

Zvezdan Pirtošek

Medicinska fakulteta; Nevrološka klinika, Ljubljana

DOI: 10.4312/SSJLK.58.69-75

Črke v možganih

Proces branja je zaporeden, a tudi paralelen, *bottom-up* (od spodaj navzdol) in tudi *top-down* (od zgoraj navzdol), možganski proces, ki ga je človek ustvaril pred 5400 leti. To je prekratko obdobje, da bi za branje v možganih nastale nove specializirane anatomske strukture. Namesto tega se je analiza in prepoznavna črk s procesom »reciklaže« vzpostavila v delu možganske skorje, ki je bil evolucijsko najprej namenjen prepoznavanju predmetov, ki so del pričakovanega, a tudi nepričakovanega v okolju, predvsem pa analizi obrazov. Govorimo o črkovnem nabiralniku, ki predstavlja most med vidnimi in jezikovnimi sistemi. Te strukture pri ljudeh lahko lepo prikažemo z metodami sodobnih slikanj možganov in elektrofiziološkiimi metodami. Predvsem so povezane z belino (mielinom), prepletom povezav med različnimi deli možganov, ki krepi mnoge nevrološke funkcije, je pa močnejše izražena pri ljudeh, ki več berejo.

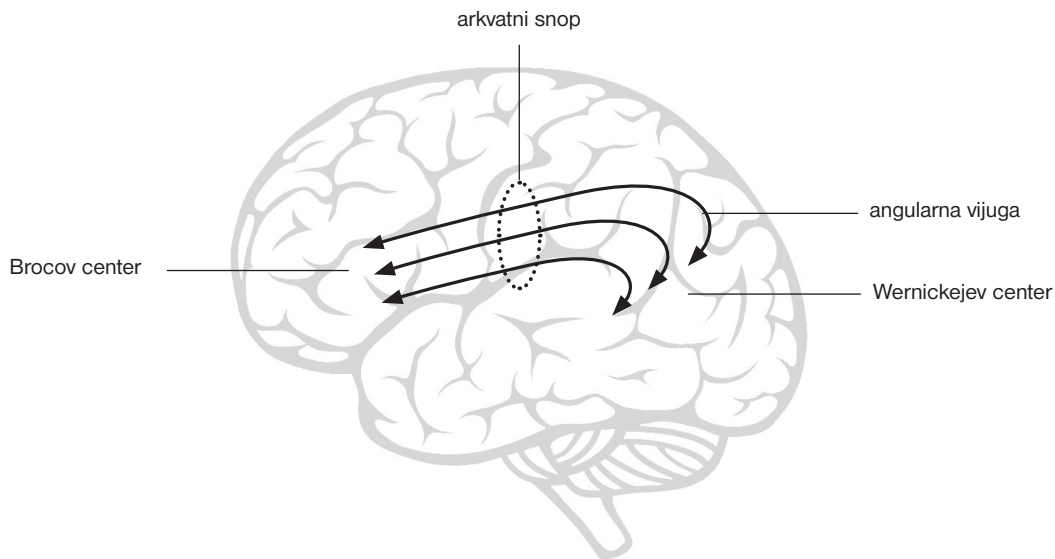
branje, vidni sistemi, jezikovni sistemi, črkovni nabiralnik, mielin

Reading is not only a sequential process, but also a parallel, *bottom-up*, and *top-down* mental process, which humans created 5,400 years ago. This period is too short for new specialized anatomical structures to have been able to develop in the brain. Instead, the analysis and recognition of letters through a »recycling« process was established in the part of the cerebral cortex that, in terms of the evolution, was initially responsible for the recognition of expected and unexpected objects in the environment, and especially for facial analysis. This refers to the brain's letterbox, which forms a bridge between the visual and linguistic systems. These structures can be effectively shown using state-of-the-art brain imaging and electrophysiological methods. They are primarily connected with the white matter (myelin), a mix of connections between various parts of the brain, which enhances many neurological functions and is more strongly expressed in people that read more.

