

## Research Article

# Brain activity throughout audiovisual speech perception by functional magnetic resonance imaging

Yasaman Nojaba<sup>1</sup> - Nematollah Rouhbakhsh<sup>1</sup> – Mohammad ali Oghabian<sup>2</sup> - Shohreh Jalaie<sup>3</sup> - Sina Houshmand<sup>4</sup>

1- Department of Audiology, Faculty of Rehabilitation, Tehran University of Medical Sciences, Iran

2- Department of Biophysics, Faculty of Medicine, Tehran University of Medical Sciences, Iran

3- Department of Biostatistics, Faculty of Rehabilitation, Tehran University of Medical Sciences, Iran

4- Faculty of Medicine, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Received: 5 July 2010, accepted: 16 November 2010

## Abstract

**Background and Aim:** Neuroimaging techniques in audiovisual speech processing are innovative approach to neuroscience investigation that steadily influences the deep survey of highly mechanisms involved in this process. The purpose of this study was to evaluate brain activity via functional magnetic resonance imaging throughout audiovisual speech perception in Persian language.

**Methods:** Functional MRI was used to assess 19 normal 20-30 year old women while they had been presented syllable /ka/ visually and /pa/ auditory using block design method, in which it would provide two series of imaging, functional and T1-weighted. Subsequently, the results were analyzed and compared by FSL software.

**Results:** The results of this study pointed out that both middle and cortical regions of brain are activated in visual stimuli and its middle regions are activated in response to auditory stimuli. Hence, left anterior supramarginal, some parts of motor speech system including insular and cingulate cortex-precentral cortex were stimulated with visual stimulus and left posterior supramarginal as well as right supramarginal gyrus were stimulated with auditory stimulus. Moreover, in this investigation, McGurk effect was behaviorally proven in fifteen subjects.

**Conclusion:** It was hypothesized that the activation of unique region, supramarginal gyrus, with both audio and visual stimuli indicated the presence of commonplace region for phonologic processing of sensory inputs. In addition, auditory stimuli develop more intense activity; and on the other hand, broaden-maximum voxel-as well as extra regions are demonstrated in response to visual stimuli. These points represent the unfamiliarity of normal individual brain to percept visual speech stimuli.

**Keywords:** Functional magnetic resonance imaging, auditory speech processing, visual speech processing, McGurk effect

---

**Corresponding author:** Department of Audiology, Faculty of Rehabilitation, Tehran University of Medical Sciences, Pich-e-Shemiran, Enghelab Ave., Tehran, 1148965141, Iran. Tel: 009821-77534364 ext. 296  
E-mail: rohbakhn@sina.tums.ac.ir

## فعالیت مغزی در هنگام درک محرک‌های گفتاری دیداری و شنیداری با استفاده از تصویربرداری تشدید مغناطیسی عملکردی

یاسمن نجبا<sup>۱</sup> - نعمت‌اله روح‌بخش<sup>۱</sup> - محمدعلی عقابیان<sup>۲</sup> - شهره جلایی<sup>۳</sup> - سینا هوشمند<sup>۴</sup>

۱- گروه شنوایی‌شناسی، دانشکده توانبخشی، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

۲- گروه فیزیک پزشکی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی تهران، ایران

۳- گروه آمارزیستی، دانشکده توانبخشی، دانشگاه علوم پزشکی تهران، ایران

۴- دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

### چکیده

**زمینه و هدف:** فنون تصویربرداری عصبی در پردازش شنیداری و دیداری گفتار از رویکردهای جدید علوم اعصاب در مطالعات ساختاری سازوکارهای عالی درگیر در این فرآیند به‌شمار می‌رود. این مطالعه به‌منظور بررسی فعالیت مغزی در هنگام درک محرک‌های گفتاری دیداری و شنیداری در افراد هنجار فارسی‌زبان توسط تصویربرداری تشدید مغناطیسی عملکردی صورت گرفت.

**روش بررسی:** تصاویر حاصل از تصویربرداری تشدید مغناطیسی عملکردی فعالیت مغزی ۱۹ زن ۳۰-۲۰ ساله با ارائه محرک بینایی /ka/ و محرک شنوایی /pa/ به‌روش طراحی بلوک در قالب دو سری تصاویر T1-weighted و عملکردی، ثبت گردید. سپس نتایج با استفاده از نرم‌افزار FSL تجزیه تحلیل شد و نتایج گروهی با یکدیگر مقایسه گردید.

**یافته‌ها:** در پاسخ به محرک دیداری، بخش‌های میانی و نیز سطوح قشری فعال گردید، اما در پاسخ به محرک شنیداری بیشتر فعالیت‌ها در عمق دیده شد. در این راستا، منطقه مارچینال فوقانی قدامی چپ و قسمت‌هایی از سیستم حرکتی گفتار شامل قشر اینسولار و سینگولیت با محرک دیداری، و منطقه مارچینال فوقانی خلفی چپ و شکنج گیجگاهی فوقانی راست با محرک شنیداری فعال شدند. به‌علاوه در این بررسی در تعداد ۱۵ نفر از افراد اثر McGurk در سطح رفتاری نیز به اثبات رسید.

**نتیجه‌گیری:** فعال شدن منطقه‌ای واحد، شکنج مارچینال فوقانی چپ، در پاسخ به هر دو محرک دیداری و شنیداری، فرضیه وجود منطقه مشترک پردازش واج‌شناختی ورودی حواس را مطرح می‌نماید. شدت فعالیت با محرک شنیداری بیشتر می‌باشد، و همچنین مناطق با محرک دیداری گستردگی و تعدد بیشتری دارند که نشان از ناآشنایی مغز افراد هنجار در درک محرک‌های دیداری گفتاری است.

**واژگان کلیدی:** ام آر آی عملکردی، پردازش شنوایی گفتاری، پردازش بینایی گفتار، اثر مک‌گرک

(دریافت مقاله: ۸۹/۴/۱۴، پذیرش: ۸۹/۸/۲۵)

### مقدمه

هنگام ارتباط چهره به چهره، بیننده این دو گونه اطلاعاتی (دیداری و شنیداری) را ترکیب و یکپارچه می‌نماید و کلام گوینده را درک می‌کند. یکی از عوامل تعیین‌کننده میزان استفاده خودآگاه فرد از ویژگی ترکیب اطلاعات دریافتی از ورودی‌های مختلف،

انسان‌ها در هنگام صحبت کردن دو گونه اطلاعات، دیداری و شنیداری، در اختیار مخاطب قرار می‌دهند. اطلاعات شنیداری همان صوت‌های تولید شده در مجرای گفتار، و اطلاعات دیداری همان حرکات لب گوینده به‌هنگام تولید آواهاست. در

**نویسنده مسئول:** تهران، خیابان انقلاب، بعد از پیچ شمیران، دانشکده توانبخشی، دانشگاه علوم پزشکی تهران، گروه شنوایی‌شناسی، کد پستی: ۱۱۴۸۹۶۵۱۴۱،

