

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 Hranilovi

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. Injenica da je *Homo sapiens* jedina vrsta sposobna za kompleksnu jezičnu komunikaciju nije ostala nezamijetna 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 injenica je da vokalni trakt i mozak ne fosiliziraju (Ghazanfar i Miller 2006). Stoga su znanstvenici morali pribjeći i indirektnim istraživanjima jezika – testiranjima na ovjekolikim 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 se 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, psilajanjem i režanjem, majmuni kompleksnim setom vokalnih signala itd. čak i kod ovjeka 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 užiji 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).

Pak i nakon objave Darwinovog *Postanka vrsta* iz 1859., teorije o postanku jezika nisu se znatno pomaknule sa svog religioznog 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 isti u 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 u ljudskog govora i vokalizacija u ovjekolikih majmuna (por. *Hominidae*). Istraživanja su pokazala da vokalno procesiranje kod makakija, kao i kod ovjeka, uzrokuje povezanost u 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 povećanu aktivnost u prednjem dijelu lijeve moždane hemisfere. Kod ovjeka, ova je regija uključena u procesiranje jezika (Hasson i Small 2008). Iako se čini logičnim da bi vokalizacije ovjekolikih majmuna mogle biti povezane s ljudskim jezikom, dokazi da je produkcija vokalizacija kod ovjekolikih 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 vezu između u njihove komunikacije i ljudskog jezika. Uočeno je da divlji vervet majmuni (*Cercopithecus aethiops*) 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 neograničenu ekspresivnost nisu zamijenjena kod životinjske komunikacije. Ipak, postojanje specifičnih vokalnih signala za upozoravanje na specifične životinje daje vervet majmunima sposobnost prenošenja informacija na sličan način na koji ovjeku 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 jedinice po sebi komunicirati s ljudima koristeći simbole riječi 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 ovjekolikim majmunima. **A)** Orangutan Azy pokazuje na odgovaraju i simbol za jabuku nakon što mu je predloženo komadi 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). Slika na 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 ubrzo postepeno, nakon čega je preuzela glavnu ulogu (Corballis, 2009).

Istraživanja na uvijek najbližim vrstama majmuna, impanzi (*Pan troglodytes*) i bonobu (*Pan paniscus*), govore u prilog gestikulacijskoj teoriji. Iako su poduzeti veliki napori da se ove životinje nauče 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.

Tako er, prilikom znakovne komunikacije, ve ina majmuna koristila je znakove samo kad bi postojao vizualni kontakt s drugom jedinkom, što ukazuje na postojanje određene namjere. Primjerice,impanze u zatoeništvu pokazivale su na predmet izvan dosega kad bi primjetili daovjek u blizini gleda u taj predmet. Ipak, ve ina 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).

Otkri e 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 premotorikom korteksu mozga majmuna. Ono se smatra homolognim Brocinom području u mozgu ovjeka, tradicionalno vezanom uz produkciju jezika. Kasnije je ustanovljeno da zrcalni neuroni zajedno s nekim drugim područjima ine jedan op enitiji 'sustav zrcala' koji se preklapa s jezicnim područjima u korteksu mozga ovjeka. Zrcalni neuroni aktiviraju se kada životinja ini pokrete hvatanja objekata rukama ili kada promatra drugu životinju kako ini te pokrete ili pak pomi e usta. Osim vizualnih podražaja poput pokreta ruku i usta, sustav zrcala aktivira se kao odgovor na auditivne podražaje koji su posljedica odre enih pokreta ruku (npr. zvuk ljuštenja kikirikija), ali ne aktiviraju se kao odgovor na zov druge jedinke (Corballis 2009).

Ukoliko je ova teorija to na, prirodno se name u 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 poja ana je upotreba ruku u svrhu proizvodnje i rukovanja oru em 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 uba ena 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 me u sugovornicima te nemogućnost komunikacije u mraku ine gestikulaciju manje vjerojatnim kandidatom za primitivni oblik jezika. Vokalna komunikacija bi u ovom smislu imala puno ve u selektivnu prednost, posebno stoga što je vokalizacija prisutna ve kod nižih primata (Vauclair i Meguerditchian 2008).