reading, visual systems, linguistics systems, letterbox, myelin

Ko se sprašujemo, kaj je tisto edinstveno, kar nas opredeljuje kot človeka in loči od drugih živih bitij, sta bila še pred nekaj desetletji običajna odgovora – uporaba orodja in učenje. Orodje so naši predniki začeli uporabljati nekako pred 2,5 milijona leti (Zimmer 2005), danes pa je kar nekaj dokazov, da orodje uporabljajo tudi nekatere živali (primati, ptice, ribe, glavonožci in žuželke). Prav tako danes vemo, da so nekatere živali zmožne precej kompleksnih mehanizmov učenja. Pogost odgovor na vprašanje, v čem je edinstvenost človeka, je tudi govor, branje, pisanje. To so pravzaprav aktivnosti, ki so tesno povezane tako s procesi izdelovanja orodja kot tudi z učenjem, prenašanjem znanja iz generacije v generacijo. Kdaj natančno so se naši predniki začeli sporazumevati z govorom, ne vemo. Vsekakor pa govorimo o evolucijsko dovolj dolgem obdobju, v katerem so možgani lahko razvili in začeli funkcionalno uporabljati anatomske nove, govoru namenjene »centre« in povezave, npr. Wernickejev center za razumevanje govora v senčnem (temporalnem) režnju, Brocov center za ekspresijo govora v čelnem (frontalnem) režnju in arkuatni snop (fasciculus arcuatus) kot povezava med njima (Slika 1). Pri skoraj vseh desničnih, pa tudi pri 60 % levičnih, so ti govorni predeli v levi polobli (hemisferi). Če torej časovni okvir vznika govora in jezika ostaja nejasen in nedoločen, v megli stotisočev in milijonov let, pa zelo dobro vemo, kdaj se pojavita pisanje in

branje. Pisanje so v južni Mezopotamiji izumili Babilonci pred približno 5400 leti (Dehaene 2009), ko so s trstjem kot pisalnim pripomočkom na glinene ploščice pričeli beležiti podatke o trgovanju.

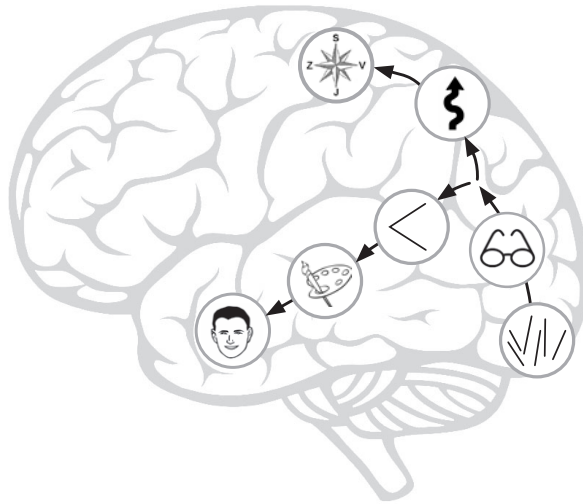


Slika 1: Centri za govor in jezik (Brocov predel in Wernickejev predel z angularno vijugo ter arkvatni snop kot povezava med njima)

A če imamo biološko prirojeno sposobnost, da slišimo zvoke in vidimo slike, take biološke zmožnosti za branje naši možgani nimajo. Naši predniki so zvokom, glasovom in vidnim informacijam namenjene procese uporabljali za iskanje hrane, partnerja, izogibanju nevarnostim. Pisanje samo po sebi pa je konvencija, ki jo je pred zgolj nekaj tisočletji ustvaril homo sapiens; njegovi možgani niso biološko strukturirani za prepoznavanje pisanih besed. 5400 let je premalo časa, da bi se anatomske razvili novi centri, nove vijuge; prepoznavanje črk je naučena veščina. Kako in kje torej naši možgani prepoznavajo črke in besede, kateri možganski procesi nam omogočajo pisanje in branje?