تلفن: ۷۷۵۳۴۳۶۴ داخلی ۲۹۶، E-mail: rohbakhn@sina.tums.ac.ir

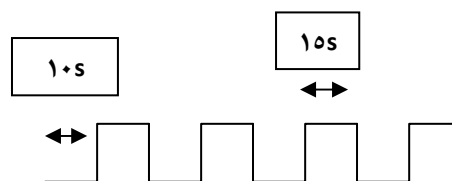
نویز محیطی است. هرچه نویز بیشتر باشد تکیه شنونده بر ورودی‌های به‌ظاهر بی‌اهمیت دیداری علاوه بر ورودی‌های شنیداری بیشتر می‌گردد تا در مجموع درکی آسان‌تر و درست‌تر از محیط داشته باشد. پردازش زبان در سیستم عصبی مرکزی مناطق گوناگون و متعددی را درگیر می‌کند، از جمله: قسمت خلفی فوقانی گیجگاهی (posterior superior temporal) به‌عنوان منطقه درک زبان و مسئول آنالیز و شناسایی محرک‌های حسی زبانی که برابر با منطقه ۲۲ برودمن است؛ پیشانی جانبی یا شیار پیشانی تحتانی چپ که مسئول اجرا و برنامه‌ریزی حرکات گفتاری و نوشتاری است و با منطقه ۴۴ و ۴۵ برودمن که به‌ترتیب بروکا و ورنیکه نامیده می‌شوند برابر است (ورنیکه مسئول پردازش تصاویر آکوستیکی به کلمات و بروکا مسئول تولید و تلفظ گفتار است. و این دو با مناطق چندحسی در ارتباطند. خواندن و نوشتن نیز به عملکرد درست ورنیکه و بروکا وابسته هستند)؛ بخش گیجگاهی خلفی تحتانی (posterior inferotemporal)؛ پل گیجگاهی (temporal pole) و اینسولا. در ضمن نیم‌کره راست نیز در عملکردهای زبرزنجیری و عملی زبان نقش عمده‌ای را بازی می‌کند. اگرچه ورنیکه برای پردازش سیگنال‌های شنوایی مهم است، اما تنها جایگاه اصلی‌ای نیست که در آن درک زبان رخ می‌دهد. درک زبان در چندین منطقه دیگر شامل گیجگاهی آهیانه‌ای و یا لوب پیشانی چپ، و در پیشانی در ورای مناطق بروکا در قشر پیش‌پیشانی داخلی و خارجی رخ می‌دهد. در مطالعات صورت گرفته با استفاده از تصویربرداری با تشدید مغناطیسی عملکردی (functional Magnetic Resonance Imaging: fMRI) مشخص شده است که شکنج گیجگاهی فوقانی (Superior Temporal Gyrus: STG) به‌صورت دوگانه هم با صوت‌های گفتاری و هم با صوت‌های غیرگفتاری فعال می‌گردد. به احتمال زیاد بروز آسیب فقط به STG چپ (ورنیکه) باعث ایجاد نقایص درکی چندحسی زبان نمی‌گردد، بلکه احتمالاً تنها در صورت بروز آسیب گسترده به این ناحیه، که حتی شکنج گیجگاهی میانی (Middle Temporal Gyrus: MTG) را نیز دربرگیرد، منجر به سندرم کم‌شنوایی واژه‌ای (pure word

deafness Syndrom) می‌گردد، که نوعی مشکل در رمزگشایی سیگنال آکوستیکی مرکب و حفظ درک در سطح معناشناسی زبان است (۱-۳). برعکس، اختلال درکی چندحسی که درک عناصر دیداری و شنیداری را متأثر می‌کند، با آسیب‌های بزرگی که ورای STG به شکنج گیجگاهی میانی و آنگولار و شکنج مارچینال فوقانی (Supra Marginal Gyrus: SMG) امتداد می‌یابند، همراه است (۲).

برای کودکان، صورت و حرکات لب از زمان تولد آشناترین نشانه‌های دیداری هستند. کودکان تقلید از حرکات لب را فرامی‌گیرند و تمایل خود را برای تطبیق دادن اطلاعات دیداری و شنیداری دریافتی از محیط در سن ۲۰-۱۰ هفتگی نشان می‌دهند. تکنولوژی‌های جدیدی همچون fMRI ما را در بررسی عملکرد سیستم عصبی در طی پاسخ به محرک‌ها، همانند بررسی‌های ساختاری سیستم عصبی که قبلاً نیز در دسترس بود، توانا نموده است. تاکنون با بررسی‌های ساختاری امکان تشخیص ضایعات وجود داشت، اما امکان بررسی سازوکار طبیعی یا آسیب‌شناسانه شرایط در سیستم عصبی وجود نداشت که این امر امروزه میسر گشته است. از لحاظ نظری بهترین روش برای اندازه‌گیری فعالیت‌های مغزی با استفاده از MRI، می‌تواند استفاده از تغییرات حجم خون در آن ناحیه باشد. در این راستا تاکنون روش‌های مختلفی برای به‌کارگیری مؤثر این روش ارائه شده است و جدیدترین آنها تصویربرداری تشدید مغناطیسی عملکردی وابسته به سطح اکسیژن رسانی به خون (Blood Oxygenation Level Dependent Functional Magnetic Resonance Imaging: BOLD fMRI) است که به چندین پارامتر (که مهم‌ترین آن تغییرات در سطح اکسیژن خون است) حساس است. BOLD fMRI به تغییرات در میزان اکسیژن ناحیه‌ای مرتبط با فعالیت حساس است. برای اندازه‌گیری میزان مصرف اکسیژن، بخشی از پاسخ BOLD که مرتبط با تنها افزایش میزان اکسیژن است (مستقل از میزان جریان خون) برای هر فرد باید به‌طور جداگانه تنظیم (کالیبره) شود.

از آنجایی که زبان متغیر اصلی در این‌گونه پژوهش‌هاست

می‌کرد و محرک دیداری فیلمی بود که در آن نیمه پایینی صورت گوینده زن هجا /ka/ را ادا می‌کرد. همان طور که در نمودار ۱ به صورت شماتیک مشخص است، ۴ بار محرک و ۴ بار استراحت به فرد ارائه می‌شد. هر سری ارائه محرک‌ها ۱۰۰ ثانیه به طول می‌انجامید، و در یک سری محرک دیداری و در سری دیگر محرک شنیداری ارائه می‌گردید.



نمودار ۱- مدل طراحی بلوک برای ارائه محرک

ابتدا فرد برای انجام آزمون آماده می‌شد و سپس موارد لازم و تکالیف مربوط به آن به وی آموزش داده می‌شد. در ادامه، طبق یک الگوریتم خاص محرک‌های دیداری و شنیداری ارائه می‌گردید. در مرحله ارائه محرک بینایی ۱۰ ثانیه اول مرحله استراحت، که براساس ماهیت محرک فعالیت، تصویر ثابتی از فیلم تهیه شده (که در آن صورت فرد گوینده را با لبان بسته نشان می‌دهد) ارائه می‌شد. سپس به مدت ۱۵ ثانیه در مرحله تحریک، فیلمی پخش می‌شد که در آن نیمه پایینی صورت یک گوینده زن هجا /ka/ را ادا می‌کرد، و دوباره مرحله استراحت فرا می‌رسید. به این ترتیب در مرحله دیداری به فرد نمونه ۴ بار فعالیت و ۴ بار استراحت ارائه می‌گردید. در مرحله ارائه محرک شنیداری نیز از همین الگوریتم پیروی می‌شد، با این تفاوت که در این جا در مرحله استراحت نویز سفیدی با شدت ۹۰ دسی بل SPL و در مرحله تحریک سیگنال شنیداری، که در آن فرد گوینده هجای /pa/ را تکرار می‌کند، با شدت ۹۵ دسی بل SPL ارائه می‌شد.

در طی مراحل تصویربرداری دو سری تصاویر T1-weighted و عملکردی از فرد تهیه می‌شد. ابتدا یک تصویر آناتومیکی (T1-weighted) با ۱۵ مقطع محوری از مغز آزمودنی گرفته می‌شد و سپس تصاویر fMRI، که تصاویر T1-weighted هستند، با این مشخصات گرفته می‌شد: TR=800ms، TE=60ms، زاویه فلیپ، 90°، FOV=24cm<sup>2</sup>، ضخامت برش‌ها، 2mm=فاصله برش‌ها، 15=تعداد برش‌ها.

