

Evolucija jezika

Škiljaica, Andreja

Undergraduate thesis / Završni rad

2014

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:317844>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-24**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO – MATEMATIČKI FAKULTET
BIOLOŠKI ODSJEK

Evolucija jezika The Evolution of Language

SEMINARSKI RAD

Andreja Škiljaica
Preddiplomski studij molekularne biologije
(Undergraduate Study of Molecular Biology)
Mentor: izv. prof. dr. sc. Dubravka Hranilović

Zagreb, 2014.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. TEORIJE O EVOLUCIJI JEZIKA.....	1
2.2. Teorije o evoluciji jezika – staro i novo ruho	2
2.3. Vokalizacijski model	3
2.4. Gestikulacijski model	4
3. JEZIK.....	6
3.1. Jezik iz lingvističke perspektive	6
3.2. Jezik iz biološke perspektive	6
3.3. Neuralna osnova jezika.....	7
3.3.1. Razumijevanje jezika	8
3.3.2. Produkcija jezika	10
3.4. Anatomija govora	11
3.5. Genska osnova jezika.....	13
4. ZAKLJUČAK.....	14
5. LITERATURA.....	15
6. SAŽETAK.....	17
7. SUMMARY	17

1. UVOD

Pitanje jezika od davnih je vremena fasciniralo znanstveni svijet. Činjenica da je *Homo sapiens* jedina vrsta sposobna za kompleksnu jezičnu komunikaciju nije ostala nezamijećena i tijekom povijesti je potaknula mnoga istraživanja, teorije i debate. Budući da jezik uključuje kompleksne kognitivne procese, poduprte velikim brojem međusobno povezanih moždanih struktura, te govornu komponentu, poduprtu specifično formiranim vokalnim traktom, svaka vjerodostojna teorija o evoluciji jezika morala bi objasniti porijeklo ovih fenomena (Fitch 2010). Osnovni problem koji znatno usporava proučavanje evolucije jezika činjenica je da vokalni trakt i mozak ne fosiliziraju (Ghazanfar i Miller 2006). Stoga su znanstvenici morali pribjeći indirektnim istraživanjima jezika – testiranjima na čovjekolikim majmunima, neurološkim analizama ljudi s jezičnim deficitima te, u novije vrijeme, neinvazivnim neurološkim metodama (Horwitz i Wise, 2008).

Cilj ovog rada bio je pristupiti temi jezika iz nekoliko različitih perspektiva te, na temelju rezultata konkretnih istraživanja, dati okvirni pregled osnovnih teorija o evoluciji jezika, kao i njegove biološke osnove.

U poglavlju *Teorije o evoluciji jezika* prikazan je kratak povijesni pregled, kao i najznačajniji modeli u području jezične evolucije. U poglavlju *Jezik* navedeni su lingvistički aspekti jezika, kao i opći kognitivni procesi vezani uz jezični fenomen. Nakon toga, slijedi pregled neuralne osnove za razumijevanje i produkciju jezika, specifičnosti ljudskog vokalnog trakta i njemu pridruženih struktura te konačno osvrt na gensku osnovu jezika.

2. TEORIJE O EVOLUCIJI JEZIKA

2.1. Komunikacija, jezik i govor

Prije nego što započne bilo kakva priča o jeziku, potrebno je razjasniti nekoliko veoma različitih pojmova. Prva značajna razlika postoji između pojmova *jezik* i *komunikacija*. Sve životinje komuniciraju na ovaj ili onaj način – ptice pjevom, leptiri kemijskim tragovima, psi lajanjem i režanjem, majmuni kompleksnim setom vokalnih signala itd. Čak i kod čovjeka postoji niz sličnih načina komunikacije – smijeh i plač, različite geste, poput podignutog palca, čak i glazba. Nijedan od ovih primjera ne predstavlja *jezik*. Odnosno, može se reći da je jezik samo jedan od mnogih oblika komunikacije (Fitch 2010).

Sljedeće razjašnjenje odnosi se na razliku između *jezika* i *govora*. Jezik je širi pojam i odnosi se na sve kognitivne i motoričke procese vezane uz izricanje kompleksnih misli, dok je govor uži pojam koji predstavlja *vokalizaciju* tih misli, što je samo jedan od načina prenošenja

jezika, uz pismo i znakovni jezik (Fitch 2005). Budući da je govor ujedno i najrašireniji način prenošenja jezičnih informacija, o evoluciji govora bit će riječi u kasnijim poglavljima.

2.2. Teorije o evoluciji jezika – staro i novo ruho

Podrijetlo jezika prvi se puta u zapadnjačkoj tradiciji spominje u Knjizi Postanka i ondje se o jeziku govori kao posebnoj sposobnosti koju je Bog dodijelio isključivo čovjeku. Sve do dvadesetog stoljeća, svaka ideja o postanku jezika bila je ograničena kontekstom tog biblijskog viđenja, što je znatno ograničilo filozofska razmišljanja. Jedna od rijetkih nereligioznih teorija o postanku jezika bila je onomatopejska teorija Johanna Gottfrieda Herdera iz 1772. koja govori da riječi imaju porijeklo u onomatopeji, odnosno oponašanju zvukova iz prirode. Iako se danas čini apsurdnom, u kontekstu svog vremena, ova teorija predstavlja inovativan primjer hipoteze o postanku jezika (Fitch 2010).

Čak i nakon objave Darwinovog *Postanka vrsta* iz 1859., teorije o postanku jezika nisu se znatno pomaknule sa svog religijom utabanog puta što je dodatno osigurala poznata zabrana svake rasprave o evoluciji jezika, donešena 1866. godine odlukom Pariškog lingvističkog društva. Odluka je uskoro poništena, ali je tema evolucije jezika neko vrijeme ostala 'zanemarena', da bi ponovno došlo do povećanog interesa za ovo područje, prvo 1960-ih (najviše djelovanjem Noama Chomskoga), a onda opet 1990-ih godina (potaknuta utjecajnim radom Stevena Pinkera i Paula Blooma) (Corballis 2009). Chomsky u svojoj hipotezi navodi da jezik nije nastao prirodnom selekcijom, već predstavlja egzaptaciju, odnosno pretpostavlja da je prvo došlo do povećanja volumena i razvoja mozga, a zatim se na tom temelju razvila sposobnost jezika (Chomsky 1972). Pinker i Bloom (1990) pak ističu prirodnu selekciju kao glavni mehanizam razvoja jezika. Mogućnost prenošenja informacija, bilo radi jačanja socijalne svijesti, upozoravanja na predatore ili podučavanja potomaka, bila je iznimna adaptivna prednost za ljudsku populaciju i zbog toga je došlo do usavršavanja jezika, odnosno postupnog prilagođavanja mozga, vokalnog trakta i slušnog kanala jezičnoj sposobnosti.

Još i danas ne postoji suglasje oko *razloga* nastanka jezika, a isto tako, nije sigurno ni iz čega se jezik razvio. Moderna razmišljanja o evoluciji jezika gotovo univerzalno prihvaćaju koncept *protojezika* kao nužnog stadija u evoluciji hominida. Protojezik je intermedijarno stanje između jezika današnjeg modernog čovjeka i njegovih davnih predaka koji su tek pokušavali pronaći način za komunikaciju (Fitch 2010). U ovom kontekstu, slijedi pregled dvaju najznačajnijih modela među modernim teorijama o evoluciji jezika: vokalizacijskog i gestikulacijskog modela.

