

Learning a second language as evidence of brain plasticity [In Persian]

Fatemeh Shafiei^{1*}, Habibollah Ghassemzadeh²

¹ Ph.D. Cognitive Linguistics, Institute for Cognitive Science Studies, Tehran, Iran.

² Professor. Department of Psychiatry, Roozbeh Hospital, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

*Corresponding author: s.shafiei@alumni.ut.ac.ir

DOI: 10.22034/jltll.2021.528532.0

Received: 02 May, 2021

Revised: 05 Jun, 2021

Accepted: 17 Aug, 2021

ABSTRACT

The study of the relationship between the brain and language learning has always been of interest to researchers in various sciences. This may be due to the multidimensional nature of language that influences other human activities. One of the issues that has been raised for a long time is how the brain is able to learn language and how language learning affects the brain. In this study, we first refer to the classical view of the brain based on the concept of inflexibility of the brain after passing through the critical age, and then the opposite view, Donald Hebb's view, which emphasizes the constant flexibility of the brain was presented. In the following, by mentioning the researches done using brain imaging technology in the field of second language learning, the flexibility of the brain is examined and in this regard, the question is whether the brain, after passing through the critical age, will have no change or will the plasticity of the brain continue throughout life, and what effects does the language learning have on it? The results indicated that the plasticity of the brain in linguistic and non-linguistic learning does not depend on age, and the brain has the ability to regenerate itself to some extent at any age. As a result of this view, the assumption of the classical view of the brain that there is a critical period for the plasticity of the brain is questioned.

Key words: Brain Plasticity, Second language learning, Bilingualism, Critical Period, Sensitive Period, Cognitive Activities.

یادگیری زبان دوم به عنوان شاهی بر انعطاف پذیری مغز

فاطمه شفیعی^{۱*}، حبیب‌الله قاسم‌زاده^۲

۱. دکترای تخصصی زبان‌شناسی شناختی، موسسه آموزش عالی علوم شناختی، تهران، ایران

۲. استاد، دپارتمان روان‌پزشکی، بیمارستان روزبه، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

*نویسنده مسئول مقاله Email: s.shafiee@alumni.ut.ac.ir

DOI: 10.22034/jltll.2021.528532.0

پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۲۷

اصلاح: ۱۴۰۰/۰۳/۱۵

دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۱۲

چکیده

بررسی رابطه مغز و فراگیری زبان، همواره مورد علاقه پژوهشگران علوم مختلف بوده است. این امر شاید برخاسته از ویژگی چند بُعدی زبان باشد که سایر فعالیت‌های بشری را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد. یکی از مسائلی که از دیرباز مطرح بوده است، پرداختن به چگونگی توانایی مغز در فراگیری زبان و نیز چگونگی تأثیر فراگیری زبان بر مغز است. در این جستار ابتدا به دیدگاه کلاسیک مغز مبنی بر مفهوم تغییرناپذیری مغز پس از گذر از مرحله حساس و یا مرحله تعیین‌کننده، اشاره می‌گردد و سپس دیدگاه مخالف این نظر یعنی دیدگاه داندل هب که به انعطاف‌پذیری همیشگی مغز تأکید دارد، بررسی می‌شود و توضیح داده می‌شود. در ادامه، با ذکر پژوهش‌های انجام‌شده با استفاده از فن‌آوری تصویربرداری مغزی در حیطه فراگیری زبان دوم، قابلیت انعطاف‌پذیری مغز، مورد بررسی قرار می‌گیرد و در این راستا به این سوال پرداخته می‌شود که آیا مغز پس از گذر از مرحله حساس، دیگر هیچ تغییری پیدا نمی‌کند یا این‌که انعطاف‌پذیری مغز در تمام طول عمر ادامه پیدا خواهد کرد و یادگیری زبان در آن چه تأثیری دارد؟ نتایج بیانگر آن است که انعطاف‌پذیری مغز در یادگیری زبانی و غیر زبانی وابسته به سن نیست و مغز در هر سنی این قابلیت را دارد که تا حدی خودش را بازسازی کند. در نتیجه این نگاه، فرض دیدگاه کلاسیک درباره مغز مبنی بر وجود دوره تعیین‌کننده در انعطاف‌پذیری مغز مورد تردید قرار می‌گیرد.

واژگان کلیدی: انعطاف‌پذیری مغز، یادگیری زبان دوم، دوزبانگی، دوره تعیین‌کننده، دوره حساس،

فعالیت‌های شناختی

همه انسان‌ها به محض تولد و شاید پیش از آن و در دوران جنینی به اکتساب یا فراگیری زبان می‌پردازند که این امر، به عنوان ابزار ارتباطی، در تحقق ماهیت اجتماعی آنان، نقش بسیار مهمی ایفا می‌کند. بر این اساس، می‌توان ادعا نمود که فراگیری زبان اول به صورت ناخودآگاه و با قرار گرفتن در محیط زبانی رخ می‌دهد. اما در عین حال، این ویژگی اجتماعی بودن انسان که با رشد قشر پیشانی همراه است و در حقیقت، در نظر بسیاری از صاحب‌نظران و محققان، وجود این قسمت از مغز است که انسان را انسان ساخته است، به منظور برقراری ارتباط هرچه بیشتر با دنیای پیرامون، او را به سوی یادگیری زبان‌های دیگر سوق می‌دهد (Baars, 2013). در دنیایی که امروزه زندگی می‌کنیم، بیش از نیمی از مردم آن، علاوه بر زبان مادری خود، به صورت فعال در حال فراگیری و به کارگیری زبان دوم یا سوم هستند (Grosjean & Li, 2013). فراگیری زبان دوم فرایندی است که حیطه‌های مختلفی را در بر می‌گیرد، و از این رو، دانشمندان علوم مختلف مانند زبان‌شناسی همگانی، زبان‌شناسی کاربردی، روان‌شناسی، عصب‌پژوهی، شناخت‌پژوهی و بسیاری حوزه‌های دیگر مانند مردم‌شناسی، مطالعات اجتماعی و فرهنگی، سیاست و غیره آن را مورد بررسی قرار می‌دهند. در این میان، یکی از کاربردی‌ترین نظریه‌ها در این باره، توسط عصب‌پژوهان و شناخت‌پژوهان علاقه‌مند به مباحث زبانی مطرح شده است، به طوری که می‌توان گفت یافته‌های آنان در تعاملی دو یا چند جانبه با سایر حوزه‌ها مانند زبان‌شناسی، نتایج شگرفی نیز به همراه داشته است. در این راستا، مفاهیم و فرضیه‌های گوناگونی از سوی عصب‌پژوهان و شناخت‌پژوهان درباره فراگیری زبان و به‌ویژه زبان دوم و ارتباط آن با مغز مطرح شده است که از بنیادی‌ترین آن‌ها می‌توان به مباحث مطرح‌شده درباره تاثیر یادگیری زبان دوم بر مغز انسان در طی زمان اشاره کرد. پژوهشگران این حوزه‌ها، در این زمینه، مفاهیم و فرضیه‌های مختلفی را از جمله فرضیه دوره تعیین‌کننده برای فراگیری زبان اول، فرضیه دوره حساس در فراگیری زبان اول، و چگونگی عملکرد این فرضیه‌ها در یادگیری زبان دوم و ارتباط آن با انعطاف‌پذیری مغزی یا عصبی بیان کرده‌اند. آنچه در این میان، در این نوشتار مورد نظر قرار گرفته است، بررسی تأثیر فراگیری فعالیت‌های شناختی، به طور عام، و فراگیری زبان دوم، به طور خاص، بر مغز است.