هم‌زمان با شروع تصویربرداری با پروتکل از پیش تنظیم شده برای fMRI، تصویربرداری آغاز می‌گردید. ابتدا یک سری تصویر از نوع T1-weighted از فرد گرفته می‌شد. از این سری تصاویر، که نسبت به تصاویر عملکردی از وضوح (resolution)

و مطالعاتی از این دست که در زبان‌های ژاپنی، چینی و انگلیسی امریکایی صورت گرفته نشان داده است که وقوع اثری همانند اثر McGurk (درک متفاوت فرد بیننده از ترکیب ناهمگون ورودی‌های دیداری و شنیداری، همانند درک هجا /da/ در ترکیب ورودی دیداری /ga/ و شنیداری /ba/) در انگلیسی‌زبانان نسبت به ژاپنی‌ها یا چینی‌ها بیشتر است، بنابراین عامل تفاوت نتایج در این مطالعات، زبان و فرهنگ جمعیت‌های مورد پژوهش است. با توجه به اینکه در زبان‌ها و فرهنگ‌های مختلف تأثیر مدالیته‌های حسی در روند پردازش اطلاعات گفتاری در سطوح زیرقشری و قشری مورد کنکاش و بررسی قرار گرفته و در مواردی منشأ تحولات شگرفی در بعد نظری و عملی کار با مواد گفتاری شده است، انجام این مطالعه در زبان فارسی حائز اهمیت به نظر می‌رسید. این پژوهش با هدف بررسی اثر مدالیته‌های شنیداری و دیداری در امر پردازش زبان در زبان فارسی، براساس هجاهای متداول در بررسی اثر McGurk، انجام شد.

### روش بررسی

این مطالعه به صورت مطالعه مداخله‌ای قبل و بعد اجرا شد. جمعیت مورد مطالعه شامل ۱۹ زن ۲۰ تا ۳۰ ساله داوطلب فارسی‌زبان با میانگین سنی ۲۶/۴ سال بود که به هر یک از آنها ابتدا محرک شنیداری و سپس محرک دیداری ارائه می‌شد. هدف از ارائه هر دو محرک به یک فرد مقایسه پاسخ‌ها در هر فرد و در ادامه در کل افراد بود. الگوی ارائه محرک به صورت طراحی بلوک (ارائه یک در میان محرک استراحت) بود، که در آن محرک شنیداری ارائه شده صدای گوینده زنی بود که هجا /pa/ را تکرار

داده می‌شدند. بعد از آنالیز اطلاعات مربوط به هر فرد، آنالیزهای تمام افراد طی مرحله گروه‌بندی با هم جمع و مناطق مشترک فعال در همه آنها مشخص می‌شد.

این مطالعه در مرحله اول به صورت میانگین‌گیری در هر گروه (single-group average) و در مرحله دوم به صورت بررسی اختلاف جفت گروه‌ها (paired two-group difference) انجام شد. منظور از میانگین‌گیری مشخص کردن نقاط مشترک فعال در تمامی افراد است. یافته‌ها به دو صورت عددی و تصویری برای هر محرک به تفکیک ارائه می‌شد. یافته‌های عددی شامل تعداد خوشه‌های فعال، تعداد وکسل‌های فعال، حداکثر آماره و مختصات عددی مکان فعال بود. منظور از خوشه اجتماع چند وکسل فعال در کنار هم است، به طوری که بتوان آنها را یک دسته یا خوشه به حساب آورد. منظور از وکسل، که در فضای سه بعدی حجم مطرح می‌گردد و معادل پیکسل در تصاویر دوبعدی است، کوچک‌ترین واحد فعال در تصاویر است و معمولاً ابعاد آن میلی‌متری است. منظور از حداکثر آماره، اندازه بزرگ‌ترین  $Z$  است که معمولاً دارای کوچک‌ترین  $p$  در یک خوشه فعال است، یعنی خوشه‌ای که بزرگ‌ترین آماره دارد کمترین احتمال خطا در شناسایی خوشه فعال را داراست. منظور از مختصات عددی مکان فعال شده، آدرس عددی تعریف شده به ازای سه محور  $X, Y, Z$  است که بتوان براساس اطلس آنتومیک استاندارد، مکان فعال شده را مشخص نمود.

یافته‌های مربوط به محرک دیداری به دو صورت تصویری و جدول گزارش شد. برای مقایسه اختلاف گروه‌ها از آزمون  $t$  زوجی استفاده شد که نوعی آنالیز مرسوم در نرم‌افزار FSL است. در این روش نتایج حاصل از آنالیز دیداری و شنیداری اولیه هر فرد به طور جداگانه و به ترتیب به عنوان ورودی به سیستم داده شد. کاربر نوع مقایسه‌ای را که مایل به انجام آن بود تعریف می‌کرد؛ به این ترتیب که در مورد داده‌های اخیر، آنالیزهای شنیداری و دیداری هر فرد با یکدیگر مقایسه و اختلاف آن محاسبه می‌شد. سپس بین اختلاف‌های به دست آمده با محرک دیداری و شنیداری همه افراد، میانگین‌گیری انجام می‌شد.

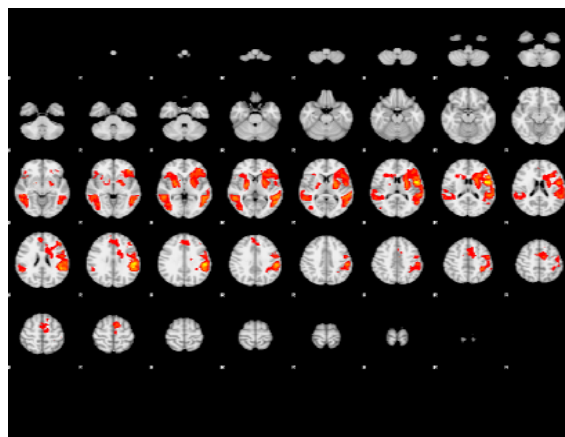
بالایی برخوردار بودند و با همان ابعاد و جهت تصاویر عملکردی تهیه می‌شدند، برای منطبق کردن تصاویر عملکردی به این تصویر استفاده می‌شد. در نتیجه منطبق شدن این دو تصویر بر روی هم، مناطق فعال به طور واضح شناسایی و با انطباق (coordinate) و پیدا کردن مختصات آن در اطلس استاندارد مغز (Talairach) گزارش می‌شدند.

تصاویر شامل ۱۵ برش محوری موازی با رابط قدامی-خلفی (anterior commissure-posterior commissure) بودند که بر طبق اطلس استاندارد مغز (Talairach) از قاعده مغز شروع می‌شود. در طی مراحل استراحت و ارائه محرک، که هر کدام به ترتیب ۱۰ و ۱۵ ثانیه طول می‌کشید، ۸ تصویر گرفته می‌شد. هر برش ۳/۱۲۵ ثانیه طول می‌کشید. پس از گرفتن تصاویر، این اطلاعات به صورت فایل‌های Dicom ذخیره می‌شد و به وسیله نرم‌افزار (Ffunctional Software FSL Library)، تجزیه و تحلیل MRI عملکردی انجام می‌شد. محصول گروه fMRI Brain دانشگاه آکسفورد است و تحت سیستم عامل لینوکس اجرا می‌شود. این نرم‌افزار نوعی نرم‌افزار آماری است و از طریق روش‌های آماری، فعال شدن یا نشدن یک ناحیه را نشان می‌دهد. به طور خلاصه، اطلاعات پس از انتقال ابتدا به هم چسبانده می‌شدند تا تصویری از مغز کامل ساخته شود. سپس این تصویر تحت عملیات پیش‌آماری قرار می‌گرفت که هدف آن کاهش نویزهای ایجاد شده به دلیل حرکات سر و اختلال روند تصویربرداری و افزایش نسبت سیگنال به نویز بود. پس از آن تحلیل آماری توسط نرم‌افزار FSL انجام می‌شد که هدف آن منطبق کردن اطلاعات گرفته شده با مدلی بود که در اختیار نرم‌افزار قرار داشت. این عمل توسط رگرسیون خطی با نام مدل خطی عمومی (general linear model) انجام می‌شد. سپس مرحله پس‌آماری بود که برای مشاهده فعالیت نهایی و نمایان کردن مناطقی از مغز که بیشترین انطباق را با آزمون انجام شده داشتند، انجام می‌پذیرفت. در نهایت، تصویر نهایی نشان‌دهنده تصویری از مغز بود که در آن نواحی فعال شده برحسب معنی‌داری آماری فعالیت خود، با رنگی که به آنها نسبت داده می‌شد، نشان