Možgani za to uporabljajo dva že vzpostavljena sistema: zelo star arhaični vidni sistem in pred nekaj sto tisoč ali celo milijon leti nastala jezikovna področja: vidni sistem preučuje, kako so besede videti, jezikovne regije pa nam povedo, kaj pomenijo.

Vidni sistem (Slika 2): Za razliko od mnogih drugih živali, ki uporabljajo razne čute (vonj, slušni odmev – ehokracija, dotik, vibracije, spremembe v temperaturi), je človek predvsem vidno bitje in kar tretjina naših možganov je specializirana za analizo vidnih dražljajev. Vidna informacija potuje od naših oči po vidnem živcu in preko globokih možganskih struktur do zatilnega (okcipitalnega) režnja, kjer najprej zaznamo le osnovne elemente vidnega dražljaja (pike, linije, svetloba, sence),



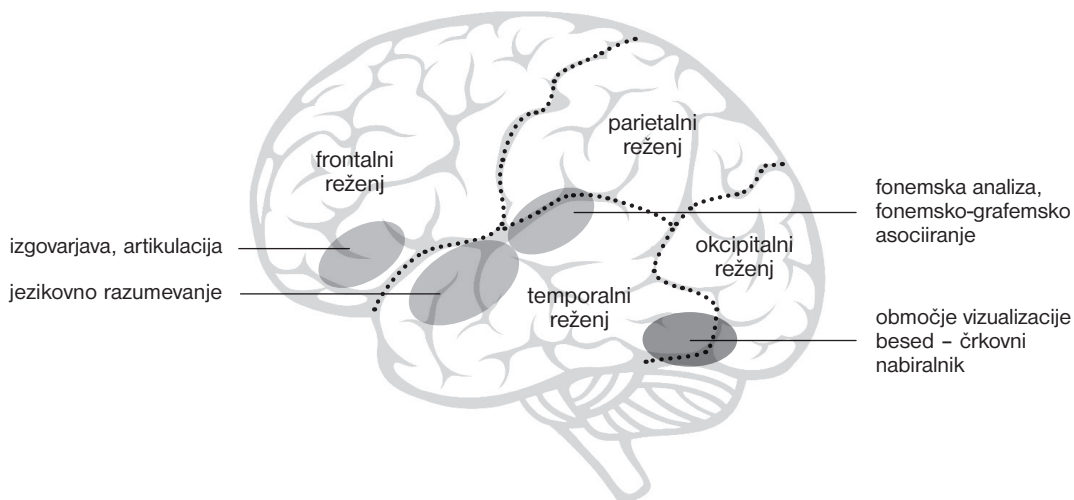
Slika 2: Procesiranje vidnih dražljajev: zgornja KJE pot in spodnja KAJ pot z vretenasto vijugo

s potovanjem proti temenski (parietalni) in senčni (temporalni) skorji pa se postopoma izgrajujejo informacije o prostorski umeščenosti (parietalna KJE pot) in o pomenu ter barvi videnega (temporalna KAJ pot). Del KAJ poti je tudi vretenasta vijuga (fuziformni girus), prastar predel možganske skorje, s katerim že desetine milijonov let v borbi za preživetje prepoznavamo predvsem oblike, ki so del pričakovanega, a tudi nepričakovanega v našem okolju. Zajemajo okrogle oblike, vertikale, diagonale, linije, ki se križajo, dotikajo (T, L, X), predmete, linije in obrise pokrajine, predvsem pa linije in obrise obrazov. Prepoznava (zlasti človekovega in zlasti materinega) obraza je vrojena, ena evolucijsko najpomembnejših aktivnosti; že v prvih urah po rojstvu otrok raje in dlje zre v človeški obraz, natančna prepoznava npr. materinega obraza pa se nato vzpostavi v naslednjih tednih. Različne oblike, predmete in obraze v tem predelu možganov prepoznavamo ne glede na to, kako jih gledamo, pod katerim kotom, v kakšni osvetlitvi ali oddaljenosti, morda v zrcalu ali če so obrnjeni ali zabrisani.