سوالی که ممکن است پیش از هر چیز در این زمینه مطرح می‌شود این است که اهمیت انعطاف‌پذیری مغز در چیست و چرا برای بررسی این اهمیت به یادگیری زبان پرداخته می‌شود؟ نگرش سنتی و قدیمی

به مغز که از آن به نگاه بدبینانه به مغز نیز یاد می‌شود، بر این باور است که در رشد و تغییر و تحول مغز دوره تعیین‌کننده‌ای وجود دارد که اگر در آن زمان، فراگیری فعالیت‌های مختلف شناختی صورت نپذیرد، پس از گذشت آن دوران دیگر هرگز فراگیری‌ای اتفاق نخواهد افتاد. از این رو، با عدم رشد سلول‌های مغزی در دوره تعیین‌کننده، پس از سپری شدن این دوران، هرگونه تغییر و تحول در مغز ناممکن است و لذا مطابق این نگرش، هرگونه آسیب به مغز اعم از آسیب‌های بیرونی یا پیرشدن طبیعی مغز غیر قابل جبران است و باز نمی‌گردد. اما اگر به انعطاف‌پذیری مغز باور داشته باشیم (نگاه خوش‌بینانه و جدید به مغز)، پیرشدن مغز و چگونگی آن، تا حدود زیادی تحت کنترل فرد و فعالیت‌های شناختی‌ای خواهد بود که فرد برای ارتقای عملکرد مغز خود، به آن‌ها می‌پردازد و در حقیقت، آن‌ها را فرا می‌گیرد. از جمله این فعالیت‌ها، فراگیری زبان دوم یا سوم است که در این نوشتار به آن خواهیم پرداخت و در بخش‌های بعدی با بیان پژوهش‌های انجام‌شده در این حیطه نشان خواهیم داد چه‌گونه یادگیری زبان جدید، بر خلاف نگرش قدیمی به مغز، می‌تواند بر مغز تأثیر بگذارد و در نتیجه این اثرگذاری، به عنوان شاهدی بر انعطاف‌پذیری مغز نیز در نظر گرفته شود.

۲. انعطاف‌پذیری مغز چیست؟

انعطاف‌پذیری مغز که انعطاف‌پذیری عصبی یا نورونی، یا الگویابی مجدد قشر مغز نیز نامیده می‌شود، اصطلاحی است که به توانایی مغز در تغییر و تطبیق دادن و دوباره سازمان‌دهی کردن گره‌گاه‌های نورونی در تمام طول عمر و در نتیجه تجربه، دلالت دارد. به بیان ساده‌تر، می‌توان گفت انعطاف‌پذیری مغزی به معنای توانایی تغییر در نتیجه یادگیری است. تغییر و انعطاف‌پذیری نورونی می‌تواند در مقیاس کوچک و در سطح تغییر فیزیکی سلول‌های منفرد باشد یا در مقیاس بزرگ بوده و همه ساختار مغز را در بر بگیرد. مانند الگویابی مجدد قشر مغز هنگامی که بخشی از مغز آسیب‌دیده، کارکرد خود را از دست داده است. این تغییر و انعطاف‌پذیری از طریق افزایش شمار پیوندگاه‌های میان نورون‌ها یا به واسطه افزایش رهاسازی انتقال‌دهنده‌های عصبی صورت می‌پذیرد و سبب تقویت بلندمدت یا تضعیف بلندمدت، و در نتیجه، یادگیری می‌شود (Gazzaniga, 2013). انعطاف‌پذیری نورونی به انواع گوناگونی طبقه‌بندی شده است. اما در یک دسته‌بندی کلی می‌توان به دو نوع انعطاف‌پذیری اشاره کرد: انعطاف‌پذیری کارکردی و انعطاف‌پذیری ساختاری. انعطاف‌پذیری کارکردی به توانایی مغز در جابه‌جایی کارکرد مغز از ناحیه آسیب‌دیده به ناحیه‌های سالم دیگر گفته می‌شود و علاوه بر آن‌چه که به هنگام رشد اتفاق می‌افتد، در

آسیب‌های مغزی ناشی از عوامل گوناگون نظیر سکنه‌های مغزی، تومورها یا ضربه‌های مغزی رخ می‌دهد و سبب بهبود کارکرد مغز می‌گردد. در عین حال، انعطاف‌پذیری ساختاری، در تغییر ساختار فیزیکی و ایجاد و افزایش پیوندگاه‌ها در نتیجه یادگیری صورت می‌پذیرد.

