

Govor in možgani

*Blaž Koritnik**

Govor je ena najpomembnejših sposobnosti človeških možganov. Omogoča komunikacijo med ljudmi in s tem oblikuje človeško družbo, je sredstvo razmišljanja, nenazadnje pa je pomembno orodje za umetniško in znanstveno ustvarjanje. Ta univerzalnost govora je verjetno posledica tega, da se je v evoluciji v človeških možganih razvil specializiran sistem za govor. Delovanje možganskega govornega in jezikovnega sistema razumemo predvsem zaradi poznavanja različnih okvar in boleznih možganov. Sodobna nevroznanost raziskuje možganska govorna in jezikovna omrežja predvsem s pomočjo metod funkcijskega slikanja možganov. Nova znanstvena spoznanja omogočajo, da se človeški možgani lahko povezujejo in komunicirajo z računalniki.

Ključne besede: jezik, nevroznanost, slikanje možganov, motnje govora, razvoj govora

Language is one of the most important skills of the human brain. It allows for communication among people and thus shapes human society, it is a means for thinking and, last but not least, it represents an important instrument for artistic and scientific creation. This universality of language is probably the result of the fact that in the course of evolution a specialized system for language developed in the human brain. The understanding of the functioning of the brain's speech and language system mostly derives from research of different malfunctions and diseases of the brain. Contemporary neuroscience researches the brain's speech and language networks mostly through methods of functional imaging of the brain, while new scientific findings allow the human brain to connect and communicate with computers.

Keywords: language, neuroscience, functional imaging of the brain, speech disorders, speech development

* Blaž Koritnik

Univerzitetni klinični center Ljubljana, Klinični inštitut za klinično nevrofiziologijo
Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta, Katedra za nevrologijo
blaz.koritnik@kclj.si

Uvod

Najpomembnejši način komunikacije med ljudmi je jezikovno-govorni. Jezik je sistem izraznih sredstev za sporazumevanje, govor pa način sporazumevanja s pomočjo izgovorjenih besed. Tako jezik kot govor nastajata in se odvijata v človeških možganih ter sta neločljivo prepletena. V prispevku zato za opis jezikovno-govornega sistema uporabljam oba pojma (jezik in govor) z mislijo, da gre za celoto in da je med enim in drugim glede umestitve v možgane težko potegniti ločnico. Jezikovno-govorni sistem v možganih predstavljajo tri med seboj povezane funkcijske enote: implementacijski, mediacijski in konceptualni sistem. Implementacijski sistem analizira vhodne verbalne podatke, aktivira konceptualno znanje, zagotavlja primerno slovnično in fonetično zgradbo ter nadzoruje artikulacijo. Mediacijski sistem deluje kot posrednik med prvim in tretjim sistemom. Konceptualni sistem je zbirka področij asociacijske skorje višjega reda, ki podpira konceptualno znanje (Kuhl, Damasio 2013).

Ker jezikovno-govorni sistem možganov nima prave vzporednice v živalskem svetu, je raziskovanje nevrobiološke podlage govora težje kot za druge možganske funkcije, za katere obstajajo celični in živalski raziskovalni modeli. Največ znanja o zgradbi in delovanju govornega sistema možganov so prispevali raziskave razvoja govora pri otrocih, klinična opazovanja bolnikov z motnjami govora zaradi poškodb in bolezni možganov ter v novejšem času elektrofiziološke in slikovne metode za preučevanje in merjenje možganov (Kuhl, Damasio 2013).