Govorni sistem in jezik (Slika 1): Drug element, pomemben za sposobnost branja, razvozlanja in ustvarjanja črk in besed, je seveda jezik. Evolucijski izvori govora in jezika so nejasni; za preučevanje teh nimamo neposrednih zgodovinskih sledi. Fosilni zapisi, arheološki dokazi, preučevanje sodobne jezikovne raznolikosti, razvoja govora in jezika pri otroku, primerjave med človeškim jezikom in komunikacijskimi sistemi med živalmi nam ponujajo zgolj omejene možnosti razlag, ponujajo teorije, ki so široko odprte tudi špekulacijam, zato nas niti ne čudi, da je Pariško jezikoslovno društvo leta 1866 prepovedalo kakršnekoli obstoječe ali prihodnje razprave o tej temi. A v zadnjem obdobju lahko različne znanosti (jezikoslovje, nevroznanost, arheologija, psihologija, antropologija, genetika) uporabljajo nove, sodobne metode, ki vendarle osvetljujejo vsaj del možnih poti razvoja govora (Christiansen 2007) – od teorij kontinuitete (jezik se je razvil iz prejšnjih

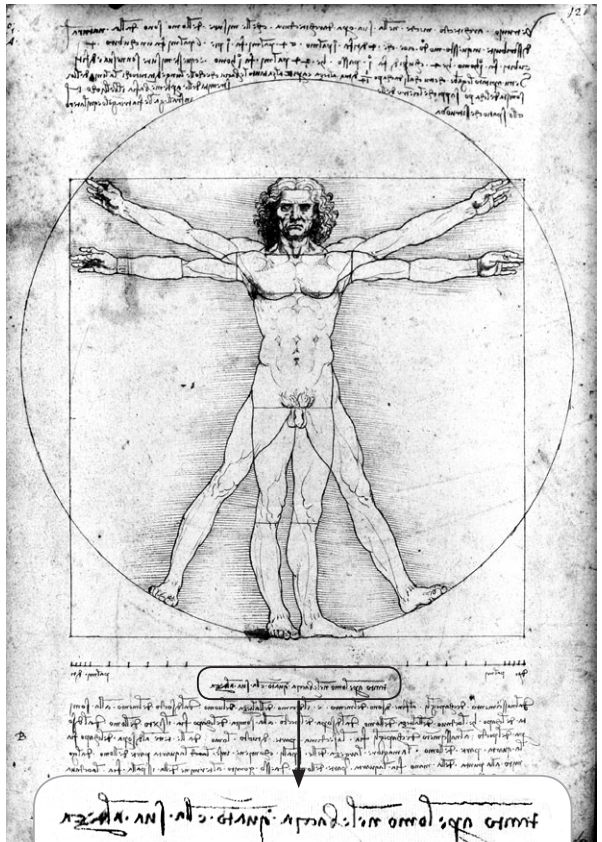
predjezikovnih sistemov med človeškimi predniki) do teorij diskontinuitete (jezik se je v evoluciji pojavil dokaj nenadoma); in tudi od bioloških, genetskih razlag jezika kot prirojene sposobnosti, nastale morda v zelo kratkem času (nenadna genetska mutacija), do obravnave jezika kot pretežno kulturno-civilizacijskega sistema družbenih interakcij. Antropološki in anatomske predpogoji umeščajo razvoj jezika v relativno širok časovni okvir – večina bi ta okvir začrtala od trenutka, ko je pred 2,5 milijona let homo habilis začel izdelovati in uporabljati orodje (izdelava orodja zahteva predvidevanje, načrtovanje, komunikacijo ...), do t. i. »kognitivne eksplozije« pri homo sapiensu pred približno 50.000–150.000 leti. Takrat se je v evolucijsko relativno kratkem obdobju človek oblikoval kot ustvarjalno, socialno, razmišljujoče, v naravo in v »onkraj« zazrto bitje, ki se tudi simbolno začne izražati s podobami po stenah jam, z izdelavo kipcev, z umetnostjo, rituali, zasnovami duhovnosti in bolj strukturiranega socialnega tkiva.