۳. انعطاف‌پذیری مغز و فرضیه دوره تعیین‌کننده و دوره حساس در فراگیری زبان

همان‌گونه که اشاره شد منظور از انعطاف‌پذیری مغز، در واقع، توانایی مغز در سازمان‌دهی دوباره خود از طریق ایجاد اتصالات عصبی جدید در طول زندگی است. انعطاف‌پذیری مغز، به نوروها (یاخته‌های عصبی) در مغز اجازه می‌دهد تا آسیب و بیماری را جبران کنند و فعالیت‌های خود را در پاسخ به موقعیت‌های جدید یا تغییر در محیط خود تنظیم نمایند. در دیدگاه‌های کلاسیک فلسفی و علمی، اعتقاد بر این بود که با افزایش سن، انعطاف‌پذیری مغزی نیز کاهش می‌یابد و در نتیجه آن، فراگیری فعالیت‌های شناختی، که یکی از مهم‌ترین آن‌ها زبان است، محال یا خیلی سخت خواهد بود. به عنوان مثال، نمی‌دانیم چرا ویکتور، کودک جنگل که در سن ۱۲ سالگی در جنگل‌های فرانسه پیدا شد و ایتارد او را مورد آموزش و مطالعه قرار داده بود، نتوانست حرف زدن را یاد بگیرد؟! یا نظر لنه‌برگ درباره فعال‌شدن زبان به عنوان یک رفتار زیستی در دوره‌ای خاص به نام دوره تعیین‌کننده، درباره میزان زبان‌آموزی جنی که دختر بچه‌ای ۱۳ ساله بود و از سن ۲۰ ماهگی تا زمان پیدا شدنش، به دست پدر و مادرش حبس شده بود، تا چه حد درست است؟! در این راستا، پژوهشگران به دو دسته تقسیم می‌شوند. یکی گروهی که بر فرضیه وجود دوره تعیین‌کننده در فراگیری زبان و بسیاری از فرایندهای شناختی دیگر تأکید می‌کنند و بیان می‌دارند که پس از این دوره، از انعطاف‌پذیری مغز به طور چشم‌گیری کاسته می‌شود. گفته می‌شود اگر کودک تا ۶ ماهگی در معرض نور و روشنایی قرار نگیرد، راه‌های عصبی گیرنده که از چشم به قشر مخ می‌روند، از بین می‌روند. این مثالی است از وجود دوره تعیین‌کننده در سایر فرایندهای مغزی و شناختی. فرضیه دوره یا مرحله تعیین‌کننده، از مدت‌ها پیش در میان زبان‌شناسان و روان‌شناسان نیز مطرح بوده است. بر اساس این فرضیه، توانایی دست‌یابی به زبان، از نظر زیست‌شناختی، به سن پیوند خورده است. در این فرضیه ادعا می‌شود که در محیط غنی زبانی، دامنه زمانی کمال‌مطلوبی برای دست‌یابی به زبان وجود دارد که پس از آن، فراگیری زبان بسیار دشوار و گاهی غیر ممکن می‌گردد. در حقیقت، فرضیه دوره تعیین‌کننده بیان می‌کند که چند سال اول زندگی، زمان بسیار حیاتی‌ای است که فرد می‌تواند در صورت ارایه محرک‌های مناسب، زبان اول را فراگیرد. اگر یادگیری زبان، در طی این مدت رخ ندهد،

شخص به زبان کامل، به ویژه دستور زبان، دست نخواهد یافت. (Kennedy & Lenneberg, 1967) گروه دیگر، پژوهشگرانی هستند که به وجود دوره حسّاس در فراگیری زبان و برخی فرایندهای شناختی اعتقاد دارند. دوره حسّاس، دوره‌ای است که طی آن، فراگیری زبان ساده و راحت است و اگر این دوره تمام شود و کودک زبانی نیاموزد، این گونه نیست که دیگر نتواند آن را فرا بگیرد. بلکه، پس از گذر از دوره حسّاس هم می‌توان زبان را فراگرفت اما با دشواری بیشتر و کارایی کمتر همراه خواهد بود. دو اصطلاح دوره تعیین‌کننده و دوره حسّاس، در اصل، از تحقیقات اتولوژیست‌ها برخاسته‌اند و نقشی مهم در روان‌شناسی کودک، نورولوژی، یادگیری زبان و غیره ایفا کرده‌اند.

نگاه هم‌سو با وجود دوره تعیین‌کننده در یادگیری زبان، یادآور نگرش کاخال به مغز است. کاخال بر این باور بود برای رشد و ترمیم و تکثیر سلول‌های مغزی، دوره تعیین‌کننده‌ای وجود دارد که پس از اتمام آن، هیچ‌گونه تغییری در آن‌ها رخ نخواهد داد. از این دیدگاه به عنوان دیدگاه بدبینانه به مغز یاد می‌شود (Baars, 2013). اما در مقابل، دانشمندانی مانند داندل اُ هب (۱۹۸۵ - ۱۹۰۴) بر این باور بودند که انعطاف‌پذیری مغز همیشگی است و در هیچ سنی پایانی بر آن وجود ندارد. هب در نظریه‌پردازی خود، از آنچه روان‌شناسان، سازه‌های نظری می‌خوانند _ یعنی عناصر نظری که می‌توان آن‌ها را در مقام اشاره به ساختارهای واقعی و قابل مشاهده به کار گرفت _ استفاده می‌کند. او در اصطلاحات نظری خود، از سازه‌هایی مانند گره‌واره‌های سیناپسی، گروه‌های نورونی، و توالی یا زنجیره فازی استفاده می‌کند. سازه‌هایی که شاید معلوم شود که متناظرهای فیزیولوژیک هم در واقعیت دارند. وی با استفاده از این اصطلاحات، نظریه‌ای ساخته و پرداخته است که هم در فیزیولوژی و هم در روان‌شناسی یادگیری و انگیزش، پژوهش‌های جدید فوق‌العاده پرباری را پدید آورده است (هایمن، ۱۳۹۶). در واقع، دغدغه اصلی هب، ارایه کردن تبیینی علمی برای پردازش‌های عالی ذهنی مانند ادراک، تفکر، و رفتار ارادی بود (Ghassemzadeh, et. al, 2013). در این راستا، هب به دو مفهوم کلیدی اشاره می‌کند: گروه‌ها یا مجتمع‌های سلولی یا نورونی و زنجیره‌های مرحله‌ای. او بیان می‌دارد هر شیء‌ای که ما آن را تجربه می‌کنیم، مجموعه‌ای از نورون‌ها را راه‌اندازی می‌نماید که این مجموعه، گروه‌های سلولی یا نورونی نام دارد. برای مثال دو سلول نورونی A و B را در نظر بگیرید. می‌دانیم که پتانسیل عمل و تحریک یک نورون به واسطه آکسون نورون دیگر صورت می‌پذیرد. وقتی آکسون سلول A به اندازه کافی، یعنی اندازه‌ای که سبب رخداد پتانسیل عمل در سلول بعدی شود _ به این معنی که سلول B را تحریک کند، و به