۴ خوشه فعال شدند که چهارمین یا بزرگ‌ترین خوشه ۱۲۴۴۶ وکسل فعال دارد. وکسل‌ها در خوشه بعدی، خوشه سوم، ناگهان به ۳۰۰۷ وکسل کاهش می‌یابند و در خوشه‌های دوم و اول به ترتیب ۱۳۶۰ و ۹۳۰ وکسل فعال وجود دارد. برای هر خوشه مختصات وکسلی که در آن معنی‌دارترین فعالیت ثبت شده تعریف می‌گردد. از روی مثبت یا منفی بودن مقدار عددی محور X می‌توان فهمید که خوشه چهارم و اول منطقه‌ای در نیمکره چپ و خوشه دوم و چهارم منطقه‌ای در نیمکره راست را فعال کرده‌اند. ستون هشتم تحت عنوان سمت فعالیت، جهت‌گیری فعالیت در خوشه مورد نظر را نشان می‌دهد. نام مناطق فعال نیز، همان طور که در ستون نهم جدول مشخص است، به ترتیب از خوشه چهارم به اول عبارتند از شکنج مارچینال فوقانی (SMG)، قشر پس‌سری جانبی، قشر اینسولار، قشر سینگولیت یا قشر پیش مرکزی. SMG در لوب آهیانه‌ای در سطح پشتی خارجی، قشر پس‌سری جانبی در لوب پس‌سری، قشر اینسولار در نوعی تقسیم‌بندی جزئی از لوب گیجگاهی، قشر سینگولیت که در برش میدساجیتال جزئی از سطح داخلی قشری بوده و در نهایت قشر پیش مرکزی که ساختاری نزدیک به سینگولیت است و نرم‌افزار احتمال فعالیت هر دو را در خوشه اول در نظر گرفته است، قرار گرفته‌اند.

برای محرک شنیداری نیز، همانند تصویر محرک دیداری، میزان معنی‌داری فعالیت در پاسخ به محرک در طیفی از ۲/۳ تا ۶/۵ که با گستره رنگی از قرمز تا زرد روشن در حال تغییر است

۶ ۲/۳



شکل ۱- فعالیت مغزی گروهی افراد در پاسخ به محرک دیداری

تصاویر دارای بار رنگی است که حاکی از حداقل و حداکثر آماره فعالیت در خوشه فعال شده است، و در آن رنگ قرمز نشان‌دهنده فعالیت معنی‌دار کمتر و رنگ زرد نشان‌دهنده فعالیت معنی‌دار بیشتر است.

### یافته‌ها

در این مطالعه با ارائه محرک دیداری مناطق گوناگونی فعال گردید که بزرگ‌ترین آنها به منطقه SMG است (شکل ۱ و جدول ۱). چنانکه در جدول ۱ مشاهده می‌شود، با محرک دیداری

جدول ۱- مشخصات عددی مناطق فعال با محرک دیداری

منطقه فعال	سمت	خطا	حداکثر Z	مختصات مناطق فعال براساس حداکثر Z			تعداد وکسل	خوشه
				X (mm)	Y (mm)	Z (mm)		
شکنج مارچینال فوقانی	چپ	۱۷e-۳/۱۶	۶	-۵۲	-۲۸	۳۰	۱۲۴۴۶	۴
قشر پس‌سری جانبی	راست	۰۶e-۲/۳۸	۵/۳۳	۴۰	-۸۲	۰	۳۰۰۷	۳
قشر اینسولار	راست	۰/۰۰۱۶۳	۴/۶۹	۲۴	-۸	۲	۱۳۶۰	۲
قشر سینگولیت یا قشر پیش مرکزی	چپ	۰/۰۱۳۱	۵/۲۴	-۸	-۶	۵۲	۹۳۰	۱

همان طور که از جدول ۲ پیداست، مناطق فعال در خوشه دوم SMG و در خوشه اول STG هستند. SMG در لوب آهیانه‌ای در سطح خلفی خارجی و STG در لوب گیجگاهی قرار گرفته و معادل با ورنیکه در نیم‌کره چپ است.

شکل ۳ و جدول ۳ مربوط به مقایسه داده‌هایی است که از طریق آنالیز t زوجی به دست آمده‌اند. در سه خوشه فعال نشان داده شده در این جدول، علی‌رغم فعال شدن هر سه منطقه با هر دو محرک، فعالیت با محرک شنیداری بارزتر از محرک دیداری بوده است. این مناطق شامل کونئوس در لوب پس‌سری، STG (قدامی، خلفی) و شیار گیجگاهی میانی بود.

در دو خوشه فعال نشان داده شده در شکل ۴ و جدول ۴، مناطق شیار پیشانی تحتانی، قشر اینسولار و شیار گیجگاهی تحتانی با هر دو محرک دیداری و شنیداری فعال بودند، اما این مناطق در مقام مقایسه با محرک دیداری نسبت به شنیداری فعال‌تر بودند. مناطق فعال شده با محرک دیداری نسبت به شنیداری هم از نظر فراوانی و هم از نظر گستردگی، بیشتر از مناطق فعال با محرک شنیداری نسبت به دیداری است.

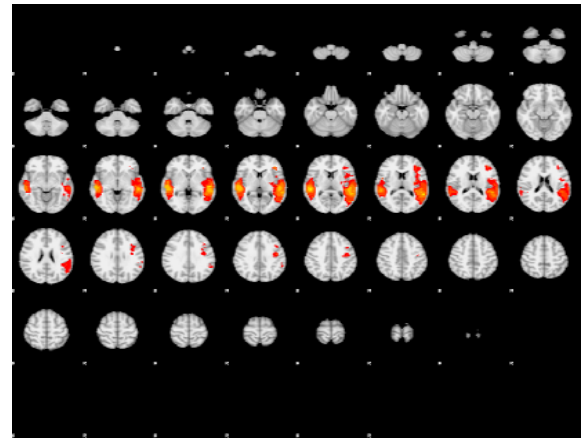
### بحث

برای هر مدالیته تحریکی ابتدا دربارهٔ درباره یافته‌های مطالعات دیگر و سپس به مناطق فعال و چگونگی فعالیت آنها در این مطالعه پرداخته خواهد شد.

### محرک دیداری

فرضیه کمک اطلاعات دیداری به درک گفتار در سال

۶  
۲/۳



شکل ۲- فعالیت مغزی گروهی افراد در پاسخ به محرک شنیداری

مشخص شد (شکل ۲). بیشترین فعالیت در تحریک شنیداری نیز همانند تحریک دیداری مربوط به ناحیه SMG است.

با محرک شنیداری ۲ خوشه فعال شدند که دومین یا بزرگ‌ترین خوشه ۷۱۷۱ وکسل فعال دارد. خوشه بعدی، یا خوشه اول، ۳۱۸۲ وکسل فعال دارد. تعداد وکسل‌های خوشه دوم یا بزرگ‌ترین خوشه تقریباً حدود ۲ برابر بیشتر از دیگر خوشه‌هاست. برای هر خوشه مختصات وکسلی که در آن معنی‌دارترین فعالیت ثبت شده است تعریف می‌گردد که از روی مثبت یا منفی بودن مقدار عددی محور X مشخص شد که خوشه دوم منطقه‌ای در نیم‌کره چپ و خوشه اول منطقه‌ای در نیم‌کره راست را فعال نموده‌اند. در ستون هشتم، تحت عنوان سمت فعالیت، جهت‌گیری فعالیت در خوشه مورد نظر مشخص شده است (جدول ۲).