Ko izkušen bralec naleti na natisnjeno ali napisano besedo, ta informacija potuje od njegovih oči do zatilnega (okcipitalnega) režnja, kjer se obdelava kot katerikoli drugi vizualni dražljaj. Od tam potuje do leve vretenaste možganske vijuge (fuziformni girus), kjer se je pri pismenih ljudeh v zadnjih 5400 letih vzpostavil most med vidnimi in govornimi predeli, ki ga imenujemo »črkovni nabiralnik« (angl. *Letterbox*; Slika 3) in kjer pismen človek prepozna črke. Nekoliko višje, kjer se stikajo temporalni, parietalni in okcipitalni režnjevi, sta angularna in supramarginalna vijuga, kjer se ena modalnost lahko obogati ali poveže z drugo (npr. vidna v slušno in obratno), in v teh dveh vijugah se v procesu branja črke in zlogi sestavljajo v smiselne besede. Te strukture pri ljudeh lahko lepo prikažemo z metodami sodobnih slikanj možganov (funkcijska magnetna resonanca (fMRI)) in z elektrofiziološkimi metodami (elektroencefalografija (EEG) in evocirani, z dogodkom izzvani potenciali (EP)). S slikovnimi metodami prikažemo predvsem lokalizacijo aktivnosti, z elektrofiziološkimi pa predvsem časovno sosledje dogodkov.



Slika 3: Črkovni nabiralnik na meji med okcipitalnim in temporalnim režnjem

Črkovni nabiralnik ni nova, pred 5400 leti nastala struktura, ampak se je s procesom »reciklaže« vzpostavil v prej omenjeni vretenasti vijugi. To je v prastarem predelu vidne možganske skorje, s katerim so naši predniki že milijone let v borbi za preživetje prepoznavali oblike, predmete, obraze, pokrajine, ki so bili del pričakovanega in tudi nepričakovanega v okolju – kot smo že omenili: ne glede na to, kako jih gledamo, pod katerim kotom, v kaki osvetlitvi ali oddaljenosti. In ravno to področje je, pred tisoči leti, narava »izbrala« in ga »reciklirala« za prepoznavo črk. Analizi in prepoznavi črk je »namenila« predvsem vretenasto vijugo leve, govorne poloble, analizo obrazov pa je od tam delno premestila v vretenasto vijugo na desni strani. Zaradi dinamične, fleksibilne analize v tem vidnem predelu predmete in obraze prepoznavamo ne glede na to, ali so blizu ali daleč, frontalno ali v četrtprofilu, v poltemi ali v škrlatni svetlobi zahajajočega sonca, ali je obraz vesel ali potr, ali ga vidimo v živo ali v ogledalu. Prav to fleksibilno procesiranje v vretenasti vijugi je vzrok, da otrok v zgodnjih stadijih učenja pogosto piše ali bere zrcalno, bodisi (v slovenščini pravilno) od leve na desno, bodisi (v slovenščini nepravilno) od desne na levo: otroku je enako pravilno in razumljivo, če napiše DANES SIJE SONCE ali pa ECNOS EJIS SENAD. Nekateri odrasli vse življenje zadržijo lahko sposobnost prehajanja v oba, običajen in zrcalni način zapisovanja; morda je med njimi najbolj znan Leonardo da Vinci, ki je tudi pod slavno risbo Vitruvijev človek (Slika 4) z zrcalno pisavo zapisal: »Tanto apre l'omo nele braccia, quanto ella sua altezza [Dolžina moških razprtih rok je enaka njegovi višini]«; sam pa sem pred leti obravnaval bolnika, ki je nenadoma pričel zrcalno pisati po preboleli kapi v vretenasti vijugi v zadnjem predelu možganov.



