## The brain has sex

Daniela Malnar<sup>1\*</sup>, Juraj Arbanas<sup>1</sup>, Mladenka Tkalčić<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Zavod za anatomiju, Medicinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka

<sup>2</sup>Odsjek za psihologiju, Filozofski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka

**Sažetak.** Mozak je složen organ i različita morfologija mozga muškaraca i žena kontinuirana je tema koja izaziva velik interes. Nebrojeno puta postavili smo si pitanje zašto se djevojčice više vole igrati lutkama, a dječaci autima? Zašto žene i muškarci različito reagiraju u istim stresnim situacijama? Jesu li žene emotivnije od muškaraca? Psihološka istraživanja ponašanja, percepcije i pamćenja potvrđuju da zaista postoje očigledne razlike u funkcioniranju mozga žena i muškaraca. Te se razlike mogu pripisati utjecaju genetike, hormona i okoline. Muškarci i žene ne pokazuju razliku kad je u pitanju ispitivanje inteligencije, ali je činjenica da mnoge stvari rade drugačije i koriste različite dijelove mozga prilikom rješavanja problema. Spolne razlike u građi mozga mogu imati utjecaj na proces učenja, govora. Poznavanje spolnih razlika može biti korisno za postavljanje dijagnoza i liječenje nekih neuroloških bolesti. Mnoga istraživanja spolnih razlika, pogotovo istraživanja u području omjera sive i bijele tvari te veličine najveće komisure mozga, korpusa kalozuma, daju oprečne rezultate koji prvenstveno ovise o metodi istraživanja. No postoje područja mozga, poput hipotalamusa i pojedinih dijelova kore mozga, gdje je spolni dimorfizam vrlo jasno izražen i definiran. Ovaj rad je prikaz dosadašnjih istraživanja i utvrđenih morfoloških razlika mozga kod žena i muškaraca.

**Ključne riječi:** mozak čovjeka; spolne razlike

**Abstract.** The brain is a complex organ and different morphology of the brain of men and women is an ongoing topic of great interest. Many times we set a question why girls prefer to play with dolls and boys with cars? Why men and women react differently to the same stressful situations? Are women more emotional than men? Psychological research of behavior, perception and memory, found that the obvious differences in brain function of women and men do indeed exist. These differences can be attributed to genetics, hormones and environment. Men and women do not show a difference when it comes to intelligence testing, but the fact is that many things they do differently and use different parts of the brain when solving problems. Sex differences in the brain structure may influence the process of learning and speech. Knowledge of gender differences can be helpful in making the diagnosis and treatment of certain neurological diseases. Many studies of gender differences, especially studies on the ratio of gray and white matter and the size of the largest commissure of the brain, the corpus callosum, show conflicting results, which primarily depend on the method of research. However, there are areas of the brain, such as the hypothalamus and certain parts of the brain cortex, where the sexual dimorphism is very clearly expressed and defined. This paper outlines previous research and established morphological differences of the brain between women and men.

**Key words:** human brain; gender differences

**\*Dopisni autor:**

Prof. dr. sc. Daniela Malnar, dr. med.  
Zavod za anatomiju,  
Medicinski fakultet Sveučilišta u Rijeci  
Braće Branchetta 20, 51 000 Rijeka  
*e-mail:* daniela.malnar@medri.uniri.hr

<http://hrcak.srce.hr/medicina>

## UVOD

Godinama se u društvu provlači pitanje govore li žene više od muškaraca, odnosno govore li žene više o svojim problemima nego muškarci<sup>1</sup>. Pitamo jesu li žene emotivnije od muškaraca, ponašanje li se različito u istim stresnim situacijama? Kimura navodi da se žene i muškarci ne razlikuju samo po fizičkim osobinama i reproduktivnoj funkciji, već i u načinima na koje njihovi mozgov obraduju informacije i rješavaju probleme<sup>2</sup>. Činjenica je da postoje određene pouzdane razlike u kognitivnim sposobnostima između žena i muškaraca. No pitanje postoje li zaista morfološke razlike između muškog i ženskog mozga vrlo je interesantno već dugo vremena. Anatomska istraživanja, mjerenje volumena pojedinih dijelova mozga uz pomoć magnetske rezonancije, slikovni prikazi funkcioniranja mozga, a u posljednje vrijeme i metode poput difuzne traktografije, pokazala su da doista određene morfološke razlike postoje. Spolne razlike u mozgu su stvarne i klinički važne ali često neumjereno iskrivljene, odnosno prenaplašene u popularnom diskursu.

Morfološke razlike naglašene su u veličini i težini mozgov te u odnosu volumena bijele i sive tvari. Određene razlike nalazimo u asimetričnosti i veličini Brokinog i Wernikovog područja. Također su opisane i spolne razlike u veličini najveće komisure mozga, *corpus callosum*, no rezultati istraživanja vezani uz spolnu dimorfnost ove komisure često su vrlo oprečni. Područje s najviše izraženim spolnim dimorfizmom je hipotalamus. Spolne razlike prisutne u morfoloiji spomenutih struktura mogu biti temelj funkcionalnih razlika u kognitivnoj funkciji kao i lateralizaciji hemisfera.