3. JEZIK

3.1. Jezik iz lingvisti ke perspektive

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

Hijerarhija lingvisti ke strukture sadrži dva sloja. Donji ine nizovi fonema (koji *nemaju* zna enje) organiziranih u fonološke strukture, a gornji ine kombinacije tih struktura; rije i ili morfemi (koji *imaju* zna enje). Oni se dalje kombiniraju u više sintakti ke strukture (frazе i re enice). Postoji odre en set rije i koje su fonološki prihvatljive (u skladu s pravilima), ali se ne koriste – takozvane *pseudorije i*. Broj pseudorije i uvelike premašuje broj rije i (za engleski jezik, broj pseudorije i koje se sastoje od etiri sloga iznosi približno 10^{12}) što daje jasnu sliku o virtualno beskona noj generativnosti fonološkog sustava (kako engleskog, tako i bilo kojeg drugog jezika). Osim fonološke, postoji i sintakti ka generativnost koja omogu uje povezivanje rije i u prakti ki beskona an broj *smislenih* kombinacija. Zna enjem tako nastalih kombinacija bave se, svaka na svoj na in, semantika i pragmatika. Postojanje ovakve hijerarhije univerzalna je osobina svih ljudskih jezika i bilo koji oblik komunikacije koji želi pružiti mogu nost *izražavanja beskona nog broja originalnih misli* mora posjedovati takvu hijerarhiju (Fitch 2010).

3.2. Jezik iz biološke perspektive

Nakon ponovnog procvata lingvistike 60-ih godina 20. stolje a, dvojica zna ajnih lingvista, Noam Chomsky i Eric Lennerberg, istaknula su naizgled o itu, ali dotad zanemarivanu ideju – jezik ima biološki aspekt. Ve ina suvremenih lingvista i psihologa slaže se da postoji nešto uro eno ovjeku, ali ne i drugim životinjama, što mu omogu uje da savlada jezik u nekoliko godina. To 'nešto' dobilo je kroz godine mnoge nazive (poput Pinkerovog *instinkta za jezik*), ali me u njima se isti e *univerzalna gramatika*, pojam koji je oživio Noam Chomsky u svojoj generativnoj teoriji jezika. Prema ovoj teoriji, u temeljima jezika nalazi se set sintakti kih pravila koji je univerzalan za ovjeka i koji ini osnovu gramatike svakog svjetskog jezika. Ipak, budu i da ovjek ne može samostalno po eti koristiti jezik, dakle mora ga nau iti, ispravnije je re i da Chomskyjeva univerzalna gramatika predstavlja instinkt za *u enjem* jezika (Fitch 2010). Opozicija, poput Corballisa, smatra da jezi na gramatika proizlazi iz op enitijih kognitivnih kapaciteta. Jedan od njih je mogu nost mentalnog putovanja vremenom (eng. *mental time travel*). Postoje dvije vrste pam enja –