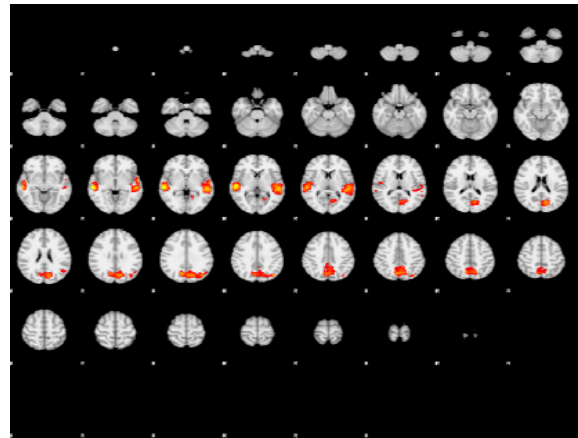
جدول ۲- مشخصات عددی مناطق فعال با محرک دیداری

منطقه فعال	سمت	خطا	حداکثر Z	مختصات مناطق فعال براساس حداکثر Z			تعداد وکسل	خوشه
				Z (mm)	Y (mm)	X (mm)		
شکنج مارجینال فوقانی	چپ	۱۳e-۵/۴۴	۶/۲۵	-۵۶	-۴۶	۱۲	۷۱۷۱	۲
شکنج گیجگاهی فوقانی	راست	۰۷e-۲/۳۸	۶/۵۲	۵۶	-۲۸	۴	۳۱۸۲	۱

Calvert (۲۰۰۰) و همکاران در مطالعه‌ای با fMRI این فعالیت را در منطقه قشر شنیداری اولیه یا برودمن ۴۱ و STG یا برودمن ۲۲ (اغلب همراه با منطقه ۲۱) و مناطق دیداری اطراف شکنج گیجگاهی میانی (MTG) اثبات کردند (۴-۶).

در مطالعه‌ای دیگر که توسط Campbell (۲۰۰۷) و همکاران پس از این مطالعه انجام شد، فعالیت قشر شنیداری اولیه تکرار نشد، اما منطقه MTG و بروکا در هر دوی این مطالعات فعال گردید، هرچند فعالیت منطقه بروکا در بسیاری از پژوهش‌ها از این دست، به دلیل وابستگی به تفاوت‌های موجود در شرایط آزمایش نظیر نوع محرک گفتاری (تک‌جمله‌ای بی‌معنا در مقایسه با کلمات)، نوع مرحله کنترل و سابقه زبانی فرد، فعال نشده است (۷). در مطالعه‌ای دیگر که توسط Sekiyama (۲۰۰۳) انجام شد، منطقه فعال در پاسخ به لب‌خوانی بیشتر به منطقه MTG مربوط می‌گشت که در توموگرافی گسیل‌های پوزیترون (Positron Emission Tomography: PET) دوطرفه و fMRI در نیم‌کره چپ فعال شده بود. این منطقه با پردازش حرکت دیداری مرتبط است. در یک بررسی موردی بیماری با آسیب دوطرفه V5/MT قادر به لب‌خوانی گفته‌های تک‌جمله‌ای نبود، بنابراین معلوم می‌شود که MTG نقش مهمی در لب‌خوانی بازی می‌کند (۸). فعالیت قشر شنیداری در هنگام نگاه کردن به صورت فرد گوینده بدون داشتن هیچ صدایی نشان‌دهنده تأثیر قوی‌تر بینایی بر شنوایی تا برعکس آن (۶). زمانی که حرکات لب گوینده برای بیننده آشکار می‌گردد،

۲/۳ ۴/۴



شکل ۳- فعالیت مناطقی که با محرک شنیداری بیشتر از محرک دیداری فعال گردیده‌اند

۱۹۵۴ مطرح شد، که بر پایه آن اطلاعات ژستی صورت و حرکات لب در هنگام تولید گفتار در محیط‌های شلوغ و پر سر و صدا در کنار اطلاعات شنیداری به درک گفتار کمک می‌کند. لب‌خوانی بدون صدا به همراه زبان اشاره در ناشنویان نوعی نظام ارتباطی به حساب می‌آید. در افراد هنجار استفاده از اطلاعات دیداری در شرایطی است که در آن درک گفتار براساس فقط شنیدار، به دلیل عواملی همچون نویز زمینه، بازآوایی و غیره، سخت‌تر می‌شود (۱). بنابراین بررسی گفتار دیداری در سطح عملکردی و آناتومیک می‌تواند به فهم جنبه‌های پیچیده درک زبان کمک کند. محرک دیداری ساده می‌تواند لوب گیجگاهی را فعال کند.

جدول ۳- مشخصات عددی مناطقی که با محرک شنیداری بیشتر از محرک دیداری فعال گردیده‌اند

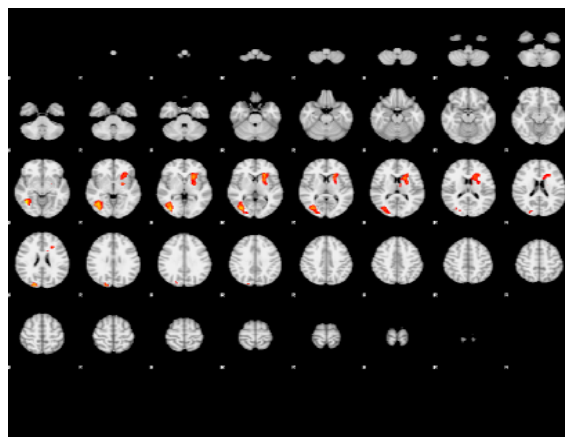
منطقه فعال	سمت	خطا	حداکثر Z	مختصات مناطق فعال براساس حداکثر Z			تعداد وکسل	خوشه
				Z (mm)	Y (mm)	X (mm)		
کونئوس-پری کونئوس	راست	۰۷e-۲/۳۸	۴/۰۷	۱۴	-۶۶	۳۲	۳۵۶۸	۳
شکنج گیجگاهی فوقانی (قدامی، خلفی)	چپ	۰/۰۰۰۲۳۳	۴/۰۶	-۵۴	-۳۰	۶	۱۷۵۵	۲
شکنج گیجگاهی میانی	راست	۰/۰۰۴۶۳	۴/۴۹	۶۰	-۲۶	-۲	۱۱۰۷	۱



با بارگفتاری در مناطق قشری حرکتی درگیر در تولید گفتار بر یکدیگر اثر متقابل دارند. بعضی از این مناطق قسمت‌هایی از سیستم نورون آینه‌ای هستند. این سیستم در پستانداران دارای عملکردی ویژه در دو روند پردازشی اصلی، یعنی درک گفتار و اجرای اعمال حرکتی مربوط به تولید گفتار، هستند (۳).