## RAZLIKE U VELIČINI I TEŽINI MOZGOVA

Mozak odraslog čovjeka teži u prosjeku oko 1,5 kg, a njegova veličina je oko 1130 cm<sup>3</sup> kod žena, odnosno 1260 cm<sup>3</sup> kod muškaraca<sup>3,4</sup>. Muški mozak zaista je veći za oko 10 % i teži za 11 – 12 % u odnosu na ženski mozak, no ta razlika u veličini i težini može se povezati s različitom veličinom i težinom tijela. Muškarci, naime, imaju veću mišićnu masu i veću površinu tijela u odnosu na žene, tako da, gledajući proporcionalno, nema veće razlike u veličini i težini mozga između muškaraca i

žena<sup>5</sup>. Prve spolne razlike u izgledu mozga primjećuju se za vrijeme adolescencije. *Postmortem* istraživanja te MRI studije (engl. *magnetic resonance imaging*) provedene kod djece pokazale su da su muški mozgov u prosjeku veći za oko 6 – 20 %, no isto je tako navedeno da dječaci imaju veći omjer glave, te se, kada se usporede mozgov dječaka i djevojčica iste tjelesne težine, razlike ne primjećuju<sup>6-9</sup>. Osim toga, znatne razlike u veličini mogu biti i posljedica različitih metoda primijenjenih u istraživanju.

Mozak je složen organ i različita morfoloija mozga muškaraca i žena kontinuirana je tema koja izaziva velik interes. Psihološka istraživanja ponašanja, percepcije i pamćenja potvrđuju da zaista postoje očigledne razlike u funkcioniranju mozga žene i muškaraca. Te se razlike mogu pripisati utjecaju genetike, hormona i okoline.

## RAZLIKE U MOŽDANOM VOLUMENU I OMJERU BIJELE I SIVE TVARI

Ako se usporede mozgov muškaraca i žena jednake veličine tada ne postoji značajno odstupanje u ukupnom moždanom volumenu, što potvrđuje gore navedene rezultate vezane uz veličinu i težinu mozga. No u određenim režnjevima mozga nalazimo značajnu razliku u moždanom volumenu. Kod žena veći moždani volumen nalazimo u frontalnim i medijalnim paralimbičkim područjima (orbito–frontalna regija), dok kod muškaraca veći volumen prevladava u frontomedijalnom korteksu, amigdalama i hipotalamusu<sup>10,11</sup>. Ove anatomske razlike nisu ovisne o veličini mozga, stoga je većina istraživanja usmjerena na istraživanje određenih razlika u volumenu sive i bijele tvari u pojedinim područjima mozga.

Najveći broj istraživanja volumena sive i bijele tvari bazirao se na metodi magnetske rezonancije. Najčešće spominjane spolne razlike u mozgu žena i muškaraca jesu one koje opisuju razliku u omjeru sive i bijele tvari u mozgu. Rabinowitz opisuje da muškarci imaju za oko 4 % više neurona, dok žene imaju više razvijen prostor između tijela neurona nazvan neuropil u kojem nalazimo sinapse, nemijelinizirana živčana vlakna, dendrite i glija stanice. Ovaj nalaz nam možda može pomoći u razumijeva-

nju činjenice da su žene podložnije demencijama u odnosu na muškarce, jer kod muškaraca postoji funkcionalna rezerva neurona<sup>12</sup>.

Neki radovi navode da muškarci imaju 6,5 puta više sive tvari u odnosu na žene, dok žene imaju 10 puta više bijele tvari<sup>13</sup>, stoga se smatralo da muškarci misle sivom tvari, odnosno aktivnim neuronima, dok žene misle bijelom tvari, odnosno živčanim vlaknima čija je uloga da povezuju neurone, pa se pretpostavlja da veća povezanost između neurona omogućava ženskom mozgu da brže radi<sup>14</sup>. No noviji radovi koji su u obzir uzeli ukupni volumen moždane mase tvrde da žene imaju veću količinu sive tvari (po kubičnom centimetru) koju karakteriziraju trupovi neurona, a muški mozgovi pokazuju veću količinu bijele tvari. Također se opisuje veća debljina kore mozga kod žena<sup>15-17</sup>.

Još uvijek nije jasno mogu li se navedene razlike pripisati spolnom dimorfizmu ili su posljedica veličine samog mozga, s obzirom na to da su rezultati radova koji su istraživali odnose sive i bijele tvari unutar mozga te volumen cerebrospinalnog likvora na većem uzorku opovrgnuli rezultate prethodnih istraživanja<sup>15</sup>. No Lauders kaže da je razlika u volumenu sive i bijele tvari kod mozgova podjednake veličine minimalna i nije relevantna između spolova. Ona je sa suradnicima usporedila mozgove jednake veličine kod muškaraca i žena uz pomoć MRI-ja. Rezultati njezinog istraživanja pokazali su da postoje tri područja unutar kore mozga koja imaju značajno veći volumen u mozgovima žena u odnosu na muškarce<sup>11,18</sup>. Prvo takvo područje je lijeva orbito-frontalna regija uključena u regulaciju emocija. Rezultati ovog istraživanja potvrdili su rezultate istraživanja koje je proveo Filipek<sup>19</sup>, Giedd i suradnici<sup>8</sup>, Gooda i suradnici iz 2001.<sup>20</sup> te Gur i suradnici<sup>21</sup>. Ove rezultate možemo povezati s pretpostavkom da su žene bolje u prepoznavanju emocija i reakcijama na njih i pritom mogu upotrebljavati obje hemisfere<sup>22,23</sup>. Muškarci teže izražavaju osjećaje i pritom upotrebljavaju samo desnu hemisferu<sup>24</sup>.