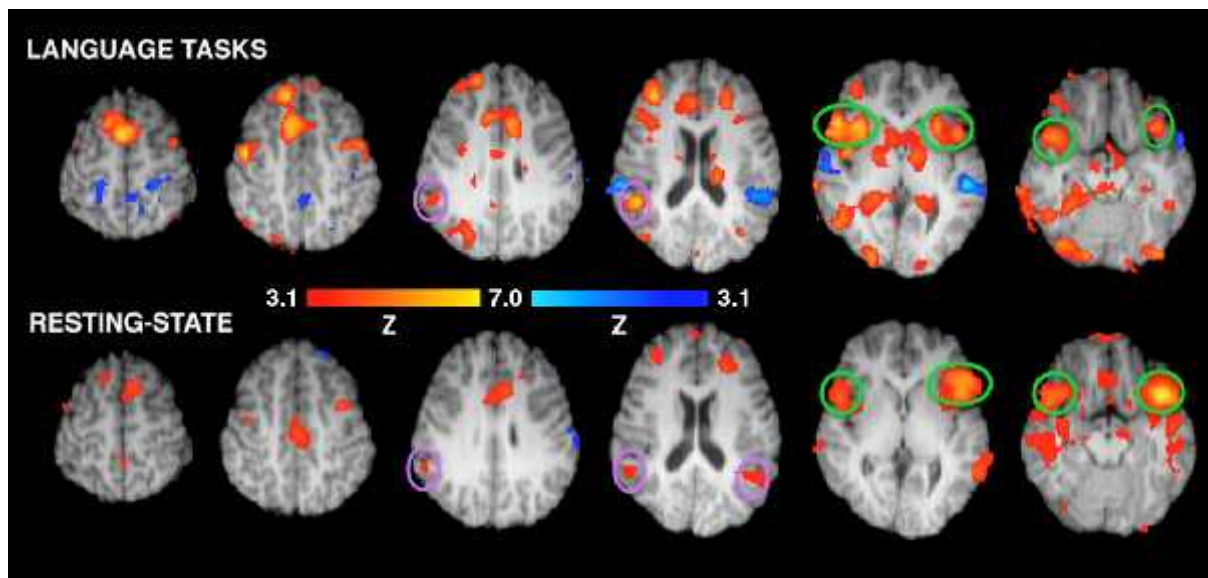
semanti ko, koje skladišti činjenice i znanja o svijetu te *epizodi ko*, koje skladišti događaje. Upravo epizodi ko pamćenje povezano je s mentalnim putovanjem vremenom – kognitivnim procesom koji omogućuje fleksibilno kombiniranje poznatih elemenata (ljudi, objekata, radnji) u prošle i buduće događaje. Usporedno s razvojem tog svojstva, razvijala se i potreba za 'prepričavanjem' tih događaja. Riječ ima Stevena Pinkera, ljudski jezik evoluirao je u funkciju izražavanja 'tko je što u ino kome, kada, gdje i zašto'. To omogućuje dijeljenje iskustava, socijalno povezivanje i sposobnost donošenja odluka na temelju tih 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 istraživanjaimpanzi 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 Brocaovog područja (donja vijuga donjeg 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 pacijentima 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 uključenosť pojedinih dijelova mozga u jezične mehanizme na fonološkoj, sintaktičkoj, semantičkoj i govornoj razini (Horwitz i Wise 2008) (Slika 2).



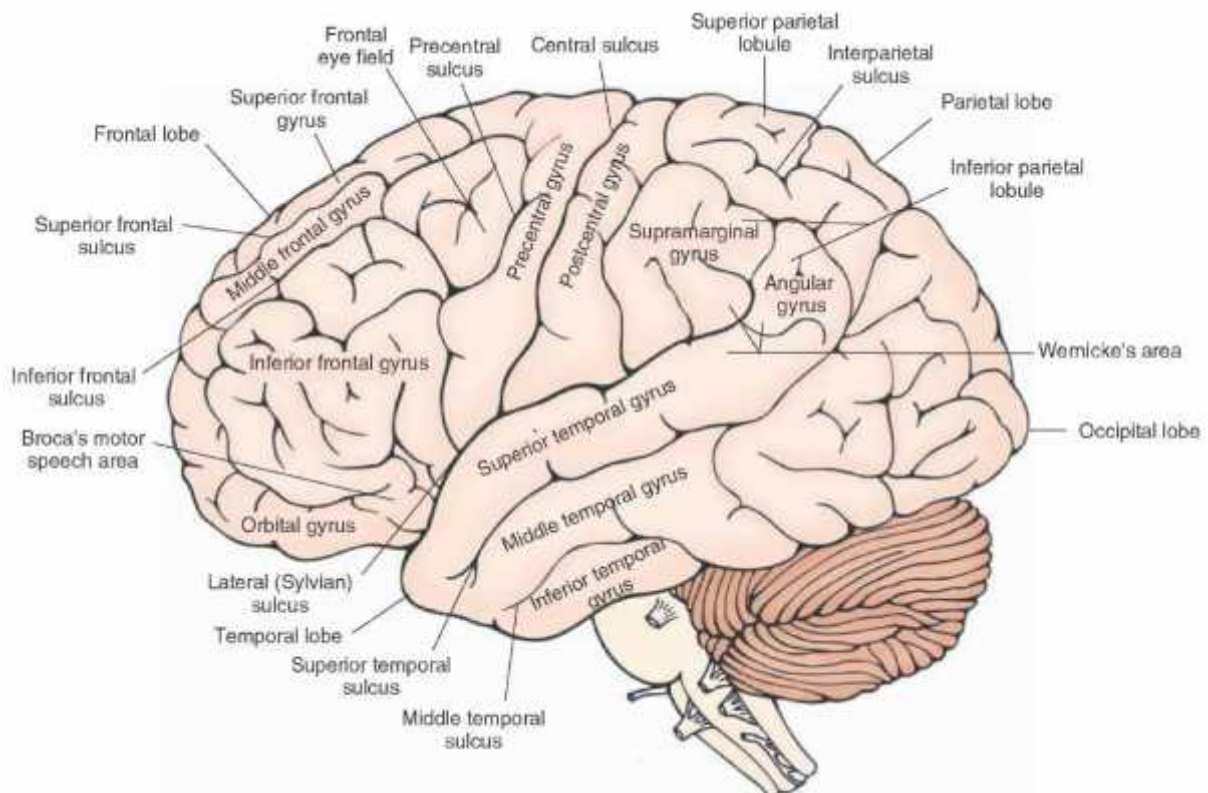
Slika 2. Primjer funkcionalne magnetske rezonance (fMRI) mozga korištene za određivanje aktivnosti pojedinih regija prilikom jezičnih zadataka (gore) i za vrijeme odmora (dolje). (Goodyear i sur. 2014)