2.3. Vokalizacijski model

Neki primatolozi vjeruju da postoje mnoge sličnosti između ljudskog govora i vokalizacija u čovjekolikih majmuna (por. *Hominidae*). Istraživanja su pokazala da vokalno procesiranje kod makakija, kao i kod čovjeka, uzrokuje veću aktivnost lijeve moždane hemisfere (Hauser i Andersson 1994). Poremba i suradnici (2004) su pomoću pozitronske emisijske tomografije mozga rhesus majmuna (*Macaca mulatta*) ustanovili da glasanja pripadnika iste vrste kod slušatelja uzrokuju pojačanu aktivnost u prednjem dijelu lijevog čeonog režnja. Kod čovjeka, ova je regija uključena u procesiranje jezika (Hasson i Small 2008). Iako se čini logičnim da bi vokalizacije čovjekolikih majmuna mogle biti povezane s ljudskim jezikom, dokazi da je produkcija vokalizacija kod čovjekolikih majmuna pod kontrolom subkortikalnih struktura, a ne korteksa (Jürgens 2002) pobuđuju sumnju u ovu teoriju.

Osim analiza moždane aktivnosti, proučavanje ponašanja životinja također je pružilo uvide u moguću vezu između njihove komunikacije i ljudskog jezika. Uočeno je da divlji vervet majmuni (*Cercopithecus aethopis*) proizvode tri posve različita oblika glasanja u prisutstvu svoja tri glavna predatora (orla, leoparda i zmije). Nadalje, majmuni koji čuju ta glasanja reagiraju na prikladan i specifičan način (Seyfarth i sur. 1980). Ipak, značenje ovih vokalizacija je upitno. Prvo, upotreba specifičnih vokalnih signala za upozoravanje na specifične predatore uočena je i kod drugih životinja (npr. domaće kokoši) te stoga nije ograničena samo na primat (Pika i sur. 2005). Drugo, za razliku od glasanja životinja, velik broj riječi u ljudskom jeziku odnosi se na koncepte umjesto na fizičke entitete ili pak uopće nemaju značenje (poput prijedloga, članova itd.), a fonološka pravila koja su u samoj srži ljudskog jezika i omogućuju mu neograničnu ekspresivnost nisu zamijećena kod životinjske komunikacije. Ipak, postojanje specifičnih vokalnih signala za upozoravanje na specifične životinje daje vervet majmunima sposobnost prenošenja informacija na sličan način na koji čovjeku to omogućuju riječi. Zato je skovan izraz *funkcionalna referenca*, a odnosi se na signale koji imaju visoku specifičnost produkcije i rezultiraju specifičnim odgovorom na taj signal (Arcadi 2005) (Slika 1A). Primjerice, Savage-Rumbaugh i suradnici (1986) provodili su istraživanja na bonobu (*Pan paniscus*) i ustanovili da su dvije jedinke počele komunicirati s ljudima koristeći simbole čije su značenje naučile isključivo promatrajući vježbe drugih jedinki. Osim toga, mogle su razumjeti engleske riječi i s njima povezati određene simbole.



Slika 1. Istraživanja evolucije jezika na čovjekolikim majmunima. **A)** Orangutan Azy pokazuje na odgovarajući simbol za jabuku nakon što mu je predložen komadić jabuke **B)** Francine Patterson komunicira s gorilom Kokom uz pomoć američkog znakovnog jezika (Preuzeto i prilagođeno sa: <http://news.nationalgeographic.com/news/>)

2.4. Gestikulacijski model

S nekim problemima vokalizacijskog modela uspješno se nosi gestikulacijska teorija evolucije jezika. Prema toj teoriji jezik se razvio iz gestikulacije, odnosno različitih pokreta tijela, a posebno ruku. Najuvjerljiviji argumenti koji govore u prilog ovoj teoriji potječu iz znakovnih jezika, koji mogu imati gramatičku i semantičku složenost razmjernu onoj u govornom jeziku (Sandler 2012). Također, poput govornog jezika, upotreba znakovnog jezika aktivira lijevu moždanu hemisferu (Vauclair i Meguerditchian 2008), a gluha djeca prolaze kroz fazu gestikulacijskog 'gugutanja' (eng. *babbling*), kao i djeca koja tek uče govoriti (Fitch 2010). Slična istraživanja znakovnog jezika potaknula su mišljenje da su pokreti ruku i lica imali ishodišnu ulogu u evoluciji jezika, što je dovelo do lateralizacije moždanog korteksa, a vokalna komponenta je ubačena postupno, nakon čega je preuzela glavnu ulogu (Corballis, 2009).

Istraživanja na čovjeku najbližim vrstama majmuna, čimpanzi (*Pan troglodytes*) i bonobu (*Pan paniscus*), govore u prilog gestikulacijskoj teoriji. Iako su poduzeti veliki naponi da se ove životinje nauči govoriti, nijedna u tome nije bila uspješna (Fitch 2010). S druge strane, pokušaji učenja naših najbližih srodnika komunikaciji putem znakovnog jezika bili su mnogo plodniji (Savage-Rimbaugh i sur. 1986) (Slika 1B). Pika i suradnici (2005) proveli su istraživanje na četiri vrste majmuna i zaključili da je gestikulacijska komunikacija među majmunima posljedica socijalnog učenja i puno je fleksibilnija od njihovih vokalizacija.

Također, prilikom znakovne komunikacije, većina majmuna koristila je znakove samo kad bi postojao vizualni kontakt s drugom jedinkom, što ukazuje na postojanje određene namjere. Primjerice, čimpanze u zatočeništvu pokazivale su na predmet izvan dosega kad bi primjetili da čovjek u blizini gleda u taj predmet. Ipak, većina takvih gesti služila je isključivo zadovoljavanju potreba odašiljaoca, dok bi korak prema pravom jeziku zahtijevao mogućnost dijeljenja znanja bez nužne koristi za pojedinca (Tomasello i Call 1994).

Otkriće zrcalnih neurona (eng. *mirror neurons*) u mozgu primata 1990-ih godina bilo je još jedan važan argument u korist gestikulacijske teorije. Zrcalni neuroni prvo su detektirani u F5 području u premotoričkom korteksu mozga majmuna. Ono se smatra homolognim Brocinom području u mozgu čovjeka, tradicionalno vezanom uz produkciju jezika. Kasnije je ustanovljeno da zrcalni neuroni zajedno s nekim drugim područjima čine jedan općenitiji 'sustav zrcala' koji se preklapa s jezičnim područjima u korteksu mozga čovjeka. Zrcalni neuroni aktiviraju se kada životinja čini pokrete hvatanja objekata rukama ili kada promatra drugu životinju kako čini te pokrete ili pak pomiče usta. Osim vizualnih podražaja poput pokreta ruku i usta, sustav zrcala aktivira se kao odgovor na auditivne podražaje koji su posljedica određenih pokreta ruku (npr. zvuk ljuštenja kikirikija), ali ne aktiviraju se kao odgovor na zov druge jedinke (Corballis 2009).