Slika 4: Leonardo da Vinci: Vitruvijev človek
(vir: <https://sl.wikipedia.org>)

Z učenjem branja in pisanja se sčasoma naučimo, da sta vrstni red in oblika črk pomembna, saj opredeljujeta pomen besed, na primer *pot* in *top* ali *dosti* in *bosti* imajo zelo različen pomen, zato je pomembno, da v slovenščini vedno beremo od leve proti desni in ne od desne proti levi. Predel možganov, ki je bil v evoluciji najprej namenjen analizi vidnih dražljajev, zlasti obrazov, se je pred 5.400 leti s procesi učenja pisanja na levi polobli preusmeril v analizo in prepoznavo črk in besed (črkovni nabiralnik). Vidne informacije o obliki (kako izgledajo črke in besede: niz okroglih simbolov z ravnimi črtami in pikami) prevaja v smiselne informacije, ki jih bodo naše jezikovne regije v temporalnem režnju lahko razumele tako semantično kot fonetično in jih bodo prenesle do Brocovega področja (v frontalnem režnju), kjer bomo črke in besede izrekli, prebrali – morda tiho, zgolj v sebi, morda poltiho ali pa glasno. Črkovni nabiralnik je torej predel možganov, ki je specializiran za prepoznavanje vidnih dražljajev kot črk in besed. Natančno prepozna črke in oblike, kot se pojavljajo, in v kakšnem zaporedju se pojavljajo z drugimi črkami. Medtem ko bo vidna skorja tik pred črkovnim nabiralnikom prepoznala *p*, *q*, *b* in *d* kot isto obliko (krog s pritrjeno ravno črto), bomo v predelu črkovnega nabiralnika že razlikovali med štirimi različnimi črkami (Dehaene idr. 2010). V različnih kulturah in jeziki je črkovni nabiralnik v istem delu možganov, spodaj, med okcipitalnim in temporalnim režnjem. Ne glede na to, ali beremo v kitajščini ali v slovenščini, bo aktiven isti del možganov, črkovni nabiralnik (Dehaene, Cohen 2007); bo pa aktivnost tega predela najmočnejša ob branju tistega jezika, ki smo ga najprej slišali, videli, ob njem odraščali in ga najpogosteje uporabljali (Cohen idr. 2002). Tudi pri tistih, ki so slepi in so se naučili brati z dotikom (Braillova pisava), se ob branju aktivira ta isti črkovni predel, v istem delu možganov, kjer poteka prepoznavna črk pri pisмениh, ki vidijo, in kjer poteka prepoznavna obrazov pri nepisмениh (od 1 od 10 ljudi na našem planetu!). Človekove možgane namreč nenehno (pre)oblikujejo izkušnje, ki jih pridobivamo skozi vse življenje.

Še pred nedavnim smo branje razumeli predvsem kot serijsko procesiranje v več stopnjah: od vidne skorje, kjer zaznamo osnovne elemente črk in besed, ki se nato sestavijo v črkovnem nabiralniku, osmislijo v stičišču okcipitalnega, temporalnega in parietalnega režnja (angularni girus). Nato potujejo v Wernickejevo območje, kjer se vidne informacije pretvorijo v fonetično predstavitev, ta pa nato preko fasciculus arkvatusa dospe v Brocovo območje in v motorično skorjo, kjer se začne artikulacija (Tucker idr. 2008). Vendar pa sodobne študije potrjujejo, da je proces branja dejavnost, ki ne poteka le serijsko, ampak tudi vzporedno, in sicer *od spodaj navzgor* (angl. *bottom up*) in *od zgoraj navzdol* (angl. *top down*). Možgani v procesu *od spodaj navzgor* analizirajo prihajajoče dražljaje (npr. črke), hkrati pa zaradi svojih izkušenj ves čas napovedujejo in ubigajo, kaj bo sledilo, in včasih zanzajo nekaj, česar ni. Ste opazili nesmisel zadnjega stavka? Pa ste vseeno razumeli sporočilo? To je primer, ko je aktivnost višjih, napovednih predelov naših možganov (asociacijski predeli frontalnega režnja in stičišča parietalnega, temporalnega in okcipitalnega režnja) v luči svojih pričakovanj in izkušenj ter konteksta s procesom *od zgoraj navzdol* prevladala nad aktivnostjo in analizo črkovnega nabiralnika ter nam vseeno podala pravilno informacijo (torej: *ugibajo*, kaj bo sledilo, in včasih *zanzajo* nekaj, česar ni).