طور مداوم در شلیک آن دخالت نماید _ در یکی از این سلول‌ها و یا هر دوی آن‌ها تغییرات رشدی یا متابولیک اتفاق می‌افتد. بر اثر این تغییرات، کارآمدی سلول A، به عنوان یکی از سلول‌هایی که سلول B را تحریک می‌کند، افزایش می‌یابد. طراحان شبکه عصبی، این فرض یادگیری را پذیرفتند و به عنوان "قاعده هب" از آن یاد کردند. چند سال بعد، نوروفیزیولوژیست‌ها برای آزمون این فرض، تکنیک‌هایی را وضع کردند و در نهایت، سیناپس‌هایی که با این قاعده، هم‌خوانی داشتند، "سیناپس‌های هبی" لقب گرفتند (قاسم‌زاده، ۱۳۸۹). به گفته هب، گروه‌های سلولی، نظام‌های عصبی پویا هستند و بسته به شیء یا رویداد محیطی که معرف آن‌ها است، می‌توانند بزرگ یا کوچک باشند. برای مثال می‌توان به گروه‌های نورونی وابسته به دستگیره در خانه و چیزهای مرتبط با آن اشاره کرد. هنگامی که فرد دستگیره در را می‌بیند، گروه‌های نورونی وابسته به مفهوم خانه و دیگر مفاهیم مرتبط با آن مثل پنجره، میز، صندلی و ... در او فعال می‌گردد و فرد می‌تواند به آن‌ها فکر کند. در واقع، تمامی گروه‌های سلولی یک مجموعه عصبی، در هم تنیده هستند و می‌توانند از طریق تحریک بیرونی یا درونی یا ترکیب این دو راه‌اندازی شوند. به اعتقاد هب، گروه‌های نورونی، اساس عصب‌شناختی اندیشه است و او از این طریق تبیین می‌کند که چرا قرار گرفتن در معرض خانه، حیوان، چیز یا فرد مورد علاقه برای این‌که بتوانیم به آن فکر کنیم، لازم نیست.

مفهوم دیگری که هب مطرح می‌کند، مفهوم زنجیره‌های مرحله‌ای است. هب می‌گوید جنبه‌های مختلف یک شیء از لحاظ عصب‌شناختی با هم ارتباط می‌یابند و گروه‌های نورونی را شکل می‌دهند. گروه‌های نورونی نیز به لحاظ عصب‌شناختی با هم ترکیب می‌شوند و زنجیره‌های مرحله‌ای را به وجود می‌آورند. زنجیره مرحله‌ای، رشته‌ای از فعالیت یکپارچه شده موقتی است که در جویبار اندیشه، جریان به حساب می‌آید و در حقیقت بر این اساس، هنگامی که یک زنجیره مرحله‌ای راه‌اندازی می‌شود، فرد جریان سیال تفکر را تجربه می‌کند. برای مثال، کودک براساس آنچه از نوازش مادرش تجربه کرده است، با شنیدن صدای پای مادر، تصویر صورت و حس نوازش او در ذهنش نقش می‌بندد، چراکه پیش از این، مجتمع‌های سلولی و به دنبال آن زنجیره‌های مرحله‌ای این رویداد در سلول‌های مغزی‌اش شکل گرفته است. هب، سپس، نتیجه می‌گیرد که نورون‌هایی که با هم شلیک می‌کنند، با یک‌دیگر پیوند می‌خورند و نورون‌هایی که جدا از هم شلیک می‌کنند، جدا از هم هستند. و به این ترتیب، او قانون معروف خود را که اصل اول گروه‌اندیشی نورونی ادلمن نیز می‌باشد، معرفی می‌نماید: "شلیک با هم، پیوند با هم"، "شلیک

جدا از هم، پیوند جدا از هم". بر این اساس، می‌توان گفت داند هب یکی از اولین افرادی است که درباره ماهیت انعطاف‌پذیر مغز صحبت کرده است (Cooper, 2004; spartz, 1995).

علاوه بر این، مطالعات اخیر نیز دیدگاه بدبینانه به مغز را به چالش کشیده‌اند و پژوهش‌هایی که در حوزه مغز و شناخت مربوط به توجه، حافظه، ادراک و فراگیری زبان دوم انجام گرفته‌اند، بر انعطاف‌پذیری نورونی همیشگی مغز در بزرگسالان دلالت دارند (برای مشاهده خلاصه‌ای از این فعالیت‌ها نگاه کنید به: Abutalebi & Green, 2007, Hernandez, 2013, و Li, 2014). همچنین، فن‌آوری تصویربرداری مغز مانند fMRI و MRI تأثیر شگرفی بر پیشرفت پژوهش‌های مرتبط با ساختار و عملکرد مغز داشته‌اند (برای مثال نگاه کنید به: Hickok, 2009; Poeppel, Emmorey, & Pylkkanen, 2012).

۴. انعطاف‌پذیری مغز و یادگیری زبان دوم

همان‌گونه که پیش این اشاره شد، در دیدگاه کلاسیک مغز و زبان، بر کاهش انعطاف‌پذیری مغز بزرگسالان در یادگیری زبان دوم تأکید می‌شود و به‌ویژه، فرضیه دوره تعیین‌کننده برجسته می‌گردد. اما دیدگاه علمی جدید، این نظریه را به چالش می‌کشد و از طریق به‌کارگیری تکنولوژی تصویربرداری مغز و به ویژه fMRI در بررسی‌های زبانی بر انعطاف‌پذیری همیشگی مغز به هنگام انجام این فعالیت‌ها دلالت دارد. مطالعاتی که انجام شده است، نشان داده‌اند که بر خلاف پیش‌بینی‌های فرضیه دوره تعیین‌کننده، یادگیری زبان دوم حتی اگر خیلی دیر هم در بزرگسالی اتفاق بیافتد، به تغییرات نورونی و رفتاری منجر می‌گردد که به الگوهای زبان اول نیز نزدیک است (Abutalebi, et all, 2005; Hernandez, 2013; Indefrey, 2006; Sebastián-Gallés, et all, 2012).

دو زبانگی مهارت پیچیده‌ای است که مغز باید به هنگام سخن گفتن، از بین دو زبان، یکی را برگزیند. این گزینش به گونه‌ای صورت می‌گیرد که مداخله‌های احتمالی زبان دیگر، مورد بازداری قرار گیرد و در عین حال، حالت رفت و برگشتی وجود داشته باشد. به نظر می‌رسد برای انجام این کار، یک سیستم کنترل شناختی در کار باشد که خود از چندین مدار قشری و زیرقشری تشکیل یافته است. از آن جمله می‌توان به قشر جلوی پیشانی (PFC)، قشر سینگولیت قدامی (ACC)، قشر آهیانه‌ای زیرین (IPC) و عقده‌های پایه‌ای زیرقشری اشاره کرد. وقتی فرد دو زبانه، یکی از زبان‌ها را به کار می‌گیرد، شکنج پیشانی زیرین در نیم‌کره چپ، نقش اصلی را در متوقف کردن دخالت زبان دیگر ایفا می‌کند. در این

حالت، ACC و نواحی ذی‌نقش در برنامه حرکتی زبان فعال می‌شوند (Blackburn, 2018: 8-127).