Ukoliko je ova teorija točna, prirodno se nameću određena pitanja. Kako i zašto je došlo do prijelaza 's ruku na usta', odnosno zašto je vokalizacija zamijenila gestikulaciju? Jedan od mogućih razloga za ovaj prijelaz pojačana je upotreba ruku u svrhu proizvodnje i rukovanja oruđem te za transport. Kako su ruke bile zauzete, teret komunikacije pao je na lice, koje je sposobno za dovoljno raznolike pokrete, a i prirodno služi za izražavanje emocija. Postupno je ubačena vokalna komponenta, koja je u osnovi gestikulacija unutar usne šupljine (Corballis 2009). Do toga je došlo zato što se vokalna komunikacija može odvijati u mraku i ne zahtijeva direktnu pozornost sugovornika (Lieberman 2007). No, upravo ovdje leži mana gestikulacijske teorije. Zahtjev za direktnim vizualnim kontaktom među sugovornicima te nemogućnost komunikacije u mraku čine gestikulaciju manje vjerojatnim kandidatom za primitivni oblik jezika. Vokalna komunikacija bi u ovom smislu imala puno veću selektivnu prednost, posebno stoga što je vokalizacija prisutna već kod nižih primata (Vauclair i Meguerditchian 2008).

3. JEZIK

3.1. Jezik iz lingvističke perspektive

Tradicionalni lingvistički pristup dijeli jezik na četiri osnovne grane – fonologiju, sintaksu, semantiku i pragmatiku. Unutar ove naizgled stroge podjele, nalazi se čitav niz mehanizama koji su morali evoluirati da bi jezik postigao današnju složenost (Fitch 2010).

Hijerarhija lingvističke strukture sadrži dva sloja. Donji čine nizovi fonema (koji *nemaju* značenje) organiziranih u fonološke strukture, a gornji čine kombinacije tih struktura; riječi ili morfemi (koji *imaju* značenje). Oni se dalje kombiniraju u više sintaktičke strukture (frazе i rečenice). Postoji određen set riječi koje su fonološki prihvatljive (u skladu s pravilima), ali se ne koriste – takozvane *pseudoriječi*. Broj pseudoriječi uvelike premašuje broj riječi (za engleski jezik, broj pseudoriječi koje se sastoje od četiri sloga iznosi približno 10^{12}) što daje jasnu sliku o virtualno beskonačnoj generativnosti fonološkog sustava (kako engleskog, tako i bilo kojeg drugog jezika). Osim fonološke, postoji i sintaktička generativnost koja omogućuje povezivanje riječi u praktički beskonačan broj *smislenih* kombinacija. Značenjem tako nastalih kombinacija bave se, svaka na svoj način, semantika i pragmatika. Postojanje ovakve hijerarhije univerzalna je osobina svih ljudskih jezika i bilo koji oblik komunikacije koji želi pružiti mogućnost *izražavanja beskonačnog broja originalnih misli* mora posjedovati takvu hijerarhiju (Fitch 2010).

3.2. Jezik iz biološke perspektive

Nakon ponovnog procvata lingvistike 60-ih godina 20. stoljeća, dvojica značajnih lingvista, Noam Chomsky i Eric Lennerberg, istaknula su naizgled očitu, ali dotad zanemarivanu ideju – jezik ima biološki aspekt. Većina suvremenih lingvista i psihologa slaže se da postoji nešto urođeno čovjeku, ali ne i drugim životinjama, što mu omogućuje da savlada jezik u nekoliko godina. To 'nešto' dobilo je kroz godine mnoge nazive (poput Pinkerovog *instinkta za jezik*), ali među njima se ističe *univerzalna gramatika*, pojam koji je oživio Noam Chomsky u svojoj generativnoj teoriji jezika. Prema ovoj teoriji, u temeljima jezika nalazi se set sintaktičkih pravila koji je univerzalan za čovjeka i koji čini osnovu gramatike svakog svjetskog jezika. Ipak, budući da čovjek ne može samostalno početi koristiti jezik, dakle mora ga naučiti, ispravnije je reći da Chomskyjeva univerzalna gramatika predstavlja instinkt za *učenjem* jezika (Fitch 2010). Opozicija, poput Corballisa, smatra da jezična gramatika proizlazi iz općenitijih kognitivnih kapaciteta. Jedan od njih je mogućnost mentalnog putovanja vremenom (eng. *mental time travel*). Postoje dvije vrste pamćenja –

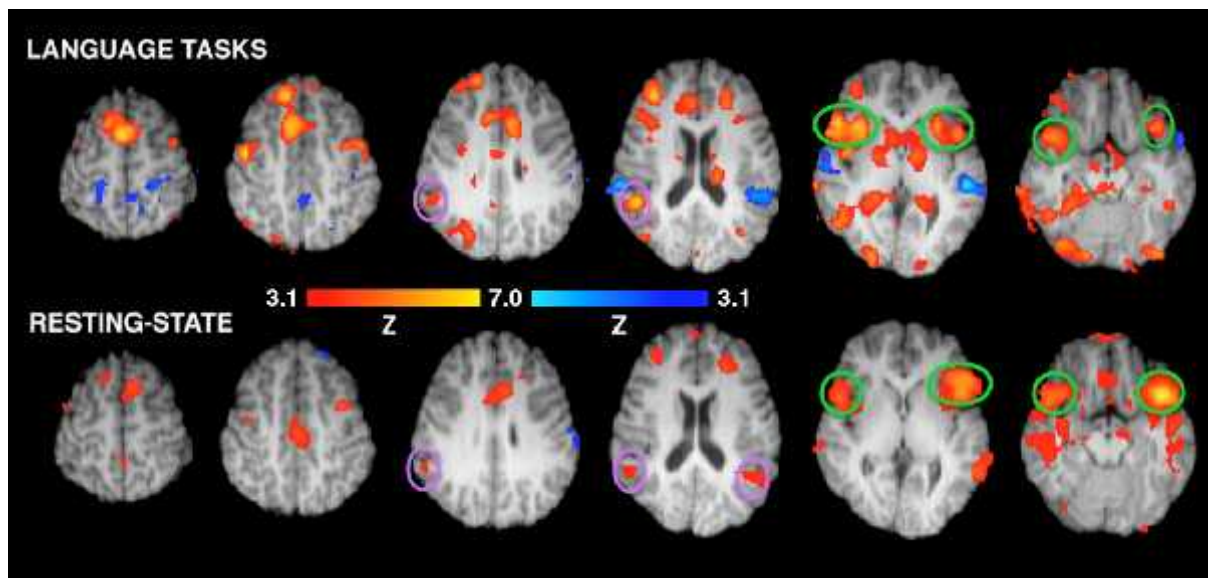
semantičko, koje skladišti činjenice i znanja o svijetu te *epizodičko*, koje skladišti događaje. Upravo epizodičko pamćenje povezano je s mentalnim putovanjem vremenom – kognitivnim procesom koji omogućuje fleksibilno kombiniranje poznatih elemenata (ljudi, objekata, radnji) u prošle i buduće događaje. Usporedno s razvojem tog svojstva, razvijala se i potreba za 'prepričavanjem' tih događaja. Riječima Stevena Pinkera, ljudski jezik evoluirao je u funkciju izražavanja 'tko je što učinio kome, kada, gdje i zašto'. To omogućuje dijeljenje iskustava, socijalno povezivanje i sposobnost donošenja odluka na temelju tuđih iskustava. Kad se jezik sreo s dimenzijom vremena, došlo je do potrebe za setom pravila koji bi olakšavali razlikovanje prošlosti i budućnosti od sadašnjosti – ukratko, nastala je gramatika (Corballis 2009).