Drugo, odnosno treće područje u kojem Luders navodi povećanje volumena sive tvari jesu područje iza lijevog *gyrus temporalis superior* (*planum temporale* ili Wernikovo područje koje ima ulogu u slušnom razumijevanju govora i koje je dominantno razvijeno u lijevoj hemisferi) te lijevi

*gyrus frontalis superior* kod žena. Ova područja pokazuju značajno veći volumen sive tvari koji je za 23,2 % veći kod žena<sup>18</sup>. Povećanje volumena sive tvari u području *planum temporale*, odnosno Wernikovog područja, potvrdili su i drugi istraživači<sup>10,17,25,26</sup>. Witelson opisuje značajno zadebljanje kore mozga, za oko 11 %, u Wernikovom području odnosno u području *planum temporale* kod žena<sup>27</sup>. Također se navodi da je lijevi *planum temporale* duži u odnosu na desni, ali veličina i dužina *planuma temporale* kod žena nije ovisna o moždanom volumenu, dok kod muškaraca jest<sup>17</sup>. Harasty, koji je istraživanje proveo *postmortem*, navodi još i veći postotak povećanja volumena sive tvari u području *gyrus temporalis superior* od 17,8 %<sup>28</sup>. No istraživanja uz pomoć MRI-ja Vadmude i suradnika te Knausa i suradnika nisu uspjela potvrditi ove nalaze, odnosno nisu potvrdila spolne razlike u ovom području<sup>29,30</sup>.

Good navodi i povećanje volumena sive tvari u stražnjem dijelu lijevog *gyrus frontalis inferior* (Brokino područje kore mozga vezano je uz motornu funkciju govora, Brokino područje u lijevoj hemisferi smatra se dominantnim u jezičnom funkcioniranju)<sup>20</sup>. Rezultati MRI studije koju je proveo Schlaepfer sa suradnicima pokazali su da Brokino područje ima 23 % više volumena kod žena u odnosu na muškarce<sup>25</sup>, što je potvrdilo Harastyjeve rezultate dobivene *postmortem* koji kažu da *gyrus frontalis inferior* ima za 20 % veći volumen sive tvari kod žena<sup>28</sup>. Zbog razlika u građi Brokinog područja, mozak žena ima mogućnost da procesira govor obostrano, dok muškarci koriste Brokino područje samo u lijevoj hemisferi<sup>31,32</sup>. Ova je razlika primjetna od rane životne dobi<sup>33</sup>. Rademacher i suradnici opisuju povećanje volumena sive tvari slušnog korteksa kod žena u području temporalnog režnja posebno desne hemisfere, što je potvrdilo i istraživanje Leonarda sa suradnicima<sup>17,34</sup>. *Gyrus temporalis transversus* (Heschlova vijuga), koji se smatra primarnim slušnim područjem, za 11 % je veći na lijevoj strani i 15 % na desnoj strani kod žena<sup>17</sup>. Također, u tom području pronađeno je značajno zadebljanje kore mozga kod žena<sup>17,26,35</sup>.

Nadalje, postoje razlike i u parijetalnom režnju koji je odgovoran za svjesno osjećanje tjelesnog osjeta<sup>3</sup>. Nopoulos sa suradnicima proveo je istra-

živanje uz pomoć magnetske rezonancije u koje je uključio 42 zdrave žene i 42 zdrava muškarca. Utvrdio je da muškarci imaju statistički značajno veći intrakranijalni volumen moždanog tkiva u odnosu na žene, ali odnos sive i bijele tvari u cjelini je sličan kod muških i ženskih mozgova. No u području parijetalnog režnja jasno je istaknut spolni dimorfizam. U parijetalnom režnju desne hemisfere žene imaju značajno više sive tvari u odnosu na muškarce. Iako funkcionalna značajnost ovog otkrića nije u potpunosti jasna, ova razlika može biti posljedica djelovanja spolnih hormona tijekom rasta i razvoja<sup>7</sup>.

*Lobulus parietalis inferior* (LPI) dio je parijetalnog režnja smješten ispod *sulcus intraparietalis*. U sastavu LPI-ja su dvije manje vijuge, *gyrus angularis* i *gyrus supramarginalis*<sup>3</sup>. LPI pripada heteromodalnom dijelu moždane kore koji također uključuje i *planum temporale*, stražnji dio prefrontalnog područja kore mozga i Brokino područje te se vjeruje da povezuje sve aspekte mentalnih funkcija s obzirom na to da stoji u vezi i s drugim dijelovima heteromodalne kore mozga, kao i s limbičkim sustavom i hipotalamusom<sup>36,37</sup>. Funkcionalno ovaj dio mozga ima ulogu u obradi informacija koje dolaze iz vidnih, slušnih i somatosenzornih područja kore mozga. Uključen je u interpretaciju osjetnih podražaja, razumijevanje jezika, matematičke operacije te je uključen u percepciju prostora, odnosno percepciju tijela prema okolini<sup>38-41</sup>. *Gyrus angularis* služi za vidno razumijevanje slova, što nam omogućava čitanje. Rezultati istraživanja Frederiksa i suradnika govore da je LPI značajno veći u muškaraca nego u žena<sup>42</sup>. Također je pronađena hemisferna asimetrija koja je karakteristična za muškarce kod kojih je lijevi LPI veći od desnog<sup>43,44</sup>. Jedna od pretpostavki je da je ovo područje veće kod fizičara i matematičara s obzirom na korelaciju LPI-ja i matematičkih sposobnosti. Lijevi LPI povezan je s percepcijom vremena i brzine, te sa sposobnošću mentalne rotacije, što se može tumačiti da su muškarci bolji u rotaciji 3D figura (primjer je Rubikova kocka koju većina muškaraca složi brže nego žene)<sup>44</sup>. Istraživanja su pokazala da je desni LPI povezan s razumijevanjem prostornih odnosa kao i sposobnosti razumijevanja odnosa pojedinih dijelova tijela. Općenito se može reći da LPI omogućava mozgu da procesira informacije koje dolaze iz osjetila i pomaže selektirati pažnju i percepciju<sup>45</sup>.