یکی از دلایل علاقه به مطالعه دوزبانگی، تأثیر شناختی_عصبی‌ای است که این یادگیری بر مغز دارد. دوزبانگی، نه تنها تغییراتی را در کارکرد مغز، بلکه در ساختار مغز هم ایجاد می‌کند. الگوهای تجربه زبان دوم، اغلب با تغییرات آناتومیکی در ساختار مغز همراه هستند. از جمله این تغییرات، می‌توان به تغییراتی مانند افزایش تراکم ماده خاکستری مغز، ضخامت قشر مغز و تقویت و یک‌پارچگی هرچه بیشتر ماده سفید اشاره نمود. شبکه‌های زبانی در دوزبانانها بیشتر از تک‌زبانانها از طریق ماده سفید به هم مربوط می‌شوند. ماده سفید مقاومت بیشتری در برابر پس‌رفت‌های مربوط به سن، از خود نشان می‌دهد (Blackburn, 2018). فراگیری زبان دوم در انعطاف‌پذیری هر سه بخش ماده خاکستری، قشر مغز و ماده سفید نقش دارد و بنابراین، در بررسی‌های مختلف انعطاف‌پذیری مغز، سهم عظیمی را به خود اختصاص داده است.

مچلی (۲۰۰۴) در مطالعه‌ای که با استفاده از فن‌آوری تصویربرداری مغز انجام داده است، تراکم ماده خاکستری را در افرادی که زبان دوم را یاد می‌گیرند، اندازه‌گیری نموده است. او دو دسته افراد دوزبانان را مورد بررسی قرار داد. یک دسته، افرادی بودند که قبل از ۵ سالگی زبان دوم را فراگرفته بودند، یعنی پیش از تمام‌شدن دوره تعیین‌کننده که در مطالعات کلاسیک به تأثیر و اهمیت بالای آن در فراگیری زبان اعتقاد داشتند، و دسته دیگر، افرادی بودند که در سنین ۱۰ تا ۱۵ سال، زبان دوم را یاد گرفته بودند. او مشاهده کرد که در هر دو دسته، تراکم ماده خاکستری در قطعه آهیانه زیرین چپ (IPL) نسبت به افراد تک‌زبانان بیشتر بود. اما در عین حال، تأثیرش در دسته اول که زبان دوم را پیش از سن ۵ سالگی فراگرفته بودند، بیشتر از دسته دوم بود. نکته جالب توجه این است که منطقه IPL، ناحیه مهمی در یک‌پارچه‌سازی معنایی و یادگیری واژگان و حافظه کارآیند محسوب می‌شود و گسترش بیشتر این ناحیه در افراد دوزبانان شاید به سبب کارکردن با تعداد واژگان بیشتر باشد. علاوه بر این، در این مطالعه، میزان مهارت زبان‌آموز هم درجات تأثیر متفاوتی را نشان داده است. هر قدر زبان‌آموز مهارت بیشتری از خود نشان می‌داد، تراکم این قسمت بیشتر بود. مطالعات بعدی از جمله گروگن (۲۰۱۲) و دلاروزا (۲۰۱۳) یافته مچلی را تأیید کرده‌اند و نشان داده‌اند علاوه بر IPL، ماده خاکستری در نواحی مجاور این منطقه یعنی

قشر آهیانه ای گیج گاهی (TPC) نیز در افراد دوزبانه از تراکم بیش‌تری نسبت به افراد تک‌زبانه برخوردار است.

در همین زمینه، پژوهشگران دیگری از جمله، مارتسون و همکاران (۲۰۱۲)، اشلگل و همکاران (۲۰۱۲)، زاتوری و همکاران (۲۰۱۲) و ابوطالبی و همکاران (۲۰۱۲) نیز نشان داده‌اند که علاوه بر تراکم ماده خاکستری، ضخامت قشر مغز و میزان یک‌پارچگی ماده سفید نیز بین افراد دوزبانه و تک‌زبانه متفاوت است.

۵. تغییر ساختاری، نمایانگر الگوی کارکردی فعالیت‌های نورونی

ماده خاکستری، متداول‌ترین و بیش‌ترین تغییرات آناتومی مغزی را به خود اختصاص داده است. در این قسمت از مغز، منطقه‌های کلیدی‌ای وجود دارند که در فراگیری و پردازش زبان نقش حیاتی دارند. این مناطق عبارت‌اند از (Li, et all, 2014):

IFG: Inferior Frontal Gyrus

شکنج قدامی زیرین: منطقه اصلی مغز برای زبان در نیم‌کره چپ که در بازیابی واژگان، نقشه تولید و پردازش واژی_نحوی نقش دارد. منظور از پردازش واژی_نحوی، پردازش واژه‌ها با هم و در سطح کلّ جمله است. در پردازش واژی_نحوی، مغز مقوله و نوع واژه را در ارتباط با واژه‌های دیگر جمله، یعنی واژه‌های قبل و بعد از آن، تشخیص می‌دهد.

MFG: Middle Frontal Gyrus

شکنج پیشانی میانه: این منطقه در نیم‌کره چپ برای انتخاب معنی واژگان و نیز کارکردهای نقشه تولید و کنترل اجرایی و حافظه کارآیند و پاسخ‌های مهارتی دخیل است.

STG: Superior Temporal Gyrus

شکنج گیج‌گاهی بالایی: عمدتاً در پردازش‌های واجی و آوایی دخالت دارد. بخش‌های عمیق‌تر آن، به ویژگی‌های صوتی و قسمت‌های بالاتر آن، به مشخصه‌های واجی حسّاس‌اند.

ALT: Anterior Temporal Lobe

قطعه گیج‌گاهی قدامی: این قسمت در نیم‌کره چپ به همراه بخش زیرین و میانی، جنبه‌های مختلف بازنمایی و پردازش معنایی را به عهده دارد.

IPL: Inferior Parietal Lobe

یادگیری زبان دوم به عنوان شاهدهی بر انعطاف پذیری مغز

قطعه آهیانه زیرین: این بخش در نیم کره چپ به همراه برخی مناطق مجاورش یادگیری واژگان، حافظه کارآیند واجی، ذخیره واجی و یک پارچه سازی معنایی را به عهده دارد.