Teorija uma (eng. *Theory of mind*) također je jedan od istaknutijih kognitivnih fenomena za koje se pretpostavlja da je morao prethoditi jeziku. Teorija uma, ukratko, predstavlja ljudsku sposobnost spoznaje da drugi ljudi posjeduju određena mentalna stanja te da posjeduju uvjerenja, želje, planove i namjere koji se razlikuju od njihovih vlastitih. Teorija uma uključuje mnoge procese, poput zajedničke pozornosti, perceptivnog prepoznavanja (npr. lica), moralnog rasuđivanja, empatije, imitacije, razumijevanja osjećaja i konačno, jezika (Korkmaz 2011). Bihevioralna istraživanja čimpanzi pokazala su da one posjeduju određene aspekte teorije uma (poput razumijevanja namjera drugih), ali ipak ne sve (poput lažnih uvjerenja) (Call i Tomasello 2008).

3.3. Neuralna osnova jezika

Kora velikog mozga čini najveći dio ljudskog mozga i ovdje se, između ostalog, nalaze područja zadužena za intelektualne procese – učenje, pamćenje, elaboraciju misli i jezik. Postoji više područja moždanog korteksa vezanih uz jezik. Osim istaknutih regija poput Wernickeovog područja (stražnji dio gornje vijuge sljepoočnog režnja, odgovara Brodmannovom području 22; BA 22) te Brocinog područja (donja vijuga čeonog režnja, odgovara Brodmannovim područjima 44 i 45; BA 44/45), postoji velik broj manje isticanih regija uključenih u razne aspekte jezika (Slika 1.) i o njima će biti govora u daljnjem tekstu.

Klinička istraživanja na pacijenatima s poremećajima vezanima uz jezik, a u novije vrijeme i upotreba pozitronske emisijske tomografije (PET) i funkcionalne magnetske rezonance (fMRI) mozga pružaju sve jasnije uvide u uključenost pojedinih dijelova mozga u jezične mehanizme na fonološkoj, sintaktičkoj, semantičkoj i govornoj razini (Horwitz i Wise 2008) (Slika 2).



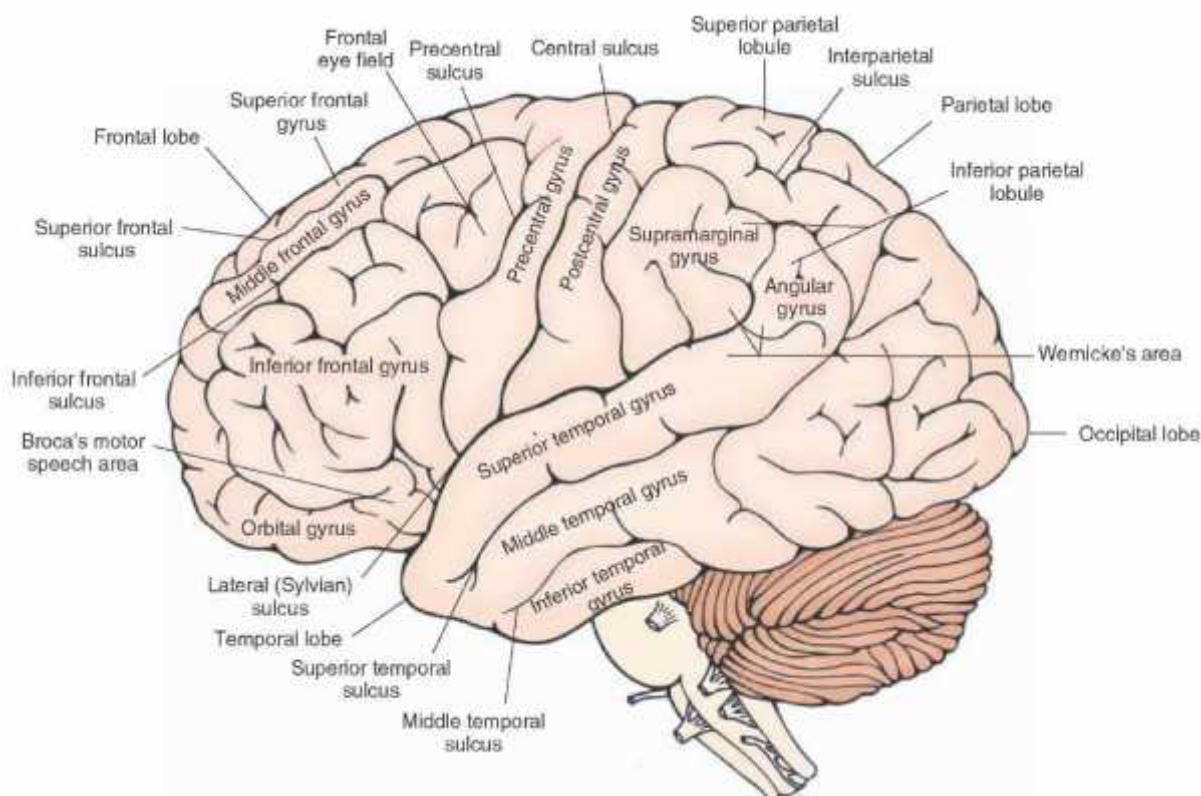
Slika 2. Primjer funkcionalne magnetske rezonance (fMRI) mozga korištene za određivanje aktivnosti pojedinih regija prilikom jezičnih zadataka (gore) i za vrijeme odmora (dolje). (Goodyear i sur. 2014)

3.3.1. Razumijevanje jezika

Istraživanja su pokazala da je aktivnost mozga prilikom percepcije i razumijevanja govornog jezika veća u lijevoj moždanoj hemisferi (Horwitz i Wise 2008). U ostatku ovog odlomka, za svaku spomenutu moždanu regiju podrazumijeva se da se nalazi u lijevoj moždanoj hemisferi (Slika 3), osim ako nije naglašeno suprotno. Procesiranje zvuka u najvećoj mjeri aktivira sljepoočne regije, što uključuje poprečnu sljepoočnu vijugu (Heschlovu vijugu), koja se smatra primarnim slušnom korteksom i slušne asocijativne regije koji se nalaze ispred i iza Heschlove vijuge. Primarni slušni korteks osjetljiv je na frekvencije zvukova, dok je asocijativna regija osjetljiva na kompleksne zvučne signale. Prema nekim istraživanjima, gornji sljepoočni žlijeb od posebne je važnosti za integraciju zvučnih i vizualnih signala (Hasson i Small 2008). Audiovizualno procesiranje govora moglo bi uključivati i premotorički i motorički korteks (Skipper i sur. 2005).