Također, seksualni dimorfizam izražen u LPI-ju može biti temelj kognitivnih razlika između spolova, pa tako, primjerice, žene imaju bolje verbalne sposobnosti te su bolje usredotočene na određene podražaje poput dječjeg plača, dok su muškarci bolji u snalaženju u prostoru<sup>44,46-48</sup>.

*Gyrus rectus* je mala vijuga smještena na bazalnoj površini čeonog režnja, medijalno od olfaktorne brazde<sup>3</sup>, funkcionalno je uključena u socijalnu kogniciju i za 10 % je veća u muškaraca<sup>49</sup>.

Mnoga istraživanja spolnih razlika, pogotovo istraživanja u području omjera sive i bijele tvari te veličine najveće komisure mozga, korpusa kalozuma, daju oprečne rezultate koji prvenstveno ovise o metodi istraživanja. No postoje područja mozga, poput hipotalamusa i pojedinih dijelova kore mozga, gdje je spolni dimorfizam vrlo jasno izražen i definiran.

#### BAZALNI GANGLIJI I HIPOKAMPUS

Bazalni gangliji su jezgre, odnosno nakupine sive tvari u unutrašnjosti hemisfere. U bazalne ganglije ubrajamo *nucleus caudatus*, *nucleus lentiformis* i *claustrum*. Njihova je uloga da sudjeluju u usklađivanju motoričkih funkcija. Četvrta jezgra, *corpus amygdaloideum* smještena je u vrhu sljepoočnog režnja i funkcionalno pripada limbičkom sustavu, a jedna od njegovih funkcija je da sudjeluje u pohranjivanju sjećanja kod emocionalnih događanja<sup>3,50</sup>.

Hipokampus predstavlja uvrnuti dio kore mozga smješten u dnu *sulcus hippocampi*. Funkcionalno pripada limbičkom sustavu i njegova se uloga povezuje s emocijama te prebacivanjem kratkoročnog pamćenja u dugoročno<sup>3</sup>.

Razlike u gustoći sive tvari otkrivene su u području bazalnih ganglija te kod struktura limbičkog sustava. *Nucleus caudatus* proporcionalno je veći kod žena bez obzira na dob i korištenu metodologiju<sup>8,11,19</sup>. Također su opisane razlike u veličini *corpus amygdaloideuma* te hipokampusu. Veći hipokampus pronađen je u žena<sup>51</sup>, a *corpus amygdaloideum* u muškaraca<sup>8,52,53</sup>. Jedno od logičnih objašnjenja za ove razlike je različitost receptora koji se očituju u ovim područjima. U području hipokam-

pusa prevladavaju estrogene receptori<sup>54</sup>, dok je u amigdalima izražena viša razina androgenih receptora<sup>55</sup>.

Rezultati MRI studija provedene u dječjoj dobi potvrđuju nalaze dobivene kod odraslih osoba, odnosno, rezultati su pokazali da je nukleus kaudatus relativno veći u djevojčica, a korpus amigdaloidium u dječaka<sup>56</sup>. Nadalje, potvrđeno je da su amigdala povezana s različitim dijelovima mozga kod muškaraca i kod žena. Kod muškaraca je desni korpus amigdaloidium aktivniji te je povezan s vidnom korom, nukleus kaudatusom i nukleus lentiformisom, bazalnim ganglijem odgovornim za koordinaciju motornih radnji. Kod žena veću aktivnost pokazuje lijevi korpus amigdaloidium koji je povezan s korom insule i hipotalamusom<sup>50</sup>. I mnoge funkcionalne studije pokazale su lateralizaciju korpusa amigdaloidiuma, odnosno da je kod pohrane emocionalnih događaja kod žena aktivniji lijevi korpus amigdaloidium, a kod muškaraca desni<sup>56,57</sup>.

#### RAZLIKE U VELIČINI KOMISURA

*Corpus callosum* je najveća komisura našeg mozga čija je uloga da povezuje desnu i lijevu hemisferu. Smješten je u dnu *fissurae longitudinalis cerebri*<sup>3</sup>. Istraživanja spolnog dimorfizma korpusa kalozuma vrlo su intenzivna, no dobiveni rezultati su oprečni te još uvijek nema jasnih stavova o spolnom dimorfizmu kad je u pitanju najveća komisura našeg mozga. Jedan dio radova izvještava kako je korpus kalozum veći u žena nego u muškaraca, što se dovodi u vezu s boljom povezanošću hemisfera i boljim protokom informacija kod žena<sup>17</sup>. No Allen u svom istraživanju nije pronašla razlike u veličini koje su vezane uz spol, iako navodi značajne razlike u obliku korpusa kalozuma<sup>59</sup>. Kod žena zadebljali stražnji dio, *splenium*, ima zaobljen oblik, dok je kod muškaraca više cjevastog oblika. Također žene imaju širi korpus kalozum<sup>59,60</sup>. Istraživanja pri kojima je korištena metoda MRI ne pokazuju spolni dimorfizam, ali opisuju jače izraženu debljinu korpusa kalozuma u prednjoj trećini desne strane kod muškaraca. Ovaj nalaz doveden je u vezu s korištenjem ruke, odnosno lijevoruki muškarci imaju veći korpus kalozum, dok kod žena takva razlika nije primijećena<sup>61</sup>. Bishop navodi da korpus kalozum pokazuje

spolnu dimorfnost te da žene imaju veći splenijum u odnosu na muškarce<sup>62,63</sup>, no metaanaliza koja je obuhvatila 49 radova otkriva da nema značajnijih spolnih razlika u veličini i obliku splenijuma korpusa kalozuma<sup>63</sup>.