Razvoj jezika in govora

Kljub izredni kompleksnosti se jezik in govor v večji meri razvijeta že do tretjega leta starosti. Hkrati se otroci bistveno bolje naučijo novega jezika kot odrasli. Razvoj jezikovno-govornih sposobnosti pri otrocih je kompleksen, sledi pa univerzalnemu vzorcu, ne glede na kulturo in vrsto jezika. V prvem letu starosti se najprej razvijeta univerzalna percepcija in produkcija govora, pozneje pa jezikovno-specifična percepcija in produkcija govora. Z 12 meseci starosti otrok razume približno 50 besed in pričinja tvoriti govor, ki spominja na materni jezik. V starosti treh let poznajo otroci okoli tisoč besed (v odraslem obdobju približno 70.000), tvorijo daljše stavke in zmorejo sodelovati v pogovoru. Pomembna značilnost razvoja jezikovno-govornega sistema je, da se razvije v točno določenem, t. i. kritičnem obdobju razvoja otroka. Zmožnost, da se naučimo novega jezika, se v odraslem obdobju ne izgubi, je pa bistveno manjša. Tudi v odraslem obdobju je učenje jezika najbolj učinkovito, če poteka po podobnih principih kot v zgodnjem, kritičnem obdobju. Takšni principi so na primer dolga obdobja poslušanja jezika v socialnem kontekstu, uporaba tako slušnih kot vidnih informacij

ter izpostavljenost poenostavljenemu in poudarjenemu govoru (kakršnega uporabljajo matere, ko govorijo z majhnimi otroki). Raziskave kažejo, da poteka pri dvojezičnih, ki so se obeh jezikov naučili v otroškem obdobju, procesiranje obeh jezikov v istih možganskih področjih, pri dvojezičnih, ki so se naučili drugega jezika v odraslem obdobju, pa v ločenih možganskih področjih (Kuhl, Damasio 2013).

Sodobna tehnologija lahko pomaga različnim z jezikom in govorom povezanim možganskim procesom in funkcijam (npr. dostop do znanja in informacij na internetu, možnost simultane prevajanja s spletnimi orodji), lahko pa jih tudi zavira. Študije kažejo, da ima pisanje z roko prednosti pred pisanjem z uporabo elektronskih pripomočkov (Mueller, Oppenheimer 2014). Motorična področja možganov, ki jih uporabljamo pri pisanju z roko, so blizu govornih in spominskih področij, kar je lahko vzrok, da informacije, zapisane z roko, bolje obdelamo in si jih tudi bolje zapomnimo v primerjavi z zapisovanjem s pomočjo računalnika. Najpomembnejša slabost in nevarnost elektronskih naprav pa je, da lahko povzročajo odvisnost. Uporaba elektronskih naprav še posebej pri otrocih stimulira možganske centre za ugodje in nagrajevanje ter spodbuja delovanje dopaminskega sistema in s tem sproža biološke mehanizme odvisnosti. Zato je zelo smiselno otrokom omejiti uporabo zaslonov v prostem času. Leta 2021 so izšla tudi slovenska priporočila v zvezi s tem; svetujejo, naj otroci do 2. leta starosti sploh ne bodo izpostavljeni zaslonom, v starosti med 2. in 5. letom naj bodo izpostavljeni največ uro na dan in to v navzočnosti staršev, med 6. in 9. letom največ uro na dan, med 10. in 12. letom največ uro in pol ter med 13. in 18. letom največ dve uri dnevno (Vintar Spreitzer idr. 2021).

Motnje jezika in govora

Motnje jezika in govora nastanejo, ko je okvarjen katerikoli del jezikovno-govornega sistema. Afonija oz. disfonija (a- označuje popolno, dis- pa delno okvaro) je motnja tvorbe glasu, vzroki so pogosto lokalni (okvara glasilk ali drugih delov grla). Anartrija oz. dizartrija je motnja izgovorjave in nastane največkrat zaradi okvare oživčenja mišic, ki sodelujejo pri izgovarjanju. Do takšne motnje lahko pride na primer pri možganski kapi zaradi okvare možganskega debla, pri multipli sklerozi zaradi okvare malih možganov, pri amiotrofični lateralni sklerozi zaradi okvare motoričnih nevronov. Afazija oz. disfazija pa je motnja, ki se kaže s prizadetostjo tvorbe in/ali razumevanja govora ter sposobnosti branja in/ali pisanja. Nastane zaradi okvare jezikovno-govornega sistema možganov. Najpogostejši vzrok afazije je možganska kap, lahko pa nastane tudi na primer zaradi poškodbe možganov, nevrodegenerativnih bolezni (demenca), možganskih tumorjev (O'Sullivan idr. 2019).