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 premotorski i motorni 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 čeonje vijuge. Nadalje, stražnji dio donje čeonje 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 čeonja vijuga nije jedina regija uključena u semantičko procesiranje zasebnih riječi. Lezije u Wernickeovom području (BA 22) i susjednom korteksu (stražnji

sljepoo ni režanj i donji tjemeni režanj) uzrokuju slabo razumijevanje rije i. No, istraživanje neurodegenerativnog stanja poznatog kao semanti ka demencija pokazalo je i da atrofija *prednjeg* sljepoo nog reznja znatno smanjuje sposobnost razumijevanja pojedina nih rije i (Horwitz i Wise 2008). Dakle, leksi ka semantika i sintaksa se u novije vrijeme poistovje uju sa itavim sljepoo nim reznjem (Humphries i sur. 2001).



Slika 3. Lateralni prikaz kore velikog mozga, s glavnim vijugama (eng. *gyrus*) i žljebovima (eng. *sulcus*) u eonom (eng. *frontal*), sljepoo nom (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 premotori ka 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 eone vijuge vidi se i u sljede em: promjene u *sintakti kom ustrojstvu* re enice uzrokuju ve u aktivnost u stražnjem dijelu, dok promjene *zna enja* uzrokuju ve u aktivnost u prednjem dijelu. Sljepoo ne regije tako er bi mogle biti uklju ene u sintakti ko procesiranje re enice, posebno gornja sljepoo na vijuga. Re enice koje je teže rastaviti na komponente (eng. *parsing*)

uzrokuju ve u aktivnost gornje sljepoo ne i donje eone vijuge. Dijelovi mozga koji ugrubo odgovaraju Brocinom i Wernickeovom podru ju postaju aktivniji kako se pove ava složenost re enice. Op enito, moglo bi se re i da pove anje sintakti ke složenosti pove ava zahtjeve za radnom memorijom što utje e na poja anu moždanu aktivnost (Hasson i Small 2008).

Regije mozga zadužene za procesiranje zna enja re enica, dakle semanti ko procesiranje, uklju uju donju eonu, te gornju i srednju sljepoo nu vijugu (Hasson i Small 2008). No, kako je teško razlu iti semanti ko od sintakti kog procesiranja, jer zna enje proizlazi iz sintakse (Fitch 2010), mogu e je da zabilježena aktivnost predstavlja oba procesa. Vjeruje se da prednji dio donje eone vijuge ima posebno važnu ulogu u integraciji semanti kog i sintakti kog procesiranja. Osim toga, za bazalne se jezgre tako er pokazalo da sudjeluju u procesu razumijevanja re eni nog zna enja (Lieberman 2007).

Razumijevanje kontekstualno povezanih re enica (procesiranje na diskurzivnoj razini) poja ava aktivnost u regiji koja je blizu desnog prednjeg sljepoo nog pola te u donjem dijelu lijeve i desne prednje eone vijuge. Za razliku od ve ine ostalih razina, procesiranje na diskurzivnoj razini uklju uje *obje* moždane hemisfere (Hasson i Small 2008).