همان طور که در بخش یافته‌ها نیز گفته شد، به‌طور کلی در کلیه افراد، با ارائه محرک دیداری ۴ منطقه فعال شدند که به‌ترتیب گستردگی فعالیت عبارتند از SMG قدامی، قشر پس‌سری جانبی، قشر اینسولار، و قشر سینگولیت یا قشر پیش مرکزی. SMG با ۱۲۴۴۶ وکسل فعال، گسترده‌ترین منطقه فعال با محرک دیداری به حساب می‌آید. خوشه‌های فعال بعدی به‌ترتیب مربوط به قشر پس‌سری جانبی، قشر اینسولار، قشر سینگولیت یا قشر پیش مرکزی هستند که از نظر تعداد وکسل فعال تقریباً حدود یک چهارم و یا حتی کوچک‌تر از خوشه چهارم (SMG قدامی) هستند. از نظر نیم‌کره فعال، نسبت فعال شدن در هر دو نیم‌کره یکسان است، به‌طوری که دو خوشه فعال در نیم‌کره چپ و دو خوشه فعال در نیم‌کره راست وجود دارند. اما نکته قابل تأمل وجود بیشترین وکسل فعال و گسترده‌ترین نواحی فعال شده در نیم‌کره چپ است که نیم‌کره غالب برای درک گفتار محسوب می‌شود. در ادامه، به‌ترتیب برای هر منطقه فعال توصیفی مختصر از ناحیه داده می‌شود. اگر  $Z$  را شاخصی از شدت فعالیت در نظر بگیریم، بزرگ‌ترین خوشه که SMG قدامی است با  $Z=6$  بیشترین فعالیت را نیز داراست و بعد از آن به‌ترتیب قشر پس‌سری جانبی، سینگولیت یا پیش مرکزی و سپس قشر اینسولار به‌ترتیب

۲/۳ ۴/۴



شکل ۴- فعالیت مناطقی که با محرک دیداری بیشتر از محرک شنیداری فعال گردیده‌اند

فعالیت مناطق حرکتی تولید گفتار نظیر منطقه حرکتی اولیه، پیش‌حرکتی، SMG و STG نیز آغاز می‌گردد. مناطق نام‌برده جزء مناطقی هستند که با فعالیت دست نیز فعال می‌شوند، یعنی جزئی از مناطق حرکتی هستند و، همان طور که قبلاً نیز اشاره شد، به مشاهده ژست‌های تولید گفتار و در نتیجه درک واج‌شناختی گفتار نیز حساسند. از مناطق نام‌برده SMG و STG تنها به ژست‌های گفتاری پاسخ می‌دهند، در صورتی که سایر مناطق به حرکات بی‌معنای گفتاری صورت نیز پاسخ می‌دهند. مناطق نام‌برده شده در حقیقت جزئی از سیستم نورون‌های آینه‌ای (mirror neuron system) هستند و حلقه دوسویه تولید درک را پوشش می‌دهند. نتایج بررسی‌ها نشان داده است که ورودی‌های دیداری و شنیداری

جدول ۴- مشخصات عددی مناطقی که با محرک دیداری بیشتر از محرک شنیداری فعال گردیده‌اند

منطقه فعال	سمت	خطا	حداکثر $Z$	مختصات مناطق فعال براساس حداکثر $Z$			تعداد وکسل	خوشه
				$Z$ (mm)	$Y$ (mm)	$X$ (mm)		
شکنج پیشانی تحتانی-اینسولار	چپ	۰/۰۰۱۰۷	۳/۷۴	۱۸	-۲۲	۲	۱۴۱۲	۲
شکنج گیجگاهی تحتانی	راست	۰/۰۰۲۸۶	۴/۲۷	-۵۸	۴۲	-۸	۱۲۰۵	۱

سینگولیت قدیمی که ساختاری قشری است و در طبقه‌بندی لوب‌ها نمی‌آید به قسمت‌های حرکتی گفتار مربوط است و در آخر یا به احتمال دیگر نقطه‌ای نزدیک به آن قشر پیش مرکزی که جزئی از لوب پیشانی است قرار می‌گیرد.

در رابطه با مناطق فعال شده می‌توان گفت، غیر از یک منطقه، یعنی قشر پس‌سری جانبی، که جزئی از قشر پس‌سری و قشر کلاسیک درک دیداری است، سایر مناطق فعال شده با تولید گفتار مرتبط هستند. شاید نام‌گذاری مدالیته محرک، به نام مدالیته دیداری باعث ایجاد انتظار فعال شدن مناطق دیداری شود، اما نکته قابل توجه بارگفتاری محرک‌های دیداری است ولو در سطح آواشناختی. با توجه به نکته اخیر، فعال شدن مناطق مرتبط با درک یا تولید گفتار بیش از مناطق دیداری صرف، طبیعی به نظر می‌رسد.

پاسخ قشر شنیداری اولیه چپ به محرک‌های دیداری صرفاً به محرک‌های دارای بارگفتاری است و این پاسخ، در صورت وجود، به محرک‌های غیرگفتاری در نیم‌کره چپ نیست (۱۵). مناطق تولید گفتار با فرض وجود سیستم نورون‌های آینه‌ای که این نورون‌ها یا تقلید اطلاعات دریافت شده توسط مناطق دریافت‌کننده ورودی‌های گفتار و بازخورد آن به مناطق تولیدکننده گفتار برای به یادآوردن مراحل تولید واج‌ها (براساس شکل دریافتی و شکل تولیدی قبلی) و در نتیجه حدس زدن واج ادا شده، فعال می‌گردد.

### محرک شنیداری

اگرچه در مطالعات محرک دیداری، ابهام و تناقض‌های زیادی به چشم می‌خورد، اما در مورد محرک شنیداری با بارگفتاری این ابهام‌ها به حداقل می‌رسد. اصولاً مناطق پردازشی شنیداری شامل شکنج گیجگاهی فوقانی و شکنج هسل / قشر شنیداری اولیه است.

همان‌طور که در یافته‌ها گزارش شد، به‌طور کلی در کلیه افراد، با محرک شنیداری به‌طور مشترک ۲ منطقه فعال شدند که به ترتیب گستردگی فعالیت، مارجینال فوقانی خلفی و STG خلفی

بیشترین فعالیت را دارا بوده‌اند.

SMG قدیمی (منطقه ۴۰ برودمن) که جزئی از لوب آهیانه‌ای تحتانی و سیستم نورون‌های آینه‌ای است، در هر دو طرف (در سمت چپ بیشتر)، حافظه کوتاه‌مدت اطلاعات صوتی محسوب می‌گردد و به‌طور کلی برای عملکردهای شنیداری در سطوح بالاتر ضروری است (۹). این منطقه، منطقه‌ای برای ترکیب حواس دیداری و شنیداری در راستای درک گفتار است. عملکرد مشابه درکی در این منطقه به شیار آنگولار، شکنج گیجگاهی میانی، شکنج گیجگاهی تحتانی و شکنج فوزیفورم گسترش می‌یابد. این منطقه قسمتی از سیستم زبانی منطقه پری‌سیلوین (۲) و لوب آهیانه‌ای تحتانی و سیستم نورون‌های آینه‌ای نیز می‌باشد. همان‌طور که در ابتدای این قسمت اشاره شد، فعالیت مناطق حرکتی مغز در هنگام درک گفتار قابل مشاهده (لب‌خوانی) به اثبات رسیده است. به عبارت دیگر، مغز در هنگام درک یا مشاهده گفتار توسط سلول‌های آینه‌ای موجود در مغز، با زمانی که گفتار مربوطه را تولید می‌کند همزاد پنداری می‌نماید. در این مطالعه مشاهده فعالیت شیار مارجینال چپ که جزئی از مناطق حرکتی است در پاسخ به محرک دیداری با همین توجیه با مطالعات پیشین مطابقت دارد (۱۲-۱۰).

قشر پس‌سری جانبی (برودمن ۱۸ و ۱۹) ساختاری است که در تقاطع‌اش با شیار بین آهیانه‌ای MTG یا منطقه درک حرکت دیداری را تشکیل می‌دهد (۱۳). فعالیت قشر پس‌سری جانبی راست با ۳۰۰۷ وکسل فعال که در این مطالعه مشاهده شد نیز با تحقیقات قبلی صورت گرفته در این زمینه کاملاً تطابق دارد (۸).

قشر اینسولار که در عمق سطح خارجی مغز قرار گرفته است لوب گیجگاهی را از آهیانه‌ای از عقب جدا می‌کند. بخش‌هایی از لوب‌های پیشانی، آهیانه‌ای و گیجگاهی در این منطقه روی هم قرار گرفته و اپرکولا را که روی اینسولا است تشکیل می‌دهند (۱۴). در تقسیم‌بندی بعضی از نویسندگان اینسولا جزئی از لوب گیجگاهی است. در نوعی تقسیم‌بندی قشر اینسولا جزئی از قسمت موتور گفتار طبقه‌بندی می‌شود.