Leta 1861 je francoski kirurg in anatom Pierre Paul Broca objavil poročilo o bolniku, ki ga je poimenoval Tan, ker je zaradi motnje govora vztrajno ponavljal ta zlog.

Glavna značilnost njegove motnje je bila nezmožnost tvorbe govora. Po bolnikovi smrti so z obdukcijo ugotovili, da je imel okvaro v spodnjem zadnjem delu levega čelnega možganskega režnja. Opisani predel možganov, ki sodeluje pri tvorbi govora, imenujemo Brocovo področje, motnjo govora, ki nastane zaradi okvare tega predela, pa Brocovo afazijo. Najpogosteje se pojavi zaradi možganske kapi, ki je posledica motnje prekrvavitve možganov v povirju srednje možganske arterije dominantne poloble. Leta 1874 je nemški nevropsihiater in nevropatolog Carl Wernicke opisal motnjo govora pri bolnikih z okvaro v zgornji vijugi levega senčnega režnja, ki se je kazala z nezmožnostjo razumevanja govora. Takšna motnja se imenuje Wernickejeva afazija, omenjeni predel možganov pa Wernickejevo področje. Obstajajo še druge vrste afazij: prevodna, globalna, transkortikalna senzorična in transkortikalna motorična. Razlikujejo se po različnih kliničnih značilnostih, kot so tvorba in razumevanje govora, ponavljanje, poimenovanje itd. Obstoječe sheme in klasifikacije delovanja in motenj jezikovno-govornega sistema so precejšnje poenostavitve. Področje okvar govora in jezika je zelo kompleksno, na kar kažejo tudi nekateri zanimivi koncepti in motnje. Aleksija brez agrafije opisuje motnjo, pri kateri je okvarjeno branje, ohranjeno pa je pisanje. Verjetno je posledica okvare povezav med vidno skorjo in angularno vijugo, ki je pomembna za proces branja. Včasih je pri afaziji ohranjena sposobnost petja, včasih pa bolniki z afazijo nesorazmerno veliko preklinjajo. Lahko pa je okvarjena le proizvodnja govora, do tega pride predvsem pri okvari nedominantne možganske poloble (Kuhl, Damasio 2013; Bear idr. 2016).

Raziskovanje jezikovno-govornega sistema možganov

Zadnja desetletja so na voljo metode, s katerimi lahko na neinvaziven način prikazujemo in raziskujemo zgradbo in delovanje jezikovno-govornega sistema možganov tako pri zdravih ljudeh kot pri bolnikih z okvaro govora. Med vsemi metodami je verjetno največ prispevalo k znanju o tem možganskem sistemu magnetnoresonančno slikanje. Z njim lahko zelo natančno prikažemo zgradbo človeškega telesa, med drugim tudi, kaj se dogaja z ustno votlino, jezikom, žrelom in grlom med govorjenjem in petjem. Predvsem dve izboljšavi te metode pa omogočata tudi preučevanje govornih predelov možganske skorje. Z metodo slikanja difuzijskih tenzorjev lahko z uporabo magnetne resonance prikažemo možganske povezave, kakršna je na primer arkuatni snop, dvosmerna povezava med Brocovim in Wernickejevim področjem (Berlot 2015). Z metodo funkcijskega magnetnoresonančnega slikanja pa prikazujemo delovanje govornega sistema možganov. Deluje na principu magnetnih lastnosti hemoglobina v krvi. V predelih možganov, ki so bolj aktivni, se poveča dotok s kisikom bogate krvi in to se vidi na sliki kot povečanje signala. Tako lahko prikažemo, katera področja možganov so aktivna med različnimi jezikovnimi in govornimi nalogami, ki jih izvaja