Nakon procesiranja zvučnih signala, slijedi procesiranje riječi. Osim fonološkog znanja, razumijevanje riječi zahtijeva poznavanje njenog značenja (semantičko znanje). Procesiranje riječi na fonološkoj i semantičkoj razini uzrokuje povećanu aktivnost donje čeone vijuge. Nadalje, stražnji dio donje čeone vijuge (BA 44) pokazuje povišenu aktivnost kod oba tipa procesiranja riječi, a prednji dio (BA 47/45) samo kod semantičkog (Hasson i Small 2008). Donja čeona vijuga nije jedina regija uključena u semantičko precesiranje zasebnih riječi. Lezije u Wernickeovom području (BA 22) i susjednom korteksu (stražnji

sljepoočni režanj i donji tjemeni režanj) uzrokuju slabo razumijevanje riječi. No, istraživanje neurodegenerativnog stanja poznatog kao semantička demencija pokazalo je i da atrofija *prednjeg* sljepoočnog režnja znatno smanjuje sposobnost razumijevanja pojedinačnih riječi (Horwitz i Wise 2008). Dakle, leksička semantika i sintaksa se u novije vrijeme poistovjećuju sa čitavim sljepoočnim režnjem (Humphries i sur. 2001).



Slika 3. Lateralni prikaz kore velikog mozga, s glavnim vijugama (eng. *gyrus*) i žljebovima (eng. *sulcus*) u čeonom (eng. *frontal*), sljepoočnom (eng. *temporal*), tjemenom (eng. *parietal*) i zatiljnom (eng. *occipital*) moždanom režnju (eng. *lobe*). Prema položaju, žljebovi i vijuge uglavnom se dijele na gornje (eng. *superior*), srednje (eng. *middle*) i donje (eng. *inferior*). Prikazana je i premotorička regija (eng. *precentral gyrus*) i primarna somatosenzorna regija (eng. *postcentral gyrus*). Uloge pojedinih regija u procesiranju i produkciji jezika navedene su u tekstu. (Preuzeto sa: <http://what-when-how.com/neuroscience/overview-of-the-central-nervous-system-gross-anatomy-of-the-brain-part-1/>)

Ranije spomenuta anteriorno-posteriorna dvojnost u aktivnosti donje čeone vijuge vidi se i u sljedećem: promjene u *sintaktičkom* *ustrojstvu* rečenice uzrokuju veću aktivnost u stražnjem dijelu, dok promjene *značenja* uzrokuju veću aktivnost u prednjem dijelu. Sljepoočne regije također bi mogle biti uključene u sintaktičko procesiranje rečenice, posebno gornja sljepoočna vijuga. Rečenice koje je teže rastaviti na komponente (eng. *parsing*)

uzrokuju veću aktivnost gornje sljepoočne i donje čeone vijuge. Dijelovi mozga koji ugrubo odgovaraju Brocinom i Wernickeovom području postaju aktivniji kako se povećava složenost rečenice. Općenito, moglo bi se reći da povećanje sintaktičke složenosti povećava zahtjeve za radnom memorijom što utječe na pojačanu moždanu aktivnost (Hasson i Small 2008).

Regije mozga zadužene za procesiranje značenja rečenica, dakle semantičko procesiranje, uključuju donju čeonu, te gornju i srednju sljepoočnu vijugu (Hasson i Small 2008). No, kako je teško razlučiti semantičko od sintaktičkog procesiranja, jer značenje proizlazi iz sintakse (Fitch 2010), moguće je da zabilježena aktivnost predstavlja oba procesa. Vjeruje se da prednji dio donje čeone vijuge ima posebno važnu ulogu u integraciji semantičkog i sintaktičkog procesiranja. Osim toga, za bazalne se jezgre također pokazalo da sudjeluju u procesu razumijevanja rečeničnog značenja (Lieberman 2007).

Razumijevanje kontekstualno povezanih rečenica (procesiranje na diskurzivnoj razini) pojačava aktivnost u regiji koja je blizu desnog prednjeg sljepoočnog pola te u donjem dijelu lijeve i desne prednje čeone vijuge. Za razliku od većine ostalih razina, procesiranje na diskurzivnoj razini uključuje *obje* moždane hemisfere (Hasson i Small 2008).

3.3.2. *Produkcija jezika*

Svaka vrsta govora, bilo ponavljanje jedne riječi, brojanje ili uobičajena pripovjedna produkcija govora, aktivira suplementarna motorička područja (SMA), lijevi i desni primarni senzimotorički korteks, prednji dio lijeve i desne insule (prekrivene čeonim poklopcem, lat. *operculum frontalis*), bazalne jezgre i talamus, te lijevu i desnu stranu malog mozga (Horwitz i Wise 2008).

Narativni govor, koji uključuje prizivanje sjećanja, uzrokuje aktivaciju velikog broja regija u lijevoj hemisferi, uključujući regije u prednjem i ventralnom dijelu čeonog poklopca (lat. *pars opercularis, triangularis, orbitalis*), suplementarna motorička područja, lateralni premotorički korteks, dorzolateralni prefrontalni korteks, prednji cingularni korteks i insulu. Bilateralno se aktiviraju regije u stražnjem dijelu gornjeg i srednjeg sljepoočnog korteksa. Što se tiče međusobne povezanosti kortikalnih regija, stražnji dio gornje sljepoočne vijuge (koji odgovara Wernickeovom području) tijekom govora je funkcionalno povezan lateralno s donjim tjemenim i čeonim regijama koje okružuju Silvijevu brazdu, sa srednjom i donjom sljepoočnom vijugom te s prednjim cingularnim i suplementarnim motoričkim korteksom. Konačno, tijekom produkcije govora, uočena je velika povezanost između Brocinog i Wernickeovog područja u lijevoj hemisferi. Osim moždanih regija koje se aktiviraju kod jezične produkcije govora, određene regije zadužene su za samu mehaničku prirodu

produkcije zvuka, a to su; dorzalna strana lijevog i desnog stražnjeg čeonog poklopca (*pars opercularis*), primarno motoričko i somatosenzorno područje te primarni slušni korteks (Horwitz i Wise 2008).

Iz dosad navedenog, vidi se da je Brocino područje aktivno prilikom slušanja govornog jezika, prisjećanja riječi i razumijevanja rečenica. Na temelju proučavanja pacijenata s lezijama u Brocinom i Wernickeovom području, još 1885. predložen je model koji opisuje vezu između produkcije i razumijevanja jezika. Prema njemu, govorni jezik se percipira u Wernickeovom području (u blizini slušnog centra) te se informacija zatim kortikalnim putem prenosi u Brocino područje, koje se nalazi tik do kortikalnih regija uključenih u motoričku kontrolu. Ovaj tradicionalni model, iako privlačan zbog jednostavnosti, u najboljem je slučaju nepotpun. Noviji klinički nalazi potvrdili su da do trajnog gubitka jezičnih sposobnosti dolazi u slučaju lezija u subkortikalnim regijama, čak i bez oštećenja korteksa. Stoga se vjeruje da su stvarni uzrok Brocine afazije oštećenja bazalnih jezgara. Prema novom modelu, veze između korteksa i subkortikalnih regija, uključujući bazalne jezgre, reguliraju motoričku kontrolu, sintaktičko ustrojstvo i neke kognitivne procese. Bazalne jezgre, ukratko, djeluju kao 'stroj' koji služi za ponavljajuću upotrebu kombinacija motoričkih sekvenci na temelju općenitih motoričkih uzoraka začetih u kortikalnim regijama (Lieberman 2007).