HP: Hippocampus

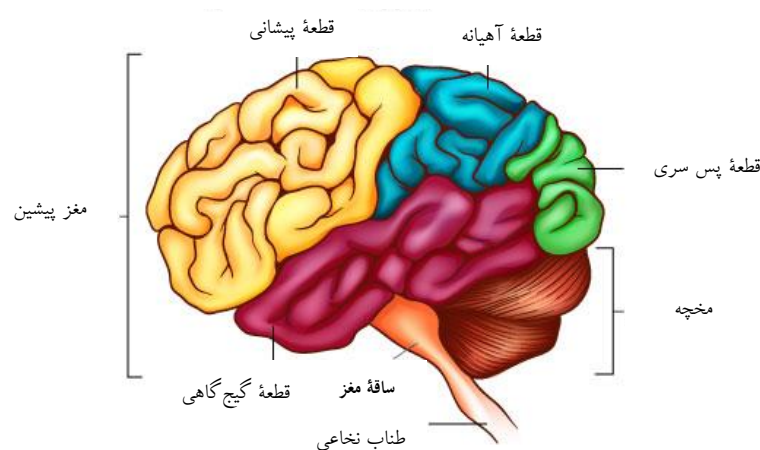
هیپوکمپ: برای شکل گیری حافظه، حیاتی است و در ایجاد ارتباط های واژگانی معنایی نقش دارد.

CB: Cerebellum

مخچه: اگرچه در نگاه کلاسیک، جزء قسمت های دست اندرکار در پردازش های زبانی نیست، اما پژوهش های جدید نشان داده اند که در پردازش معنایی واژگانی و نیز در پردازش دستوری به عنوان بخشی از سیستم حافظه شیوه مدار دخالت دارد.

در شکل زیر، بخش های مختلف نیم کره چپ، به طور ساده، نمایش داده شده است.

آناتومی مغز انسان



شکل ۱: نمای جانبی نیم کره چپ مغز

Figure 1: Lateral view of the left hemisphere of the brain

مطالعات مبتنی بر تصویربرداری مغزی نشان داده اند که قشر خاکستری مغز در قسمت هایی که در فراگیری زبان نقش دارند و بالاتر به آن ها اشاره شد، در افراد دوزبانه از تراکم بالاتری برخوردار است. این شواهد نمایانگر آن است که بین کارکرد و ساختار مغز مطابقت پایدار وجود دارد و انعطاف پذیری ساختاری نتیجه انطباق و درگیری کارکردی پویا است. درحقیقت، فراگیری زبان جدید مانند هر فعالیت شناختی دیگر، با

ایجاد مدارهای نورونی و ارتباطات پیوندگاهی همراه است. در این زمینه نیز پژوهش هایی انجام شده است که در ادامه به دو مورد از آنها اشاره می‌کنیم.

بردلی و هرماندز (۲۰۱۲)، دو گروه متشکل از افراد تک‌زبان انگلیسی‌زبان و دوزبانه انگلیسی-اسپانیایی را برای پژوهش خویش انتخاب کردند. سپس واژه جدید آلمانی را به هر دو گروه عرضه کرد و در حین آزمایش و نیز دو ساعت پس از انجام آزمایش، با استفاده از تکنولوژی fMRI، مغز این افراد را مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان دادند که در افراد دوزبانه، مناطق کنترلی وسیع‌تری فعال می‌گردند، درحالی‌که در افراد تک‌زبان، شبکه‌های زیرقشری منطقه‌بندی‌شده، شروع به فعالیت می‌کنند. بر این اساس، او نتیجه گرفت که این تفاوت‌ها در فعال‌سازی مناطق مختلف، نشان‌گر آن است افرادی که تجربه پردازش دو یا چند زبان را دارند، دسترسی کارآمدتری به نواحی کنترل شناختی دارند. این به معنای آن است که تجربه زبانی سبب می‌شود به هنگام فراگیری واژه جدید، مسیرهای متفاوتی در نواحی زیرقشری و پیش‌پیشانی فعال شوند.

در پژوهشی دیگر، ینگ و همکاران (۲۰۱۴)، به بررسی رابطه میزان موفق بودن و مهارت در زبان دوم و تغییرات شبکه نورونی پرداختند. سوال آنها این بود که چه‌گونه می‌توان تفاوت‌هایی را در تغییرات مغز نشان داد که بیان‌گر میزان موفقیت در یادگیری زبان دوم باشد. برای پاسخ‌گویی به این سوال، آزمایشی را ترتیب دادند که در آن سی و نه نفر فرد انگلیسی‌زبان حاضر بودند. این افراد، هیچ‌گونه دانشی درباره زبان‌های نواختی و از آن جمله، زبان چینی نداشتند. آزمودنی‌ها به مدت شش هفته در معرض یادگیری واژگان زبان چینی قرار گرفتند. در دو زمان قبل و بعد از آزمایش، fMRI انجام شد. نتایجی که به دست آمد، حاکی از آن بود که بعد از آموزش، الگوهای شبکه‌های مغز برای پردازش واژه‌های زبان چینی میان افرادی که واژگان را یاد گرفته بودند و افرادی که یاد نگرفته بودند، متفاوت بود. همچنین، در میان افرادی که یاد گرفته بودند نیز تفاوت‌های معناداری در نواحی مرتبط با زبان، بین افرادی که بیش‌تر موفق بودند و آن‌هایی که از موفقیت کم‌تری برخوردار شده بودند، دیده می‌شد. دلیل این امر این بود که یادگیرنده‌های موفق در مقایسه با یادگیرنده‌های کم‌تر موفق، از شبکه نورونی و مغزی چند مسیری یک‌پارچه‌تر و منسجم‌تری بهره گرفته بودند. بنابراین، همان‌گونه که مشاهده می‌شود، تغییر ساختار مغز، بیان‌گر الگوهای کارکردی فعالیت نورونی است و رابطه‌ای دوسویه میان آنها برقرار است.

۶. اثر عوامل شناختی در مغز

فراگیری زبان به لحاظ ماهیت چند بُعدی زبان، نواحی گوناگون مغزی را درگیر می‌کند و تأثیر عمیقی بر ساختار مغزی می‌گذارد. با این وجود، مطالعات مختلفی که انجام گرفته است، نشان می‌دهد که زبان در این زمینه منحصر به فرد نیست و سایر فعالیت‌های شناختی هم می‌توانند اثرات مشابهی بر ساختار مغز بگذارند. به عبارت دیگر، زبان به عنوان بخشی از نظام شناختی به همان روشی عمل می‌کند که دیگر مؤلفه‌های مؤثر بر شناخت سبب تغییرات مغزی می‌گردند. برای مثال، مگوایر و همکاران (۲۰۰۰) در مطالعه‌ای نشان داده‌اند که هیپوکمپ مغز رانندگان تاکسی لندن به میزان قابل توجهی بزرگ‌تر از دیگر افراد است. با بررسی‌هایی که انجام گرفت، مشخص شد که رانندگی، به خودی خود نیست که سبب این تغییر در هیپوکمپ می‌گردد، بلکه یادگیری و کاربرد دانش فضایی است که سبب تقویت حافظه فضایی و در نتیجه، افزایش اندازه هیپوکمپ می‌شود.