Noviji radovi koji su koristili metodu difuzne traktografije (engl. *Diffusion Tensor Imaging*; DTI) dokazali su da muškarci imaju značajno veće vrijednosti frakcionalne anizotropije (frakcionalna anizotropija daje prikaz gustoće vlakana, dijametar živčanih vlakana te mijelinizaciju vlakana u bijeloj tvari mozga) i manju radijalnu difuznost u prednjem dijelu korpusa kalozuma u odnosu na žene<sup>64-66</sup>. Od ostalih komisura, jasno definiran spolni dimorfizam izražen je kod *commisurae anterior*. Uloga ove komisure je da povezuje njušne centre desne i lijeve hemisfere. Komisura anterior je za 28 % veća u žena nego u muškaraca<sup>67</sup>.

Također, lijevi i desni talamus može povezivati snop živčanih vlakana koji prolazi šupljinom III komore i naziva se *adhesio interthalamica* ili *massa inermidia*. Allen u svom istraživanju navodi da je ova komisura prisutna u 78 % žena i 68 % muškaraca te da je u prosjeku za 53 % veća kod žena, što jasno ukazuje na spolni dimorfizam<sup>68</sup>.

#### HIPOTALAMUS

Hipotalamus je smješten na bazalnoj površini mozga i predstavlja jedni vidljiv dio međumozga<sup>3</sup>. Iako predstavlja tek 1 % volumena čitavog mozga, kontrolira većinu životno važnih funkcija. Hipotalamus je područje s najbolje izraženim spolnim dimorfizmom u ljudskom mozgu.

Prva istraživanja medijalnog preoptičkog područja u štakora definirala su jezgru koja je kod mužjaka bila dva i pol puta veća nego kod ženki<sup>69</sup>. Jezgra je nazvana spolno dimorfnom jezgrom te je dokazano da je hormonski kontrolirana za vrijeme spolne diferencijacije mozga<sup>70,71</sup>. Istraživanja na životinjama otvorila su put istraživanjima spolnog dimorfizma hipotalamusa kod ljudi. Swaab sa suradnicima istraživao je područje prednjeg hipotalamusa u čovjeka i pronašao je skupinu jezgara koja je kod muškaraca veća nego u žena. Nazvao ih je spolno dimorfnom jezgrom preoptičkog područja (engl. *sexually dimorphic nucleus, preoptic area*; SDN – POA) i pretpostavio je da bi te jezgre odgovarale spolno dimorfnoj jezgri u štakora<sup>72,73</sup>.

Allen i suradnici u svom istraživanju nisu potvrdili različitost u građi ove jezgre između muškaraca i žena, te su je nazvali intersticijska jezgra prednjeg hipotalamusa (engl. *Interstitial nucleus anterior hypothalamus*; INAH1), no u tom istom području otkrili su tri nove jezgre i nazvali ih INAH 2, INAH 3 i INAH 4. INAH 3 jezgra ima veći volumen kod muškaraca, dok kod INAH 2 i INAH 4 nisu pronađene razlike u građi između muškaraca i žena<sup>74</sup>. I druga su istraživanja potvrdila da je INAH 3 jezgra istovjetna spolno dimorfnoj jezgri u štakora te je slično kao i kod štakora dva i pol puta veća kod muškaraca u odnosu na žene<sup>75-77</sup>. Osim toga INAH 3 kod muškaraca sadrži 2,3 puta više neurona<sup>78</sup>. Smatra se da je u trenutku rođenja prisutno samo 20 % stanica u ovim jezgrama. Njihov se broj do četvrte godine rapidno povećava kod obaju spolova, a nakon tog razdoblja kod djevojčica započinje smanjivanje broja stanica, što dovodi do spolnih razlika u starijoj dobi<sup>79</sup>. Kod ostalih jezgara nije dokazan spolni dimorfizam, odnosno, rezultati su pokazali da nema razlike u volumenu ovih jezgara između spolova<sup>76</sup>.

Osim intersticijskih jezgara i suprahijazmatska jezgra hipotalamusa, uključena u cirkadijalne ritmove i reprodukcijski ciklus, različitog je oblika kod žena i muškaraca. Kod žena je izduženog oblika, a kod muškaraca ima sferičan oblik<sup>79</sup>. Seksualni dimorfizam primjećuje se u i mamilarnim jezgrama koje primaju ulazne podražaje iz hipokampusa te su putem forniksa uključene u procese spoznaje<sup>80</sup>.

#### MALI MOZAK

Mali mozak dio je mozga odgovoran za koordinaciju motorike i ravnoteže. Ranija *postmortem* istraživanja izvještavaju da je ukupan broj Purkinjeovih stanica za 6 – 8 % veći kod muškaraca<sup>81</sup>. Rezultati istraživanja spolnog dimorfizma malog mozga uz pomoć MRI-ja pokazali su da muškarci imaju veće hemisfere malog mozga te prednji dio vermisa u odnosu na žene<sup>82-84</sup>. Leonard navodi da muškarci imaju čak za 10 % veći volumen malog mozga u odnosu na žene, bez obzira na ukupni volumen mozga<sup>17</sup>.