دیداری و شنیداری مشابه هستند. این مناطق عموماً شامل STG و مناطق حرکتی گفتار هستند. اما در محرک‌های دیداری مناطق اولیه حرکتی گفتار و حداقل قسمت‌هایی از قشر پیش حرکتی نیز فعال می‌گردند و مرکز ثقل این فعالیت‌ها در مناطق مشابه در محرک‌های دیداری نسبت به محرک‌های شنیداری فوقانی‌تر است. همان طور که قبلاً نیز مشاهده گردید، فعالیت SMG، که جزئی از سیستم حرکتی تولید گفتار است، هم در برابر محرک‌های دیداری و هم در برابر محرک‌های شنیداری، با این تفاوت که با محرک دیداری قسمت قدامی و با محرک شنیداری قسمت خلفی فعال بودند، در هر دو مدالیته فعال و فعالیت اینسولار و قشر پیش مرکزی و اینسولار به‌عنوان مناطق حرکتی گفتار اختصاصاً در پاسخ به محرک دیداری فعال شده‌اند. این تشابه در مناطق فعال به‌طور اعم و تفاوت در مرکز ثقل فعالیت به‌طور اخص را می‌توان این‌طور توجیه نمود. محرک دیداری با بارگفتاری اطلاعاتی از حالت صورتی تولید را دربردارد، به عبارت دیگر به جای کل مسیر تولید آوا، تنها اطلاعاتی از حرکات لب و نواحی اطراف آن در صورت را در برمی‌گیرد. در مقابل محرک شنیداری اطلاعاتی از کل مسیر آوایی که شامل قسمت‌های دیده نشده نیز هست، در اختیار گیرنده قرار می‌دهد. در این مطالعه این تفاوت بین مارجینال فوقانی قدامی و خلفی دیده شد.

مشترک بودن مناطق فعال شده حرکتی با محرک‌های دیداری و شنیداری نشان‌دهنده وجود زیرمجموعه نورونی وابسته به محرک‌ها دیداری-شنیداری است که مستقل از نوع دیداری یا شنیداری بودن محرک است و حتی در حالت تولید گفتار نیز فعال می‌گردد. از سوی دیگر، تفاوت در مراکز ثقل مناطق فعال شده نشان‌دهنده وجود زیرمجموعه‌های نورونی وابسته به محرک است که با ورودی دیداری و شنیداری تغییر می‌کند، اما از نظر شدت فعالیت، علی‌رغم بزرگ‌تر بودن منطقه فعالیت مشترک در هر دو مدالیته منطقه مرسوم درک سیگنال‌های شنیداری یعنی STG، فعال‌تر از سایر مناطق فعال شده با محرک شنیداری و یا حتی دیداری بود. از آنجا که اکثر افراد هنجار برای درک گفتار به سیگنال‌های شنیداری بیشتر از سیگنال‌های دیداری وابسته

هستند. مارجینال فوقانی خلفی با ۷۱۷۱ وکسل و STG با تعداد وکسلی حدود نصف (۳۱۸۲) فعال گشتند. از نظر نیم‌کره فعال بزرگ‌ترین خوشه که همان شکنج گیجگاهی فوقانی خلفی است در نیم‌کره چپ و STG خلفی در نیم‌کره راست فعال شده است. از نظر میزان فعالیت، STG خلفی نسبت به مارجینال فوقانی خلفی، علی‌رغم وسعت بیشتر منطقه مارجینال فوقانی خلفی، فعالیت بیشتری داشته است. این مسئله دور از ذهن نیست که شدت فعالیت در منطقه کلاسیک درک گفتار، که همان ورنیکه است، بیشتر از سایر مناطق باشد. تنها نکته قابل تأمل فعال شدن STG خلفی راست است که همتای ورنیکه در نیم‌کره چپ است. در ادامه توصیفی مختصر از مناطق فعال شده ارائه می‌گردد.

شکنج گیجگاهی فوقانی، ورنیکه برابر با منطقه ۲۲ برودمن، دقیقاً کنار و نزدیک شیار گیجگاهی فوقانی به‌صورت دوطرفه در تحریک‌های شنیداری فعال می‌گردد. اگرچه این منطقه در نیم‌کره چپ تنها ورنیکه نام گرفته است، اما منطقه ۲۲ برودمن در پژوهش‌های اخیر به‌صورت دوطرفه در دریافت الگوی واجی صوت‌های گفتاری یا آوایی فعال است. در مطالعات مختلف در مورد فعال شدن این منطقه در نیم‌کره راست یا چپ اتفاق نظر وجود ندارد. با اینکه اکثر مطالعات نیم‌کره چپ را فعال دانسته‌اند، Martin Meyer در مطالعه‌ای در همین رابطه شیار گیجگاهی فوقانی راست را فعال یافته است. شیار گیجگاهی فوقانی خلفی در نیم‌کره راست را با درک اطلاعات دیداری مربوط به حرکات زنده و تصاویر پویای صورت و بدن و چشم‌ها، مرتبط دانسته‌اند. Wright و همکاران پاسخ‌های محرک دیداری-شنیداری در منطقه شیار گیجگاهی فوقانی راست را بیشتر از محرک دیداری یا شنیداری به‌تنهایی دانسته‌اند. به‌طور کلی فعالیت شیار گیجگاهی فوقانی در نیم‌کره غیرغالب یا نیم‌کره راست نقشی حمایتی یا موازی با همتایش در نیم‌کره غالب دارد (۱۶).

با نگاهی گذرا و اجمالی بر مناطق فعال شده، می‌توان فعال شدن منطقه‌ای مشترک، یعنی شکنج گیجگاهی فوقانی، در هر دو مدالیته را به‌عنوان بزرگ‌ترین منطقه فعال مشاهده کرد. در مطالعات اخیر به‌طور کلی مناطق فعال شده با محرک گفتاری

به ترکیب ناهمگون ورودی‌های دیداری و شنیداری همانند درک هجا /da/ در ترکیب ورودی دیداری /ga/ و شنیداری (/ba/) مشاهده شده است که متوجه استفاده از اطلاعات دیداری نسبت به شنیداری در زبان‌های چینی و ژاپنی نسبت به انگلیسی کمتر است و فرضیه‌های موجود ناظر بر صوتی بودن این زبان‌ها و اجتناب از نگاه خیره به فرد گوینده در این فرهنگ‌هاست (۱۹). البته با توجه به شباهت واجی زبان ژاپنی با زبان‌هایی همچون اسپانیایی یا ایتالیایی، برای مشخص نمودن میزان تأثیر عوامل واجی بر میزان رخداد اثر، افراد اسپانیایی‌زبان را با افراد ژاپنی‌زبان با شرایطی مشابه آزمایش نمودند و در نهایت به این نتیجه رسیدند که اسپانیایی‌ها همانند انگلیسی‌زبان‌ها این اثر را بیشتر از ژاپنی‌ها نشان می‌دهند. بنابراین محتوای واجی زبان به‌تنهایی نمی‌تواند توجیه‌کننده کاهش این اثر در ژاپنی‌ها باشد. در مورد فرهنگ و زبان فارسی نیز فرضیه دوم صادق است. بنابراین، در این مطالعه نیز می‌توان علت گسترده بودن و تعدد مناطق فعال شده با محرک دیداری را ناآشنا بودن افراد با محرک دیداری بدون صدا و اتکاء بیشتر آنان به محرک شنیداری ذکر کرد.