preiskovanec med slikanjem z magnetno resonanco. Za prikaz govornih področij možganov se najpogosteje uporabljata dve nalogi. Naloga besedne tekočnosti zahteva od preiskovanca, da našteva besede, ki se začnejo na določeno črko, ki se za hip prikaže na zaslonu. Pri nalogi tvorbe glagolov pa preiskovanec na zaslonu vidi različne samostalnice, sam pa mora za vsak samostalnik povedati en glagol, ki je kakorkoli vsebinsko povezan z njim (npr. vrata – odpreti). Med samim slikanjem preiskovanec ne sme premikati ust, uporabljati mora samo tihi (notranji) govor, saj se drugače na slikah pojavijo motnje. To je slabost metode, saj nimamo nobenega nadzora, ali preiskovanec nalogo med slikanjem dobro opravlja. Lahko pa seveda pred slikanjem preverimo, ali nalogo razume in ali jo zna izvajati. Na ta način lahko prikažemo govorna področja možganov, predvsem Brocovo področje v čelnem delu možganov in Wernickejevo področje v senčnem delu možganov. Določimo lahko tudi, katera možganska polobla je dominantna za govor. Pri veliki večini (96 %) desničnih ljudi je to leva polobla, pa tudi pri 70 % levičnih. Pri 15 % levičnih gre za obojestransko, pri 15 % pa za desnostransko govorno dominanco. Takšno slikanje za prikaz govornih področij možganov uporabljamo pred nevrokirurškimi operacijami epilepsije in možganskih tumorjev, saj se na ta način lahko izognemo okvaram govora med samo operacijo (Bear idr. 2016; Sancin idr. 2004).

Z nekaterimi metodami pa lahko tudi vplivamo na delovanje govornega sistema možganov. Pri transkranialni magnetni stimulaciji možganske skorje uporabljamo neboleče in nenevarne magnetne pulze, da prehodno izklopimo govorna področja možganov. Podobno, vendar na bolj invaziven način, lahko določamo govorno dominanco s testom Wada. Pri tem testu s posebnim katetrom v eno vratno arterijo vbrizgamo kratko delujoče uspavalno amital, s katerim za približno 10 minut »omamimo« eno možgansko poloblo, v tem času pa ugotavljamo, kako delujejo govorne funkcije pri preiskovancu. Podobno lahko naredimo še na drugi strani in tako ugotovimo, katera možganska polobla je dominantna za govor. Test se uporablja predvsem pred nevrokirurškimi operacijami epilepsije, pri katerih se prereže ali odstrani določen (okvarjen) del možganov (Bear idr. 2016). Medoperativni elektrofiziološki nadzor uporabljamo med operacijami možganov ali drugih delov živčevja. S pomočjo električnega draženja in merjenja električne aktivnosti živčevja merimo in opazujemo, kako živčevje deluje. Različne motorične in senzorične funkcije ter delovanje živčnih povezav lahko ocenjujemo, ko je bolnik med operacijo v splošni anesteziji. Ocenjevanje govorne funkcije pa v splošni anesteziji seveda ni možno. Zato izvajamo t. i. nevrokirurške operacije v budnosti (Vranič idr. 2013). Pri takšnih operacijah je bolnik ves čas buden in pri zavesti. Uporabimo lokalno anestezijo, da je odpiranje skalpa in lobanje neboleče, nato pa prikažemo možgansko skorjo. Z električnimi impulzi dražimo različne predele možganske skorje in ugotavljamo, kdaj se pri bolniku zaradi draženja pojavi motnja govora. Teh predelov se nato nevrokirurg

med operacijo izogiba, da ne pride do trajne okvare govora. Med operacijo se bolnik pogovarja in izvaja različne govorne naloge; tako se lahko prepričamo, da so govorne sposobnosti neokrnjene, oziroma zaznamo že diskretne znake okvare govora (De Witte idr. 2015).