3.3.2. *Produkcija jezika*

Svaka vrsta govora, bilo ponavljanje jedne rije i, brojanje ili uobi ajena pripovjedna produkcija govora, aktivira suplementarna motori ka podru ja (SMA), lijevi i desni primarni senzimotori ki korteks, prednji dio lijeve i desne insule (prekrivene eonim poklopcem, lat. *operculum frontalis*), bazalne jezgre i talamus, te lijevu i desnu stranu malog mozga (Horwitz i Wise 2008).

Narativni govor, koji uklju uje prizivanje sje anja, uzrokuje aktivaciju velikog broja regija u lijevoj hemisferi, uklju uju i regije u prednjem i ventralnom dijelu eonog poklopca (lat. *pars opercularis, triangularis, orbitalis*), suplementarna motori ka podru ja, lateralni premotori ki korteks, dorzolateralni prefrontalni korteks, prednji cingularni korteks i insulu. Bilateralno se aktiviraju regije u stražnjem dijelu gornjeg i srednjeg sljepoo nog korteksa. Što se ti e me usobne povezanosti kortikalnih regija, stražnji dio gornje sljepoo ne vijuge (koji odgovara Wernickeovom podru ju) tijekom govora je funkcionalno povezan lateralno s donjim tjemenim i eonim regijama koje okružuju Silvijevu brazdu, sa srednjom i donjom sljepoo nom vijugom te s prednjim cingularnim i suplementarnim motori kim korteksom. Kona no, tijekom produkcije govora, uo ena je velika povezanost izme u Brocinog i Wernickeovog podru ja u lijevoj hemisferi. Osim moždanih regija koje se aktiviraju kod jezi ne produkcije govora, odre ene regije zadužene su za samu mehani ku prirodu

produkcije zvuka, a to su; dorzalna strana lijevog i desnog stražnjeg eonog poklopca (*pars opercularis*), primarno motori ko i somatosenzorno podru je te primarni slušni korteks (Horwitz i Wise 2008).

Iz dosad navedenog, vidi se da je Brocino podru je aktivno prilikom slušanja govornog jezika, prisje anja rije i i razumijevanja re nica. Na temelju prou avanja pacijenata s lezijama u Brocinom i Wernickeovom podru ju, još 1885. predložen je model koji opisuje vezu izme u produkcije i razumijevanja jezika. Prema njemu, govorni jezik se percipira u Wernickeovom podru ju (u blizini slušnog centra) te se informacija zatim kortikalnim putem prenosi u Brocino podru je, koje se nalazi tik do kortikalnih regija uklju enih u motori ku kontrolu. Ovaj tradicionalni model, iako privla an zbog jednostavnosti, u najboljem je slu aju nepotpun. Noviji klini ki nalazi potvrdili su da do trajnog gubitka jezi nih sposobnosti dolazi u slu aju lezija u subkortikalnim regijama, ak i bez ošte enja korteksa. Stoga se vjeruje da su stvarni uzrok Brocine afazije ošte enja bazalnih jezgara. Prema novom modelu, veze izme u korteksa i subkortikalnih regija, uklju uju i bazalne jezgre, reguliraju motori ku kontrolu, sintakti ko ustrojstvo i neke kognitivne procese. Bazalne jezgre, ukratko, djeluju kao 'stroj' koji služi za ponavljanje u upotrebu kombinacija motori kih sekvenci na temelju op enitih motori kih uzoraka za etih u kortikalnim regijama (Lieberman 2007).