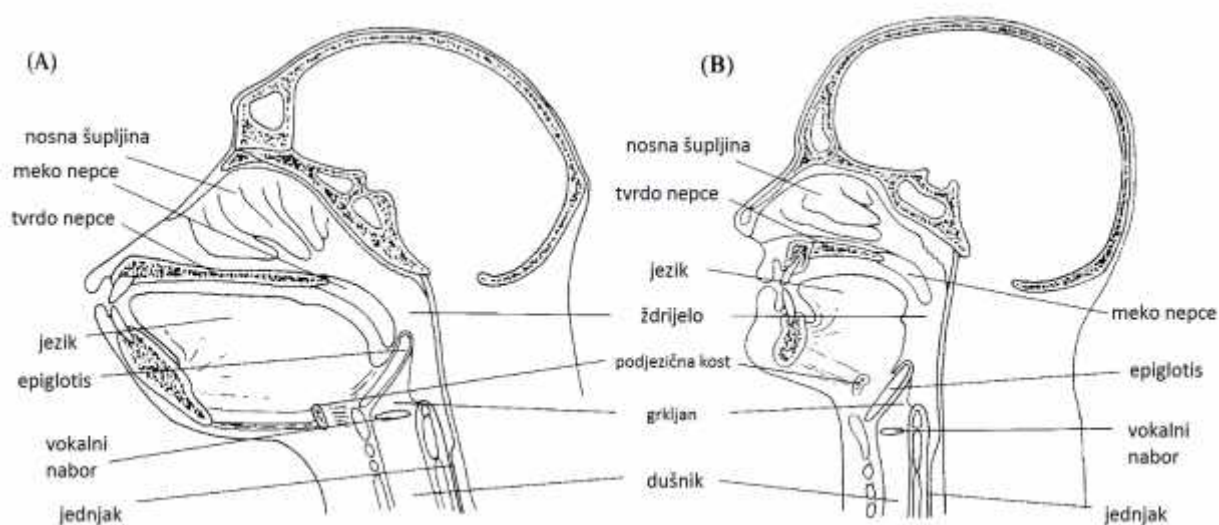
3.4. Anatomija govora

Iako se jezik može prenositi putem znakova (što pokazuju znakovni jezici te pismena komunikacija), govor je uobičajeni način prenošenja signala u jezičnoj komunikaciji svih svjetskih kultura. Usprkos tome što se oslanja na slušni i vokalni aparat kojeg imaju mnogi sisavci, ljudski je govor specifičan po dvjema stvarima; rekonstruiranom vokalnom traktu (Slika 4.) i vokalnoj imitaciji (Fitch 2005).

Svi kopneni sisavci, uključujući i čovjeka, proizvode vokalne signale na temelju filtriranja akustične energije određenim frekvencijama kroz zračni prolaz. Izvor fonetičkih zvukova je periodičko ispuhivanje zraka nastalog brzim otvaranjem i zatvaranjem vokalnih nabora ždrijela. Kod čovjeka, zračni kanal iznad ždrijela – supralaringealni vokalni trakt – konstantno mijenja oblik tijekom govora, pri čemu nastaju zvukovi različitih frekvencija. Ukratko, ždrijelo osigurava izvor akustične energije za proizvodnju zvuka, a supralaringealni vokalni trakt služi kao akustični filter koji određuje fonetičku kvalitetu tih zvukova (Lieberman 2007).

Ključna promjena vokalnog trakta koja je čovjeku osigurala sposobnost govora očituje se u zaobljenju stražnjeg dijela jezika te njegovom spuštanju u ždrijelo. Važnost promjena u jeziku, a ne u ždrijelu, vidi se po izgledu vokalnog trakta drugih sisavaca. Jeleni, lavovi i

čimpanze imaju spuštено ždrijelo, ali u sva tri slučaja, jezik je fiksiran u ustima i ne silazi u ždrijelo. Dakle, spuštено ždrijelo samo po sebi nije indikacija fonetičkih sposobnosti (Lieberman 2007). Ostale prilagodbe koje su možda sudjelovale u povećanju preciznosti kontrole govora su: povećanje podjezičnog kanala (a time i podjezičnog živca koji inervira jezik), povećanje torakalne regije leđne moždine (koja regulira disanje), skraćivanje klinaste kosti (a time i izravnavanje lica, što je pak djelovalo na položaj vokalnog trakta) i zaokruživanje dijela lubanje koji okružuje mozak (a time i povećanje sljepoočnog i čeonog režnja u odnosu na ostale kortikalne regije) (Corballis, 2009).



Slika 4. Shematski prikaz razlika u anatomiji vokalnog trakta A) čimpanze i B) čovjeka. (Preuzeto i prilagođeno iz: http://www.ling.upenn.edu/courses/Fall_2011/ling001/com_bio.html)

Za govor je također nužan mozak koji može slobodno kombinirati određen set motoričkih kretnji da bi se proizveo neodređen broj riječi i rečenica. Kao što je spomenuto ranije, neuralni putevi koji povezuju regije kore velikog mozga s bazalnim jezgrama i drugim subkortikalnim strukturama reguliraju motoričku kontrolu, uključujući produkciju govora (Lieberman 2007). Osim toga, ovakav kružni sustav protoka informacija omogućuje čovjeku sposobnost vokalnog učenja, odnosno stjecanja vokálnih znanja na temelju imitacije, a ne instinkta. Vokalno učenje rijetka je pojava u životinjskom svijetu, ali ipak nije ograničena samo na čovjeka. Tri nesrodne skupine ptica (papige, kolibrići i ptice pjevice) te četiri nesrodne skupine sisavaca (ljudi, šišmiši, kitovi i slonovi) imaju sposobnost vokalne imitacije. Proučavanjem neuralnih puteva za vokalno učenje kod triju spomenutih skupina ptica i kod čovjeka, uočena je njihova međusobna sličnost. Osim neuralnih osnova, među spomenutim

skupinama uočena je i sličnost u svrsi vokalne imitacije (razlikovanje pojedinačnih pripadnika vrste, semantička komunikacija, obrana teritorija, privlačenje partnera), što ukazuje na iste selektivne pritiske koji su je oblikovali (Jarvis 2006).

Iz paleontološke perspektive, prvi fosilni nalazi ljudske anatomije potpuno opremljene za govor datiraju iz razdoblja Gornjeg paleolitika, prije oko 50 000 godina, a na temelju rekonstrukcije vokalnog trakta Neandertalaca i ranijih hominida, vjeruje se da je oni nisu posjedovali (Lieberman 2007).