Nadomestna komunikacija

Bolnikom z okvaro jezikovno-govornega sistema lahko pomagamo na različne načine. Pri disfazijah, ki so posledica možganske kapi, pride do popravljanja zaradi plastičnosti možganov, kar spodbudi in usmerja logopedska terapija. Pri dizartrijah, ko gre za nepovratno ali napredujočo okvaro sistema za artikulacijo, so na voljo pripomočki za nadomestno komunikacijo. Bolniki, ki lahko pišejo in uporabljajo računalnik, lahko seveda na ta način zelo učinkovito nadomestijo primanjkljaj govorne komunikacije. Pri tistih, ki tega ne zmorejo, pa pridejo v poštev bolj kompleksne možnosti nadomestne komunikacije. Takšni bolniki so na primer tisti z napredovanimi oblikami amiotrofične lateralne skleroze, boleznimi, ki okvari motorične nevrone in s tem večino hotenih gibov, med katere spadajo poleg uporabe rok in hoje tudi govor, požiranje in dihanje. Če lahko bolnik dobro premika oči, potem je za komunikacijo na voljo sistem za sledenje pogleda, s katerim z infrardečo kamero zaznavamo položaj oči in prek tega bolnik krmili kazalec miške na zaslonu ter tako upravlja z računalnikom. Včasih je okvara oz. bolezen tako huda, da tudi očesni gibi niso možni. To je t. i. sindrom vklenjene zavesti, pri katerem bolnik ne zmore prav nobenih gibov in komunikacije, čeprav njegova zavest ni okrnjena. Tudi za takšna stanja, ki so na srečo zelo redka, obstajajo tehnološke rešitve, ki omogočajo vsaj zelo osnovno komunikacijo. To so različni vmesniki med možgani in računalnikom, ki s pomočjo merjenja in analize možganske aktivnosti uporabijo možganske signale (neke vrste biološke korelate misli) za krmiljenje računalnika. Ena možnost za delovanje takšnega vmesnika je s pomočjo t. i. vala P300. To je val možganske električne aktivnosti, ki nastane, ko zaznamo kaj nenavadnega. Princip vala P300 lahko za komunikacijo uporabimo tako, da bolniku na zaslonu prikažemo abecedo, on pa je pozoren na določeno črko. Črke na zaslonu se izmenično prekrivajo s fotografijami obrazov in ko se prekrije črka, na katero je bolnik pozoren, je to nenavaden dražljaj, ki v možganih vzbudi val P300. To zazna sistem elektrod, nameščenih na glavi, in zamišljena črka se pojavi na zaslonu. Na takšen način lahko samo z mislimi črkujejo po nekaj črk na minuto, kar zadostuje za enostavno komunikacijo (McFarland 2020). Razvoj tehnologije gre tudi v smer bolj invazivnih pristopov z vzpostavljanjem neposrednih povezav med možganskimi celicami in računalniškim vezjem, kar se naredi s pomočjo nevrokirurške operacije. Takšne sisteme razvijajo predvsem za popolnoma nepokretne bolnike, saj jim lahko tako na primer omogočijo premikanje invalidskega vozička ali nadomestne robotske

roke samo z mislimi. Podobno pa bi lahko sistem uporabljali tudi za tvorbo govora. S pomočjo senzorjev, vstavljenih v govorne predele možganske skorje, lahko namreč do neke mere celo dekodiramo govor in to bi lahko poimenovali kar bralnik misli (Moses idr. 2021).