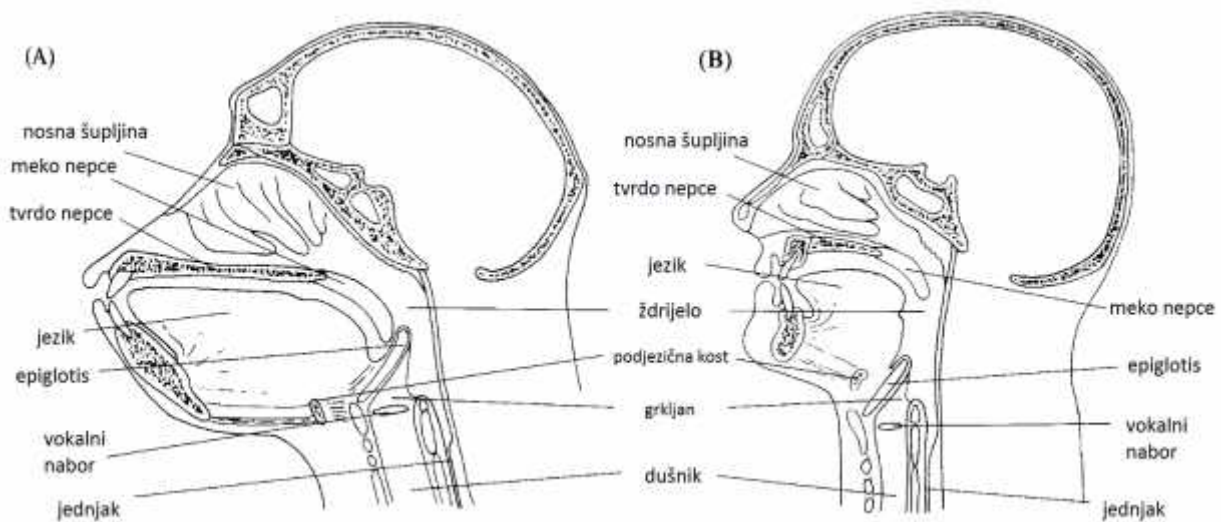
3.4. Anatomija govora

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

Svi kopneni sisavci, uklju uju i i ovjeka, proizvode vokalne signale na temelju filtriranja akustične energije odre enim frekvencijama kroz zračni prolaz. Izvor foneti kih zvukova je periodi ko ispuhivanje zraka nastalog brzim otvaranjem i zatvaranjem vokalnih nabora ždrijela. Kod ovjeka, zračni kanal iznad ždrijela – supralaringealni vokalni trakt – konstantno mijenja oblik tijekom govora, pri emu nastaju zvukovi razli itih frekvencija. Ukratko, ždrijelo osigurava izvor akustične energije za proizvodnju zvuka, a supralaringelani vokalni trakt služi kao akustični filter koji odre uje foneti ku kvalitetu tih zvukova (Lieberman 2007).

Ključna promjena vokalnog trakta koja je ovjeku osigurala sposobnost govora o ituje 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

impanze imaju spuštenu ždrijelo, ali u sva tri slušajna, jezik je fiksiran u ustima i ne silazi u ždrijelo. Dakle, spuštenu ždrijelo samo po sebi nije indikacija fonetičkih sposobnosti (Lieberman 2007). Ostale prilagodbe koje su možda sudjelovale u povećanju preciznosti kontrole govora su: povećanje podjezi nog kanala (a time i podjezi nog 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) impanze i (B) ovjeka. (Preuzeto i prilagođeno iz: http://www.ling.upenn.edu/courses/Fall_2011/ling001/com_bio.html)

Za govor je tako važan mozak koji može slobodno kombinirati određeni set motornih kretnosti da bi se proizveo određeni broj riječi i riječi. Kao što je spomenuto ranije, neuralni putevi koji povezuju regije kore velikog mozga s bazalnim jezgrama i drugim subkortikalnim strukturama reguliraju motoriku kontrolu, uključujući i produkciju govora (Lieberman 2007). Osim toga, ovakav kružni sustav protoka informacija omogućuje ovjeku sposobnost vokalnog učenja, odnosno stjecanja vokalnih znanja na temelju imitacije, a ne instinkta. Vokalno učenje je rijetka pojava u životinjskom svijetu, ali ipak nije ograničena samo na ovjeka. Tri nesrodne skupine ptica (papige, kolibri 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 ovjeka, otkrivena je njihova međusobna sličnost. Osim neuralnih osnova, među spomenutim

skupinama u kojima 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 odrazilovala 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 pjeвица, 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 ovjekolikih 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 ovjekoliki 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 oštećene kontraintuitivnosti – budući da su ovjekovi 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 ovjeka* (eng. *The Descent of Man*) pretpostavlja kako artikulirani jezik "duguje svoje podrijetlo ovjekovoj 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 ovjeka, predstavlja velik uspjeh, o čemu 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, realni 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 se hrpa samo nastavlja 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 JI, 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 stoljeća ima bio izvor raznih istraživanja, od kojih su najranija bila filozofske prirode i uglavnom su se bavila lingvisti kim 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. Ključne 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 ovjekolikih 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.