3.5. Genska osnova jezika

Budući da je sposobnost vokalnog učenja rezervirana samo za čovjeka unutar primata, pretpostavlja se da je u ljudskom genomu moralo doći do nekih genskih promjena koje bi to uvjetovale. Pretpostavka je također da se fenotipska promjena očitovala na neurološkoj razini, a ne na razini anatomije vokalnog trakta (Fitch 2005). Jedini gen koji zasad može poslužiti za istraživanje genetike evolucije jezika je gen *FOXP2*. *FOXP2* je transkripcijski faktor čiji nedostatak onemogućuje govor i učenje jezika. Manjak *FOXP2*, između ostalog, otežava koordinaciju orofacijalnih pokreta nužnih za govor. Neurološke analize pokazale su da je ovo stanje uzrokovano promjenama u neuralnim putevima između korteksa i bazalnih jezgara (CBG) i/ili neuralnim putevima između korteksa i malog mozga (Enard 2011).

FOXP2 je u normalnom stanju eksprimiran u više različitih tipova stanica, a uloga mu je usmjeravanje embrionalnog razvoja bazalnih jezgara (Lieberman 2007). Uzorci ekspresije *FOXP2* vrlo su očuvani među gmazovima, pticama i sisavcima, a to se odnosi i na njihovu ekspresiju u trnastim (eng. *spiny*) neuronima striatuma. Kod ptica pjevica, Područje X je dio CBG neuralnog puta koje je specijalizirano za vokalno učenje. Genetička istraživanja na miševima, pticama i ljudima sa mutacijom u genu *FOXP2* pokazala su da je *FOXP2* posebno važan za pravilno funkcioniranje trnastih neurona srednje veličine i smanjenje u količini ovog proteina djeluje na učenje motoričkih vještina u miševa, vokalnu imitaciju kod ptica te govor i učenje jezika kod čovjeka (Enard 2011).

Od brojnih točkastih mutacija kojima je bio izložen gen *FOXP2*, samo dvije mutacije dovele su do promjena na razini aminokiselinskog sastava proteina *FOXP2*. Te promjene dogodile su se prije otprilike 100 000 godina (Enard i sur. 2002) što ukazuje na činjenicu da je relativno nedavna promjena u sastavu jednog proteina dovoljna da uzrokuje velike kognitivne i bihevioralne promjene u evolucijskoj liniji čovjeka (Fitch 2005).

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu ukratko su prikazani mnogi aspekti ljudskog jezika – od poteškoća s pronalaskom jedinstvene znanstvene hipoteze koja bi objasnila kako je i zašto jezik nastao do samih bioloških osnova na kojima jezik stoji.

Ukratko, sposobnost produkcije i razumijevanja jezika uključuje specijalizirane orofacijalne, respiratorne i perceptualne sposobnosti, te zahtijeva postojanje kompleksne neuralne i genske podloge. Stoga njegovu evoluciju proučavaju znanstvenici iz mnogih disciplina. Dok primatolozi istražuju ponašanja čovjekolikih majmuna, klinički neurolozi proučavaju poremećaje govora i razumijevanja jezika, a neuroznanstvenici koriste suvremene metode bilježenja neuralne aktivnosti za vrijeme upotrebe jezika. Ova istraživanja, nadalje, služe kao izvor dokaza, ali i sumnji u dva najistaknutija modela o porijeklu jezika – vokalizacijskog i gestikulacijskog modela. Iako se vokalizacijski model čini intuitivan – jer i čovjekoliki majmuni imaju sposobnost vokalizacija, nekad čak i sa referentnim značenjima – istraživanja mozga sve više idu u prilog gestikulacijskom modelu. Otkriće sustava zrcala u mozgu primata pritom je od posebne važnosti. Gestikulacijski model, pak, ima nedostatak očite kontraintuitivnosti – budući da su čovjekovi preci imali sposobnost vokalizacije, uvjerljiviji je scenarij u kojem se primitivna jezična komunikacija razvija putem upotrebe glasa (kao selektivno povoljnijeg mehanizma), a ne gestikulacije. Usprkos tome, gestikulacijska teorija zbog sve većeg broja konkretnih dokaza s razlogom zadobiva sve više pozornosti i pobornika. Pitanje evolucije jezika možda će još dugo vremena ostati "najtežim pitanjem u znanosti". Broj novih i međusobno suprotstavljenih saznanja stalno se povećava, a pravi odgovor možda se krije u kombinaciji više predloženih scenarija. Zanimljivo je da je jedan od prvih pobornika tog mišljenja bio sam Charles Darwin, koji u djelu *Postanak čovjeka* (eng. *The Descent of Man*) pretpostavlja kako artikulirani jezik "duguje svoje podrijetlo čovjekovoj imitaciji i modifikaciji zvukova iz prirode, glasanja drugih životinja, vlastitih urođenih vokalizacija, a sve uz pomoć znakova i gestikulacije".

Jedan je od najslabije istraženih aspekata jezika njegova genska osnova. Iako otkriće gena *FOXP2*, koji je istovremeno vezan za govorni jezik i specifičan za čovjeka, predstavlja velik uspjeh, očito je da su mnoge druge genske prilagodbe morale sudjelovati u oblikovanju ljudskog jezika. Stoga su daljnja genetička istraživanja logičan korak u budućem proučavanju jezične evolucije.

Osim genetike, kao danas već tradicionalne znanstvene discipline, važne uvide u jezični fenomen daju i relativno nova istraživanja iz područja računalne lingvistike, predvođena

Simonom Kirbyjem. Iako nisu dobili svoje mjesto ovom radu, računalni modeli predstavljaju inovativan način pokušaja rekonstrukcije 'rođenja' jezika te pomažu u ispitivanju vjerodostojnosti tradicionalnih modela, a zbog toga su od nesumnjive važnosti za budućnost istraživanja evolucije jezika.

Količina znanstvenih radova i drugih publikacija koje pokušavaju prodrijeti u samu srž ljudskog jezika nevjerojatna je (i ponekad obeshrabrujuća), a po svemu sudeći, ta će hrpa samo nastaviti rasti. No, bilo bi neshvatljivo da populacija s više od šest tisuća jezika razvijenih diljem svijeta, bilo govornih, bilo znakovnih, ne ustraje u naporima da si ovaj fenomen nekako i objasni.