### نتیجه‌گیری

در این مطالعه مشخص شد که منطقه‌ای مشترک، یعنی STG چپ، در پاسخ به هر دو محرک دیداری و شنیداری با بارگفتاری فعال می‌گردد. بنابراین صرف نظر از مدالیته دخیل در دریافت محرک‌های گفتاری، منطقه‌ای مشترک مربوط به دریافت واج‌شناختی محرک‌ها فعال می‌گردد. بر همین اساس می‌توان فرضیه منطقه مشترک دریافت گفتار چندمدالیته‌ای را برای تحقیقات بعدی با محرک لامسه نیز مطرح نمود. همچنین، شدت فعالیت با محرک شنیداری که محرک غالب در درک گفتار در افراد هنجار است بیشتر بوده و گستردگی مناطق (تعداد و کسل بیشتر) و تعدد مناطق با محرک دیداری، نشان‌دهنده ناآشنایی مغز افراد هنجار در درک محرک گفتاری با لبخوانی است. این مسئله را می‌توان با توجه به عادت فرهنگی ایرانیان فارسی‌زبان در خیره نشدن به صورت گوینده و در نتیجه با عدم رشد مغزی

هستند، شدت فعالیت بیشتر با این مدالیته قابل توجیه است؛ و نیز از آنجا که مغز افراد هنجار به درک گفتار براساس محرک دیداری کمتر آموزش دیده است، تعدد مناطق و گستردگی آنها با محرک دیداری نسبت به محرک شنیداری قابل توجیه است. معنی‌داری بیشتر فعالیت با محرک شنیداری احتمالاً به نوروپلاستی غالب افراد با شنوایی هنجار در درک گفتار با محرک شنیده شده برمی‌گردد و تعدد و گستردگی مناطق در پاسخ به محرک دیداری حاکی از ناآشنا بودن افراد هنجار به اطلاعات گفتاری با مدالیته دیداری است. به‌طور کلی مطالعات با محرک‌های واجی باعث فعال شدن مناطق پیشانی و مطالعات با محرک‌های معنایی باعث فعال شدن قسمت‌های خلفی-فوقانی گیجگاهی می‌گردند (۱۸).

نکته قابل بحث دیگری که در یافته‌ها نیز بدان اشاره شد، مناطق فعالی هستند که با محرک شنیداری بیشتر از محرک دیداری فعال شده‌اند. در این رابطه چون مقایسه‌ها به شکل‌های دیگری در مطالعات سایر محققان مطرح شده است، صرفاً یافته‌های مطالعه حاضر بحث می‌گردد. نکته قابل تأمل و به‌ظاهر توجیه‌ناپذیر، فعال شدن بیشتر کونئوس (cuneus) و پری‌کونئوس با محرک شنیداری نسبت به دیداری بود. دیگر مناطق فعال عبارت بودند از MTG و STG که مناطقی از قشر گیجگاهی و درگیر در درک محرک‌های شنیداری هستند. مناطقی که با محرک دیداری بیش از شنیداری فعال می‌شوند نیز، همان طور که از قبل هم قابل پیش‌بینی بود، مناطقی هستند که جزئی از سیستم حرکتی تولید گفتار می‌باشند و بنابر یافته‌های مربوط به محرک دیداری که اکثراً فعال شدن مناطق حرکتی تولید گفتار بود، فعال شدن همین مناطق در مقایسه با محرک شنیداری قابل پیش‌بینی بود. در مورد شدت معنی‌داری فعالیت نیز همان طور که در مورد محرک شنیداری نسبت به محرک دیداری شدت فعالیت بیشتر بود، در مقایسه نیز شدت فعالیت مناطق فعال با محرک شنیداری از دیداری بیشتر بود.

### مسائل فرهنگی زبان‌های مختلف

با بررسی اثر McGurk (درک متفاوت فرد بیننده در پاسخ

کافی برای درک لبخوانی توجیه کرد.

### سپاسگزاری

این مقاله حاصل طرح پژوهشی مصوب معاونت پژوهشی دانشگاه با شماره ۸۸-۰۳-۳۲-۹۱۵۱ است. تمام مراحل این پژوهش شامل تصویربرداری و آنالیز تصاویر افراد مورد مطالعه در مرکز تصویربرداری بیمارستان امام خمینی (ره) دانشگاه علوم

پزشکی تهران و با بودجه این دانشگاه انجام شد و در طی آن از همکاری صمیمانه تیم تصویربرداری عصبی (neuroimaging) و نیز همکاران گرامی مرکز تحقیقات در تصویربرداری بیمارستان امام خمینی به‌ویژه خانم‌ها برومند، درکی و ابوترابی و آقایان بتولی، گنجگاهی و رفیعی برخوردار بودیم که از ایشان سپاسگزاری و قدردانی می‌گردد.

### REFERENCES

1. Sumby WH, Pollack I. Visual contribution to speech intelligibility in noise. *J Acoust Soc Am.* 1954;26(2):212-5.
2. Binder JR, Frost JA, Hammeke TA. Human brain language areas identified by functional magnetic resonance imaging. *J Neurosci.* 1997;17(1):353-62.
3. Skipper JI, Goldin-Meadow S, Nusbaum HC, Small SL. Speech-associated gestures, Broca's area, and the human mirror system. *Brain Lang.* 2007;101(3):260-77.
4. Kayser C, Petkov CI, Augath M, Logothetis NK. Functional imaging reveals visual modulation of specific fields in auditory cortex. *J Neurosci.* 2007;27(8):1824-35.
5. Calvert GA, Campbell R, Brammer MJ. Evidence from functional magnetic resonance imaging of crossmodal binding in the human heteromodal cortex. *Curr Biol.* 2000;10(11):649-57.
6. Jones JA, Callan DE. Brain activity during audiovisual speech perception: an fMRI study of the McGurk effect. *Neuroreport.* 2003;14(8):1129-33.
7. Campbell R. The processing of audio-visual speech: empirical and neural bases. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 2008;363(1493):1001-10.
8. Sekiyama K, Kanno I, Miura S, Sugita Y. Auditory-visual speech perception examined by fMRI and PET. *Neurosci Res.* 2003;47(3):277-87.
9. Saito DN, Yoshimura K, Kochiyama T, Okada K, Honda M, Sadato N. Cross-modal binding and activated attentional networks during audio-visual speech integration: a functional MRI study. *Cereb Cortex.* 2005;15(11):1750-60.
10. Calvert GA. Crossmodal processing in the human brain: insights from functional neuroimaging studies. *Cereb Cortex.* 2001;11(12):1110-23.
11. Ackermann H, Riecker A. The contribution of the insula to motor aspects of speech production: a review and a hypothesis. *Brain Lang.* 2004;89(2):320-8.
12. Martuzzi R, Murray MM, Michel CM, Thiran JP, Maeder PP, Clarke S, et al. Multisensory interactions within human primary cortices revealed by BOLD dynamics. *Cereb Cortex.* 2007;17(7):1672-9.
13. Rockland KS, Pandya DN. Cortical connections of the occipital lobe in the rhesus monkey: interconnections between areas 17, 18, 19 and the superior temporal sulcus. *Brain Res.* 1981; 212(2): 249-70.
14. Binder DK, Schaller K, Clusmann H. The seminal contributions of Johann-Christian Reil to anatomy, physiology, and psychiatry. *Neurosurgery.* 2007;61(5):1091-6.
15. Calvert GA, Bullmore ET, Brammer MJ, Campbell R, Williams SC, McGuire PK, et al.

- Activation of auditory cortex during silent lipreading. *Science*. 1997;276(5312):593-6.
16. Olson IR, Gatenby JC, Gore JC. A comparison of bound and unbound audiovisual information processing in the human cerebral cortex. *Brain Res Cogn Brain Res*. 2002;14(1):129-38.
17. Zatorre RJ, Meyer E, Gjedde A, Evans AC. PET studies of phonetic processing of speech: review, replication, and reanalysis. *Cereb Cortex*. 1996;6(1):21-30.
18. Sekiyama K. Cultural and linguistic factors in audiovisual speech processing: the McGurk effect in Chinese subjects. *Percept Psychophys*. 1997;59(1):73-80.