#### ZAKLJUČAK

Morfološka i funkcionalna istraživanja mozgovog muškaraca i žena jasno su pokazala da postoje ra-

zlike koje se mogu pripisati spolu. Dokazano je da te spolne razlike utječu na mnoge funkcije mozga i da se svakako trebaju uzeti u obzir prilikom interpretiranja rezultata kliničkih studija. Spolni dimorfizam izražen u mozgu javlja se u svim fazama života zbog genetskih i hormonalnih djelovanja.

**Izjava o sukobu interesa:** Autori izjavljuju da ne postoji sukob interesa.

#### LITERATURA

- Lillienfeld SO, Lynn SJ, Ruscio J, Beyerstein BL. 50 great myths of popular psychology: Shattering widespread misconceptions about human behavior. Wiley-Blackwell, 2009.
- Kimura, D. Sex differences in the brain. *Scientific American* 2002;12:32-7.
- Križan Z. Središnji živčani sustav. In: Pregled građe glave, vrata i leđa. Zagreb: Školska knjiga, 1999;122-59.
- Cosgrove KP, Mazure CM, Staley JK. Evolving knowledge of sex differences in brain structure, function, and chemistry. *Biol Psychiatry* 2007;62:847-55.
- Zaidi, ZF. Gender differences in human brain: a review. *The Open Anatomy Journal* 2010;2:37-55.
- Allen JS, Damasio H, Grabowski TJ, Bruss J, Zhang W. Sexual dimorphism and asymmetries in the graywhite composition of the human cerebrum. *Neuroimage* 2003;18:880-94.
- Nopoulos P, Flaum M, O'Leary D, Andreasen NC. Sexual dimorphism in the human brain: evaluation of tissue volume, tissue composition and surface anatomy using magnetic resonance imaging. *Psychiatry Res* 2000;98:1-13.
- Giedd JN, Castellanos FX, Rajapakse JC, Vaituzis AC, Rapoport JL. Sexual dimorphism of the developing human brain. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry* 1997;21:1185-201.
- Reiss AL, Abrams MT, Singer HS, Ross JL, Denckla MB. Brain development, gender and IQ in children. A volumetric imaging study. *Brain* 1996;119:1763-74.
- Goldstein JM, Seidman LJ, Horton NJ, Makris N, Kennedy DN, Caviness VS Jr. Faraone SV, Tsuang MT. Normal Sexual Dimorphism of the Adult Human Brain Assessed by In Vivo Magnetic Resonance Imaging. *Cereb Cortex* 2001;11:490-7.
- Luders E, Gaser C, Narr KL, Toga AW. Why sex matters: Brain size independent differences in gray matter distributions between men and women. *J Neurosci* 2009;29:14265-70.
- Rabinowicz T, Dean DE, Petetot JM, de Courten-Myers GM. Gender differences in the human cerebral cortex: more neurons in males; more processes in females. *J Child Neurol* 1999;14:98-107.
- Ho KC, Roessmann U, Straumfjord JV, Monroe G. Analysis of brain weight. II. Adult brain weight in relation to body height, weight, and surface area. *Arch Pathol Lab Med* 1980;104:640-5.
- Witelson SF, Glezer II, Kigar DL. Women have greater density of neurons in posterior temporal cortex. *J Neurosci* 1995;15:3418-28.