5. LITERATURA

- Arcadi AC (2005) Language evolution: What do chimpanzees have to say? *Curr Biol* **15**: 884 – 886
- Call J, Tomasello M (2008) Does the chimpanzee have a theory of mind? *Trend Cogn Sci* **12**: 187 – 192
- Chomsky N (1972) *Reflections on Language*. New York: Pantheon, 269 pp
- Corballis MC (2009) The evolution of language. *Ann N Y Acad Sci* **1156**: 19 – 43
- Darwin C (1871) *The Descent of Man*. London, John Murray, 496 pp
- Enard W (2011) FOXP2 and the role of cortico-basal ganglia circuits in speech and language evolution. *Curr Opin Neurobiol* **21**: 415 – 424
- Enard W, Prezeworski M, Fisher SE, Lai CS, Wiebe V, Katano T, Monaco AP, Paabo S (2002) Molecular evolution of FOXP2, a gene involved in speech and language. *Nature* **41**: 869 – 72
- Fitch WT (2010) *The Evolution of Language*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 611 pp
- Fitch WT (2005) The evolution of language: a comparative review. *Biol Philos* **20**: 193 – 230
- Ghazanfar AA, Miller CT (2006) Language evolution: loquacious monkey brains? *Curr Biol* **16**: 879 – 881
- Goodyear B, Liebenthal E, Mosher V (2014) Active and Passive fMRI for Presurgical Mapping of Motor and Language Cortex, *Advanced Brain Neuroimaging Topics in Health and Disease*. U: Duric D (Ed.) *Methods and Applications*. Dostupno na: <http://www.intechopen.com/books/advanced-brain-neuroimaging-topics-in-health-and-disease-methods-and-applications/active-and-passive-fmri-for-presurgical-mapping-of-motor-and-language-cortex>
- Hasson U, Small SL (2008) Functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI) Research of Language. U: Stemmer B, Whitaker HA (Eds.) *Handbook of the Neuroscience of Language*. Elsevier Ltd: Academic Press, pp 108 – 117
- Hauser MD, Andersson K (1994) Left-hemisphere dominance for processing vocalizations in adult, but not infant, rhesus-monkeys – field experiments. *Proc Natl Acad Sci USA* **91**: 3946 – 3948

- Horwitz B, Wise RJS (2008) PET Research of Language. U: Stemmer B, Whitaker HA (Eds.) *Handbook of the Neuroscience of Language*. Elsevier Ltd: Academic Press, pp 98 – 107
- Humphries C, Willard K, Buchsbaum B, Hickok G (2001) Role of anterior temporal cortex in auditory sentence comprehension: an fMRI study. *Neuroreport* **12**: 1749 – 1752
- Jarvis ED (2006) Selection for and against vocal learning in birds and mammals. *Ornithol Sci* **5**: 5 – 14
- Jürgens U (2002) Neural pathways underlying vocal control. *Neurosci Biobehav R* **26**: 235-258
- Korkmaz B (2011) Theory of mind and neurodevelopmental disorders of childhood. *Pediatr Res* **69**: 101–108
- Lieberman P (2007) The evolution of human speech: its anatomical and neural bases. *Curr Anthropol* **48**: 39 – 66
- Pika S, Liebal K, Call J, Tomasello M (2005) The gestural communication of apes. *Gesture* **5**: 41 – 56
- Pinker S, Bloom P (1990) Natural language and natural selection. *Behav Brain Sci* **13**: 707 – 784
- Poremba A, Malloy M, Saunders RC, Carson RE, Herscovitch P, and Mishkin M (2004) Species-specific calls evoke asymmetric activity in the monkey's temporal poles. *Nature* **427**: 448 – 451
- Sandler W (2012) The phonological organisation of sign languages. *Lang Linguist Compass* **6**: 162 – 182
- Savage-Rumbaugh S, McDonald K, Sevcik RA, Hopkins WD, Rubert E. (1986) Spontaneous symbol acquisition and communicative use by pygmy chimpanzees (*Pan paniscus*). *J Exp Psychol Gen* **115**: 211 – 235
- Seyfarth RM, Cheney DL, Marler P (1980) Monkey responses to three different alarm calls: Evidence of predator classification and semantic communication. *Science* **210**: 801–803
- Skipper JJ, Nusbaum HC, Small SL (2005) Listening to talking faces: Motor cortical activation during speech perception. *Neuroimage* **25**: 76 – 89
- Tomasello M, Call J (1994) Social cognition of monkeys and apes. *Yearb Phys Anthropol* **37**: 273 – 305
- Vauclair J, Meguerditchian A (2008) The Gestural Origin of Language and its Lateralization: Theory and Data from Studies in Nonhuman Primates. U: Kern S, Gayraud F, Marsico E (Eds.) *Emergence of Linguistic Abilities: From Gestures to Grammar*. Newcastle upon Tyne, UK: Cambridge Scholars Publishing Ltd. pp. 43-59

http://www.ling.upenn.edu/courses/Fall_2011/ling001/com_bio.html

<http://news.nationalgeographic.com/news/>

<http://what-when-how.com/neuroscience/overview-of-the-central-nervous-system-gross-anatomy-of-the-brain-part-1/>

6. SAŽETAK

Kompleksni jezik, bilo govorni ili znakovni, odlika je samo jedne poznate vrste – *Homo sapiens*. Zbog toga je stoljećima bio izvor raznih istraživanja, od kojih su najranija bila filozofske prirode i uglavnom su se bavila lingvističkim temeljima jezika – fonologijom, fonetikom, sintaksom i semantikom. Teorije o postanku jezika bile su ograničene religijskom pozadinom sve do 20. stoljeća, kada su istraživanja usmjerila pozornost na biološke aspekte jezika. Proučavanje mentalnih sposobnosti i ponašanja primata, kliničko ispitivanje jezičnih poremećaja i, u novije vrijeme, upotreba neinvazivnih metoda (PET i fMRI) dala su važne uvide u evoluciju jezika. Neurološkim metodama otkrivene su regije u lijevoj moždanoj hemisferi koje sudjeluju u produkciji i procesiranju jezika. Za produkciju govora važne su i subkortikalne strukture (poput malog mozga i bazalnih jezgara). *FOXP2* je gen koji kodira za transkripcijski faktor koji sudjeluje u embriološkom razvoju bazalnih jezgara te u pravilnoj funkciji kortiko-bazalnih neuralnih puteva. Ključna mutacije koje su razdvojile ljudsku liniju *FOXP2* od linije ostalih primata dogodila se prije otprilike 100 000 godina. Za pravilnu produkciju govora važni su i rekonstruirani vokalni trakt te sposobnost vokalne imitacije. Dvije vodeće hipoteze o postanku jezika su vokalizacijska i gestikulacijska. Iako se ideja da se jezik razvio iz primitivnih vokalizacija čini intuitivna, istraživanja mozga, a posebice otkriće sustava zrcala u mozgu čovjekolikih majmuna, sve više podupiru gestikulacijski model odnosno ideju o razvoju jezika iz gestikulacije.

7. SUMMARY

Homo sapiens is the only species known to have the faculty of language, whether spoken or signed, and that fact has baffled the academic world throughout history. The earliest language hypotheses were of philosophical nature, revolving around its linguistic aspects – phonology, phonetics, syntax and semantics. The theories of language origin were constrained by religious views until the twentieth century, when the study of language turned towards biology. Studies of non-human primate behaviour and mental abilities, clinical studies of language impairments and, lately, the usage of noninvasive imaging methods (PET and fMRI) give important insights into language evolution. Imaging studies help to determine activity of cortical regions in the left brain hemisphere during language production and processing. Basal ganglia and cerebellum are also important for speech production. *FOXP2* gene codes for a transcription factor involved in embryological development of basal ganglia and normal functioning of cortico-basal neural circuits. The key mutations separating the human *FOXP2*

lineage from that of its closest relatives occurred in the last 100 000 years. The reconstructed vocal tract and the ability of vocal imitation are necessary for speech production. These results help to shape the two most prominent theories of language origin – the vocal and the gestural model. While the idea that language evolved from primal vocalisations seems intuitive, due to results of brain studies and especially the discovery of the mirror system in the primate brain, the general opinion is becoming more inclined towards the gestural model.