Zaključek

Nevroznanstvena spoznanja o delovanju jezikovno-govornega sistema možganov so pomembna za razumevanje ene najpomembnejših človeških sposobnosti, ki oblikuje družbo terje pomembno orodje za umetniško in znanstveno ustvarjanje. Motnje govora so posledica različnih okvar in bolezni možganov, s sodobnimi diagnostičnimi in terapevtskimi pristopi pa jih lahko prepoznavamo, preprečujemo in zdravimo. Posebno vlogo pri tem bo v prihodnosti imel tehnološki napredek z razvojem povezav med možgani in računalnikom.

Literatura

- BEAR, Mark F., CONNORS, Barry W., PARADISO, Michael A., 2016: Language. Mark F. Bear, Barry W. Connors in Michael A. Paradiso (ur.): *Neuroscience: exploring the brain*. Philadelphia: Wolters Kluwer. 685–718.
- BERLOT, Rok, 2015: Difuzijsko magnetnoresonančno slikanje. *eSiNAPSA 10*: https://www.sinapsa.org/eSinapsa/stevilke/2015-10/168/difuzijsko_magnetnoresonancno_slikanje (Dostop: 1. 11. 2021).
- DE WITTE, E., SATOER, D., ROBERT, E., COLLE, H., VERHEYEN, S., VI-SCH-BRINK, E., MARIËN, P., 2015: The Dutch Linguistic Intraoperative Protocol: A valid linguistic approach to awake brain surgery. *Brain and Language* 140/1. 35–48.
- KUHL, Patricia K., DAMASIO, Antonio R., 2013: Language. Eric R. Kandel, James H. Schwartz, Thomas M. Jessell, Steven A. Siegelbaum in A. J. Hudspeth (ur.): *Principles of neural science*. New York: McGraw-Hill. 1353–1372.
- MCFARLAND, Dennis J., 2020: Brain-computer interfaces for amyotrophic lateral sclerosis. *Muscle&Nerve* 61/6. 702–707.
- MOSES, David A., METZGER, Sean L., LIU, Jessie R., ANUMANCHIPALLI, Gopala K., MAKIN, Joseph G., SUN, Pengfei F., CHARTIER, Josh, DOUGHERTY, Maximilian E., LIU, Patricia M., ABRAMS, Gary M., TU-CHAN, Adelyn, GANGULY, Karunesh, CHANG, Edward F., 2021: Neuroprosthesis for decoding speech in a paralyzed person with anarthria. *New England Journal of Medicine* 385/3. 217–227.

- MUELLER, Pam A., OPPENHEIMER, Daniel M., 2014: The pen is mightier than the keyboard: Advantages of longhand over laptop note taking. *Psychological Science* 25/6. 1159–1168.
- O'SULLIVAN, Michael, BROWNSSETT, Sonia, COPLAND, David, 2019: Language and language disorders: Neuroscience to clinical practice. *Practical Neurology* 19/5. 380–388.
- SANCIN, Kristjan, KORITNIK, Blaž, ZIDAR, Janez, 2004: Govorni sistem možganov: vpogled s funkcijskimi slikovnimi metodami. *Psihološka Obzorja* 13/2. 33–38.
- VINTAR SPREITZER, Mateja, BAŠ, Denis, RADŠEL, Anja, BRECELJ ANDERLUH, Marija, VREČA, Maja, REŠ, Špela, SELAK, Špela, HUDOKLIN, Mateja, OSREDKAR, Damjan, OKORN, Žiga, 2021: *Smernice za uporabo zaslonov pri otrocih in mladostnikih*. Ljubljana: Sekcija za primarno pediatrijo Združenja za pediatrijo Slovenskega zdravniškega društva.
- VRANIČ, Andrej, MARKOVIČ, Jasmina, KORITNIK, Blaž, 2013: Odstranjevanje možganskih tumorjev pri budnem bolniku. *eSiNAPSA* 6: <https://www.sinapsa.org/eSinapsa/clanki/71/Odstranjevanje-mo%C5%BEGanskih-tumorjev-pri-budnem-bolniku> (Dostop: 1. 11. 2021).