در مطالعه دیگری دراگانسکی و همکاران (۲۰۰۴) آزمایشی ترتیب دادند و شرکت‌کنندگان در آن آزمایش را به مدت سه ماه تحت آموزش و تمرین مهارت پرتاب سه توپ با دست قرار دادند. سپس با استفاده از فن‌آوری تصویربرداری مغز، مغز این افراد را با افراد عادی مقایسه نمود. نتایج این آزمایش نشان داد افرادی که در پرتاب سه توپ مهارت کسب کرده بودند، تراکم ماده خاکستری مغزشان در هر دو نیم‌کره در ناحیه میانی گیج‌گاهی افزایش یافته بود.

بنابراین، مطالعات انجام‌گرفته در این حوزه‌ها نشان می‌دهند که مغز هنگامی که در معرض محرک‌های شناختی کافی و مناسب قرار گیرد، فارغ از این‌که این محرک، زبانی باشد یا غیر زبانی، دست‌خوش تغییرات قابل توجهی می‌شود. اما هنوز نمی‌دانیم که در اثرگذاری ساختار و کارکرد مغز، آیا سازوکار مشترکی وجود دارد یا اثر این عوامل، هر یک، ویژگی خود را داراست.

نتیجه گیری

مطالعاتی که بررسی شد، نشان می دهند مغز زبانی ما، از سوئی، بسیار بیش تر از آنچه که پیش از این، تصور می شد، انعطاف پذیر است، و از سوی دیگر، انعطاف پذیری ساختاری وابسته به زبان، با انعطاف پذیری ای که در حوزه های غیر زبانی مشاهده می شود، همراه است. شاید بتوان با انجام پژوهش های بیش تر، از این شواهد در ردّ نظریه پیمانهای یا تک پردازهای ذهن سود جست. بر اساس این نظریه، ذهن انسان، سیستمی کاملاً یک پارچه نیست، بلکه مجموعه ای است از بخش هایی مجزاً و جدا از هم که با نام پیمانهای یا تک پردازنده شناخته می شوند. ارتباط این تک پردازنده ها با یکدیگر، با محدودیت هایی مواجه است؛ محدودیت هایی بیش تر از آنچه چیزی که در نگاه اول ممکن است به نظر آید. ایده ذهن تک پردازنده نخستین بار در سال ۱۹۸۳ توسط جری فودور و تحت تاثیر ایده های نوآم چامسکی مطرح شد و تاثیر بسیار ژرفی در علوم شناختی دوران معاصر، به ویژه، علوم شناختی نسل اول داشته است.

علاوه بر این، مشاهده شد که انعطاف پذیری مغز در یادگیری زبانی و غیر زبانی وابسته به سن نیست و مغز در هر سنی این قابلیت را دارد که تا حدی خودش را بازسازی کند. در نتیجه این نگاه، فرض دیدگاه کلاسیک درباره مغز مبنی بر وجود دوره تعیین کننده در انعطاف پذیری مغز مورد تردید قرار می گیرد. به علاوه، این مطالعات نشان می دهند که رابطه مستقیمی بین ساختار و کارکرد مغز وجود دارد و بنابراین، مغز هر چه بیش تر در معرض فعالیت های شناختی قرار گیرد، توانمندتر می گردد. اما مسأله ای که در این راستا وجود دارد، تاثیر تفاوت های زبانی بر مغز است. اگر فعالیت های زبانی به روش های متفاوتی بر انعطاف پذیری مغز اثر گذارند، به طوری که حتی میزان مهارت در فراگیری زبان جدید در افراد دوزبانه و با درجه مهارت های زبانی متفاوت، تاثیر متفاوتی بر مغز می گذارد، آیا می توان ادعا نمود که تفاوت های زبانی مانند این که برای مثال زبانی نواختی باشد یا خیر، از نحو پیچیده تری نسبت به دیگری برخوردار باشد، یا پدیده های چند معنایی و زبان استعاره ای و مجاز بیش تری را به کار برد، نیز بر چه گونه گی انعطاف پذیری مغز اثر گذارند؟ و سرانجام، اگر بپذیریم که حدّ و حدود زبان من یعنی حدّ و حدود جهان من، آن گونه که ویت گنشتاین می گوید، در آن صورت، حدّ و حدود دو زبانه ها چه گونه خواهد بود؟! پرسش هایی از این دست، سوال هایی هستند که نیازمند پژوهش های دقیق تر زبانی_عصب شناختی می باشند و امید می رود در آینده، با پاسخ گویی به آنها شاهد تحولات عمیق تری در مطالعات عصب پژوهی زبان باشیم.

منابع و مأخذ

- قاسم‌زاده، حبیب‌الله. (۱۳۸۹). میراث علمی هب. *بازتاب دانش: نشریه‌ای درباره شناخت، مغز و رفتار*، ۱۶ (۴)، ۵-۱۷.
- هایمن، ری. (۱۳۹۶). *مقدمه‌ای بر ماهیت و فرایند پرسش‌گری در پژوهش‌های روان‌شناسی*. ترجمه دکتر حبیب‌الله قاسم‌زاده. تهران: انتشارات ارجمند.

Acknowledgements

We would like to express our thanks to reviewers for their valuable suggestions on an earlier version of this paper.

Declaration of Conflicting Interests

The author(s) declared no potential conflicts of interest with respect to the research, authorship and/or publication of this article.

Funding

The author(s) received no financial support for the research, authorship, and/or publication of this article.