15. Gur RC, Turetsky BI, Matsui M, Yan M, Bilker W, Hughett P et al. Sex differences in brain gray and white matter in healthy young adults: correlations with cognitive performance. *J Neurosci* 1999;19:4065-72.
16. Kaufmann CWM, Putz B, Auer D. Gender differences in brain morphology: Voxel Based Morphometry in 102 healthy young women and men. *Proc Intl Soc Mag Reson Med* 2001;9:1373.
17. Leonard CM, Towler S, Welcome S, Halderman LK, Otto R, Eckert MA et al. Size matters: cerebral volume influences sex differences in neuroanatomy. *Cereb Cortex*. 2008;18:2920-31.
18. Luders E, Narr KL, Thompson PM, Woods RP, Rex DE, Jancke L et al. Mapping cortical gray matter in the young adult brain: Effects of gender. *Neuroimage* 2005;26:493-501.
19. Filipek PA, Richelme C, Kennedy DN, Caviness VS Jr. The young adult human brain: An MRI-based morphometric analysis. *Cerebral Cortex* 1994;4:344-60.
20. Good CD, Johnsrude I, Ashburner J, Henson RN, Friston KJ, Frackowiak RS. Cerebral asymmetry and the effects of sex and handedness on brain structure: a voxel-based morphometric analysis of 465 normal adult human brains. *Neuroimage* 2001;14:685-700.
21. Gur RC, Gunning-Dixon F, Bilker WB, Gur RE. Sex Differences in Temporo-limbic and Frontal Brain Volumes of Healthy Adults. *Cereb Cortex* 2002;12:998-1003.
22. Natale M, Gur RE, Gur RC. Hemispheric asymmetries in processing emotional expressions. *Neuropsychologia* 1983;21:555-65.
23. Asthana HS, Mandal MK. Hemifacial asymmetry in emotion expressions. *Behav Modif* 1998;22:177-83.
24. Geary DC. Chapter 8: sex differences in brain and cognition. *In: Male, female: the evolution of human sex differences*. Washington D.C.: American Psychological Association Books, 1998;153.
25. Schlaepfer TE, Harris GJ, Tien AY, Peng L, Lee S, Pearlson GD. Structural differences in the cerebral cortex of healthy female and male subjects: a magnetic resonance imaging study. *Psychiatry Res* 1995;61:129-35.
26. Luders E, Narr KL, Thompson PM, Rex DE, Woods RP, DeLuca H et al. Gender effects on cortical thickness and the influence of scaling. *Hum Brain Mapp* 2006;27:314-24.
27. Witelson SF, Glezer II, Kigar DI. Women have greater density of neurons. *J Neurosci* 1995;15:3418-28.
28. Harasty J, Double KL, Halliday GM, Kril JJ, McRitchie DA. Language-associated cortical regions are proportionally larger in the female brain. *Arch Neurol* 1997;54:171-6.
29. Vadlamudi L, Hatton R, Byth K, Harasty J, Vogrin S, Cook MJ et al. Volumetric analysis of a specific language region—the planum temporale. *J Clin Neurosci* 2006;13:206-13.
30. Knaus TA, Corey DM, Bollich AM, Lemen LC, Foundas AL. Anatomical asymmetries of anterior perisylvian speech-language regions. *Cortex* 2007;43:499-510.
31. Shaywitz BA, Shaywitz SE, Pugh KR, Constable T, Skudlarski P, Fulbright RK et al. Sex differences in the functional organization of the brain for language. *Nature* 1995;373:607-9.
32. Schlösser R, Hutchinson M, Joseffer S, Rusinek H, Saarimäki A, Stevenson J et al. Functional magnetic resonance imaging of human brain activity in a verbal fluency task. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1998;64:492-8.
33. Burmann DD, Bitan T, Booth JR. Sex differences in neural processing of language among children. *Neuropsychologia* 2008;46:1349-62.
34. Rademacher J, Morosan P, Schleicher A, Freund HJ, Zilles K. Human primary auditory cortex in women and men. *Neuroreport* 2001;12:1561-5.
35. Sowell ER, Peterson BS, Kan E, Woods RP, Yoshii J, Bansal R et al. Sex differences in cortical thickness mapped in 176 healthy individuals between 7 and 87 years of age. *Cereb Cortex* 2007;17:1550-60.
36. Mesulam MM. From sensation to cognition. *Brain* 1998;121:1013-52.
37. Zec RF, Weinberger DR. *Handbook of schizophrenia*. Vol. 1: The neurology of schizophrenia. New York: Elsevier, 1986.
38. Cutting J. Delusional misidentification and the role of the right hemisphere in the appreciation of identity. *Br J Psychiat Suppl* 1991;14:70-5.
39. Jonides J, Smith EE, Koeppe RA, Awh E, Minoshima S, Mintun MA. Spatial working memory in humans as revealed by PET. *Nature* 1993;363:623-5.
40. Dehaene S, Spelke E, Pinel P, Stanescu R, Tsivkin S. Sources of mathematical thinking: behavioral and brain-imaging evidence. *Science* 1999;284:970-4.
41. Carlson NR. *Physiology of Behavior*. 11th Edition. New Jersey: Pearson, 2012;268-75.
42. Frederikse AL, Aylward E, Barta P, Pearlson G. Sex Differences in the inferior parietal lobule. *Cereb Cortex* 1999;9:896-901.
43. Eidelberg D, Galaburda AM. Inferior parietal lobule. Divergent architectonic asymmetries in the human brain. *Arch Neurol* 1984;41:843-52.
44. Sabbatini RME. Are there differences between the brains of males and females? *Brain Mind Mag* [Internet]. 1997. [cited 2015 Jan 12] Available from: <http://www.cerebromente.org.br/n11/mente/eisntein/cerebro-homens.html>
45. Alivisatos B, Petrides M. Functional activation of the human brain during mental rotation. *Neuropsychologia* 1997;35:111-8.
46. Bakan P, Putnam W. Right–left discrimination and brain lateralization. Sex differences. *Arch Neurol* 1974;30:334-5.
47. Gladue BA, Beatty WW, Larson J, Staton RD. Sexual orientation and spatial ability in men and women. *Psychobiology* 1990;18:101-8.
48. Holden C. Is 'gender gap' narrowing? *Science* 1991;253:959-60.
49. Wood JL, Heitmiller D, Andreasen NC, Nopoulos P. Morphology of the ventral frontal cortex: relationship to femininity and social cognition. *Cereb Cortex* 2008;18:534-40.
50. McGaugh JL. The amygdala modulates the consolidation of memories of emotionally arousing experiences. *Ann Rev Neurosci* 2004;27:1-28.
51. Madeira MD, Lieberman AR. Sexual dimorphism in the mammalian limbic system. *Prog Neurobiol* 1995;45:275-333.
52. Goldstein JM. Sex, hormones and affective arousal circuitry dysfunction in schizophrenia. *Hormones and Behavior* 2006;50:612-22.
53. Wilke M, Krägeloh-Mann I, Holland SK. Global and local development of gray and white matter volume in normal children and adolescents. *Experimental brain rese-*