V možganih histološko ločimo sivo in belo in možganovino; sivina odraža predvsem aktivnost možganskih celic (nevronov), belina (poimenovana tudi mielin) pa je preplet povezav med nevroni, ki omogoča hitro in zanesljivo prenašanje informacij. Branje – za razliko od nekaterih drugih dejav-

nosti, kot so npr. vizualni mediji – spodbuja povezavo med zelo velikim številom možganskih predelov. Ravno zato, ker je proces branja odvisen od povezav med predeli vidnih in govornih predelov možganov, je zlasti močno odvisen od beline, ki povezuje vidne predele okcipitalnega režnja z jezikovnimi predeli temporalnega režnja (fasciculus longitudinalis inferior), in beline, ki povezuje jezikovne centre med seboj – Wernickejev predel za razumevanje govora z Brocovim predelom za ekspresijo govora (fasciculus arcuatus). Otroci, ki že zgodaj obvladajo branje, imajo belino v fasciculus longitudinalis inferior in fasciculus arcuatus močneje izraženo. V obdobju naslednjih treh let se pri otrocih, ki bolj berejo, bela snov še okrepi, pri otrocih, ki le malo ali ne berejo, pa se dejansko kaže upad ravni bele snovi. Oslabele mielinske povezave se kažejo tudi pri odraslih, ki malo ali ne berejo, in pri osebah z disleksijo, kjer je oslabelost teh povezav vzrok, da je prenos dražljajev po vidno-jezikovnih poteh počasnejši ali netočen, branje pa moteno.

Treba je poudariti, da so mielinske povezave za delovanje možganov zelo pomembne – študije kažejo, da je z zmanjšano mielinizacijo povezano veliko nevroloških motenj, po drugi strani pa je spodbudna novica, da se z namenskim branjem bela snov znatno poveča že po šestih mesecih in da je branje pozitivno povezano s celim nizom nevroloških funkcij (delovni spomin, semantični spomin, usmerjena pozornost, sposobnost empatije, verbalna fluentnost ...).

Literatura

- CHRISTIANSEN, Morten H., KIRBY, Simon, 2003 (ur.): *Language evolution: the hardest problem in science? Language evolution*. Oxford, New York: Oxford University Press. 77–93.
- COHEN, Laurent, LEHÉRICY, Stéphane, CHOCHON, Florence, LEMER, Cathy, RIVAUD, Sophie, DEHAENE, Stanislas, 2002: Language-specific tuning of visual cortex? Functional properties of the Visual Word Form Area. *Brain* 125/5. 1054–1069.
- DEHAENE, Stanislas, COHEN, Laurent, 2007: Cultural recycling of cortical maps. *Neuron* 56. 384–398.
- DEHAENE, Stanislas, 2009: *Reading in the Brain*. New York: Penguin Viking.
- DEHAENE, Stanislas idr., 2010: How learning to read changes the cortical networks for vision and language. *Science* 330. 1359–1364.
- TUCKER, Don M., FRISHKOFF, Gwen, PHAN, Luu, 2008: Microgenesis of language: vertical integration of linguistic mechanisms across the neuraxis. Brigitte Stemmer, Harry A. Whitaker (ur.): *Handbook of the Neuroscience of Language*. Amsterdam: Academic press. 45–53.
- ZIMMER, Carl, 2005: *Smithsonian Intimate Guide to Human Origins*. Toronto: Madison Press Books.