REFERENCES

- Qasimzadeh, H.. (2010). "*Heb Scientific Heritage*". Reflection of Knowledge: Journal of Cognition, Brain and Behavior, Vol.16. No. 4, pp 5-17.
- Hayman, R. (2017). "*An Introduction to the Nature and Process of Questioning in Psychological Research*". Translated by Dr. Habibollah Qasemzadeh. Tehran: Arjmand Publications.
- Abutalebi, J., Cappa, S. F., & Perani, D. (2005). "*What can functional neuroimaging tell us about the bilingual brain?*", In J. F. Kroll, & A. M. B. De Groot (Eds.), *Handbook of bilingualism: Psycholinguistic approaches* (pp. 497-515) New York: Oxford University Press .
- Abutalebi, J., Della Rosa, P. A., Green, D. W., Hernandez, M., Scifo, P., & Keim, R. (2012). "*Bilingualism tunes the anterior cingulate cortex for conflict monitoring*". *Cerebral Cortex*, 9, (22), 2076-2086. Doi: 10.1093/cercor/bhr287
- Abutalebi, J., & Green, D. (2007). "*Bilingual language production: the neurocognition of language representation and control*". *Journal of Neurolinguistics*, Vol. 20, No. 3, pp. 242-275. Doi: 10.1016/j.jneuroling.2006.10.003
- Baars, B. (2013). "*Fundamentals of cognitive neuroscience*". Boston: Academic press.
- Blackburn, A.M. (2018). "*The bilingual brain*". In J. Altarriba & R.R. Heredia (Eds), *An Introduction to bilingualism: Principles and processes*. New York: Routledge. Pp.107-138.
- Bradley, K. A. L. & Hernandez, A. E. (2012). "*Neural correlates of imagery based second language word learning*". Poster session presented at Neuroscience, the Society for Neuroscience's annual meeting, New Orleans, LA.
- Cooper, S. (2004). "*Donald O. Hebb's synapse and learning rule: a history and commentary*." *Neuroscience and behavioral reviews*, No. 28, pp. 851-874. Doi: 10.1016/j.neubiorev.2004.09.009

Della Rosa, P. A., Videsott, G., Borsa, V. M., Canini, M., Weekes, B. S., Franceschini, R., et al. (2013). "A neural interactive location for multilingual talent". *Cortex*, Vol. 49. No. 2, pp. 605-608. Doi: 10.1016/j.cortex.2012.12.001

Draganski, B., Gaser, C., Busch, V., Schuierer, G., Bodgahn, U., & May, A. (2004). "Changes in grey matter induced by training". *Nature*, No. 427, pp. 311-312. Doi: 10.1038/427311a

Grogan, A., Jones, O. P., Ali, N., Crinion, J., Orabona, S., Mechias, M. L., et al. (2012). "Structural correlates for lexical efficiency and number of languages in non-native speakers of English." *Neuropsychologia*, Vol. 50. No. 7, pp. 1347-1352. Doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2012.02.019

Grosjean, F., & Li, P. (2013). "The psycholinguistics of bilingualism". New York, NY: John Wiley & Sons, Inc.

Gazzaniga, M. (2013). "The cognitive neuroscience". Massachusetts Institute of Technology.

Ghassemzadeh, H., Posner, M., & Rothbart, M. (2013). "Contribution of Hebb and Vygotsky to an Integrated Science of Mind". *Journal of the History of the Neurosciences: Basic and Clinical Perspective*, DOI: 10.1080/0964704X.2012.761071

Hernandez, A. E. (2013). "The bilingual brain". Oxford, UK: Oxford University Press.

Hickok, G. (2009). "The functional neuroanatomy of language". *Physics of Life Reviews*, Vol. 3. No. 6, Pp.121-143. Doi: 10.1016/j.plrev.2009.06.001

Indefrey, P. (2006). "A meta-analysis of hemodynamic studies on first and second language processing: which suggested differences can we trust and what do they mean?", *Language Learning*, Vol. 56. No.1, pp. 279e304. Doi: 10.1111/j.1467-9922.2006.00365.x

Kennedy, D., & Norman, C. (2005). "What don't we know?" *Science*, Vol. 309. No. 5731, pp. 78-102.

Lenneberg, E. (1967). "Biological foundations of language". New York: Wiley.

Li, P. (2014). "Bilingualism as a dynamic process". In B. MacWhinney, & W. O'Grady (Eds.), "Handbook of language emergence". John Wiley & Sons, Inc (in press).

Li, P., et al (2014). "Neuroplasticity as a function of second language learning: Anatomical changes in the human brain". *Cortex*, No. 58, pp. 301-324 . Doi: 10.1016/j.cortex.2014.05.001

Maguire, E. A., Gadian, D. G., Johnsrude, I. S., Good, C. D., Ashburner, J., Frackowiak, R. S., et al. (2000). "Navigationrelated structural change in the hippocampi of taxi drivers". *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 97. No. 8, pp. 4398-4403. Doi: 10.1073/pnas.070039597

Mårtensson, J., Eriksson, J., Bodammer, N. C., Lindgren, M., Johansson, M., Nyberg, L., et al. (2012). "Growth of languagerelated brain areas after foreign

language learning". NeuroImage, Vol. 63, No. 1, pp. 240-244. Doi: 10.1016/j.neuroimage.2012.06.043

Mechelli, A., Crinion, J. T., Noppeney, U., O'Doherty, J. P., Ashburner, J., Frackowiak, R. S., et al. (2004). "*Structural plasticity in the bilingual brain: proficiency in a second language and age at acquisition affect grey-matter density*". Nature, Vol. 431, No. 7010, pp. 757. Doi: 10.1038/431757a

Poeppl, D., Emmorey, K., Hickok, G., & Pylkkänen, L. (2012). "*Towards a new neurobiology of language*". The Journal of Neuroscience, Vol. 32, No. 41, pp. 14125-14131. Doi: 10.1523/JNEUROSCI.3244-12.2012

Schlegel, A. A., Rudelson, J. J., & Tse, P. U. (2012). "*White matter structure changes as adults learn a second language*". Journal of Cognitive Neuroscience, Vol. 24, No. 8, pp. 1664-1670. Doi: 10.1162/jocn_a_00240

Sebastián-Gallés, N., Soriano-Mas, C., Baus, C., Díaz, B., Ressel, V., & Pallier, C. (2012). "*Neuroanatomical markers of individual differences in native and non-native vowel perception*". Journal of Neurolinguistics, Vol. 25, No. 3, pp. 150-162. Doi: 10.1016/j.jneuroling.2011.11.001

Spartz, H. (1995). "*Hebb's concept of synaptic plasticity and neuronal cell assemblies*". Behavioral brain research, No. 78, pp. 3-7. Doi: 10.1016/0166-4328(95)00221-9

Yang, J., Gates, K., Molenaar, P., & Li, P. (2014). "*Neural changes underlying successful second language word learning: An fMRI study*". Manuscript submitted for publication.

Zatorre, R. J., Fields, R. D., & Johansen-Berg, H. (2012). "*Plasticity in gray and white: neuroimaging changes in brain structure during learning*". Nature Neuroscience, No. 4, pp. 528e536. Doi: 10.1038/nn.3045