- arch Experimentelle Hirnforschung Expérimentation cérébrale 2007;178:296-307.
54. Gundlah C, Kohama SG, Mirkes SJ, Garyfallou VT, Urbanski HF, Bethea CL. Distribution of estrogen receptor beta (ERbeta) mRNA in hypothalamus, midbrain and temporal lobe of spayed macaque: continued expression with hormone replacement. *Brain Res Mol Brain Res* 2000;76:191-204.
  55. Clark AS, MacLusky NJ, Goldman-Rakic PS. Androgen binding and metabolism in the cerebral cortex of the developing rhesus monkey. *Endocrinology* 1988;123: 932-40.
  56. Sarah D, Pol H, Hilleke E, Casey B, Giedd JN, Biutelaar JK et al. Anatomical MRI of the developing human brain: What have we learned? *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry* 2001;40:1012-20.
  57. Cahill L, Haier RJ, White NS, Fallon J, Kilpatrick I, Lawrence C et al. Sex-related difference in amygdala activity during emotionally influenced memory storage. *Neurobiol Learn Mem* 2001;75:1-9.
  58. Cahill L, Uncapher M, Kilpatrick L, Alkire MT, Turner J. Sex-related hemispheric lateralization of amygdala function in emotionally influenced memory: an fMRI investigation. *Learn Mem* 2004;11:26-6.
  59. Allen JS, Damasio H, Grabowski TJ, Bruss J, Zhang W. Sexual dimorphism and asymmetries in the gray-white composition of the human cerebrum. *NeuroImage* 2003;18:880-94.
  60. Ribeiro PJ, Cricenti V SV, Lancellotti CL. Encephalometry on the medial face of the human brain hemisphere: a necropsy study. *Arq Neuropsiquiatr* 2005;63:430-6.
  61. Luders E, Rex DE, Narr KL, Woods RP, Jancke L, Thompson PM et al. Relationships between sulcal asymmetries and corpus callosum size: gender and handedness effects. *Cereb Cortex* 2003;13:1084-93.
  62. Holloway RL, Anderson PJ, Defendini R, Harper C. Sexual dimorphism of the human corpus callosum from three independent samples: relative size of the corpus callosum. *Am J Phys Anthropol* 1993;92:481-98.
  63. Bishop KM, Wahlsten D. Sex differences in the human corpus callosum: myth or reality? *Neurosci Biobehav Rev* 1997;21:58-601.
  64. Shin YW, Kim DJ, Ha TH, Park HJ, Moon Wj, Chung EC et al. Sex differences in the human corpus callosum: diffusion imaging. *Neuroreport* 2005;16:795-8.
  65. Menzler K, Belke M, Wehrmann E, Krakow K, Lengler U, Jansen A et al. Man and women are different<. diffusion tensor imaging reveals sexual dimorphism in the microstructure of the thalamus, corpus callosum and cingulum. *Neuroimage* 2011;54:2557-62.
  66. Westerhausen R, Kompus K, Dramsdahl M, Falkenberg LE, Grüner R, Hjelmervik H et al. A critical re-examination of sexual dimorphism in the corpus callosum microstructure. *Neuroimage* 2011;56:874-80.
  67. Allen LS, Gorski RA. Sexual dimorphism of the anterior commissure and massa intermedia of the human brain. *J Comp Neurol* 1991;312:97-104.
  68. Allen LS, Gorski LA. Sexual orientation and the size of the anterior commissure in the human brain. *Proc Natl Acad Sci* 1992;89:7199-202.
  69. Gorski RA, Gordon JH, Shryne JE, Southam AM. Evidence for a morphological sex difference within the medial preoptic area of the rat brain. *Brain Research* 1978;148: 333-46.
  70. Döhler KD, Coquelin A, Davis F, Hines M, Shryne JE, Gorski RA. Differentiation of the sexually dimorphic nucleus in the preoptic area of the rat brain is determined by the perinatal hormone environment. *Neurosci Lett* 1982; 33:295-8.
  71. Sakuma Y. Gonadal steroid action and brain sex differentiation in the rat. *J Neuroendocrinol* 2009;21:410-4.
  72. Swaab DF, Fliers E. A sexually dimorphic nucleus in the human brain. *Science* 1985;228:1112-4.
  73. Hofman MA, Swaab DF. The sexually dimorphic nucleus of the preoptic area in the human brain: a comparative morphometric study. *J Anat* 1989;164:55-72.
  74. Allen LS, Hines M, Shryne JE, Gorski RA. Two sexually dimorphic cell groups in the human brain. *J Neurosci* 1989;9:497-506.
  75. Raisman G, Field PM. Sexual dimorphism in the preoptic area of the rat. *Science* 1971;173:731-3.
  76. LeVay S. A difference in hypothalamic structure between heterosexual and homosexual men. *Science* 1991;253: 1034-7.
  77. Morris AJ, Jordan LJ, Breedlove SM. Sexual differentiation of the vertebrate nervous system. *Nature Neurosci* 2004;7:1034-9.
  78. Byne W, Tobet S, Mattiace LA, Lasco MS, Kemether E, Edgar MA et al. The interstitial nuclei of the human anterior hypothalamus: an investigation of variation with sex, sexual orientation, and HIV status. *Horm Behav* 2001;40:86-92.
  79. Swaab DF. Development of the human hypothalamus. *Neurochem Res* 1995;20:509-19.
  80. Fernandez-Guasti A, Kruijver FPM, Fodor M, Swaab DF. Sex differences in the distribution of androgen receptors in the human hypothalamus. *J Comp Neurol* 2000;425:422-35.
  81. Hall TC, Miller AKH, Corsellis JAN. Variations in the human Purkinje cell population according to sex and age. *Neuropathol Appl Neurobiol* 1975;1:267-92.
  82. Raz N, Dupuis JH, Briggs SD, McGavran C, Acker JD. Differential effects of age and sex on the cerebellar hemispheres and the vermis: a prospective MR study. *AJNR Am J Neuroradiol* 1998;19:65-71.
  83. Raz N, Dixon F, Williamson A, Head D. Age and sex differences in the cerebellum and the ventral pons: a prospective MR study of healthy adults. *AJNR Am J Neuro-radiol* 2001;22:1161-7.
  84. Chung SC, Lee BY, Tack GR, Lee SY, Eom JS, Sohn JH. Effect of age, gender and weight on the cerebellar volume of Korean people. *Brain Res* 2005;1042:233-5.