مجله نخبگان علوم و مهندسی
Journal of Science and Engineering Elites
جلد ۶- شماره ۲- سال ۱۴۰۰
www.ElitesJournal.ir

مروری بر مکانیسم عملکرد fMRI و کاربرد آن در تحقیقات زبان‌شناختی

نرگس بیات[۱]، زهرا قریشی[۲*]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گفتاردرمانی، دپارتمان گفتاردرمانی، دانشگاه علوم توانبخشی و سلامت اجتماعی، تهران، ایران
۲- استادیار گفتاردرمانی، دپارتمان گفتاردرمانی، دانشگاه علوم توانبخشی و سلامت اجتماعی، تهران، ایران

*zahraqoreishi@yahoo.com

ارسال: اردیبهشت ۱۴۰۰ پذیرش: خرداد ۱۴۰۰

چکیده

تکنیک fMRI، که تصاویری از مغز را بر طبق تغییرات همودینامیک در طی فعالیت نورونی ثبت می‌کند، تکنیکی بسیار کارآمد برای تعیین ارتباط بین فعالیت و مناطق مغزی است. در طی ۲۰ سال گذشته مطالعات فراوانی با کمک این تکنیک تصویربرداری مغزی، خصوصاً در زمینه پردازش زبان در مغز، به دلیل ماهیت پیچیده‌ی زبان، انجام شده است. بدست آوردن نتایج دقیق از مطالعات fMRI در زمینه‌ی نگاشت زبان در مغز، مستلزم استفاده از تکالیف زبانی دقیق است که بتواند ارتباط بین فعالیت زبانی و منطقه مغزی را به‌طور دقیق مشخص کند. بنابراین آشنایی با مبانی فیزیکی fMRI و تکالیف رایج در زمینه‌ی نگاشت زبان در مغز، می‌تواند محققین را در انجام هرچه بهتر مطالعات یاری نماید. در این مقاله، مروری بر مکانیسم عملکرد fMRI و کاربرد آن در تحقیقات زبان‌شناختی خواهیم داشت و در انتها تکالیف پرکاربرد در تحقیقات زبان شناختی با استفاده از تکنیک‌های تصویربرداری مغز معرفی خواهیم کرد.

کلمات کلیدی: fMRI، زبان، تکالیف زبان شناختی، نقشه برداری مغز، تکنیک‌های تصویربرداری مغز.

۱- مقدمه

تکنیک تصویر برداری MRI روشی بسیار متداول برای تشخیص بیماری‌های اجزای مختلف بدن، خصوصاً مغز و اعصاب می‌باشد. با به‌کارگیری MRI، می‌توان جزییات آناتومیک بدن را تعیین کرد، ولی نمی‌توان اطلاعات فیزیولوژیک یا عملکردی را ثبت کرد. امروزه از تکنیک تصویر برداری عملکردی با استفاده از خاصیت رزونانس مغناطیسی(fMRI) برای نگاشت مغز استفاده می‌شود. fMRI برای اولین بار ۶ سال پس از رایج شدن استفاده از MRI در سال ۱۹۹۰ به طور موفقیت آمیز توسط جان بلیوو اجرا شد و در طی ۲۰ سال گذشته به‌طور چشمگیری توسعه یافت. در این تکنیک، فعالیت‌های نورونی تغییراتی را در سیگنال‌های MRI ایجاد می‌کنند که قابل ثبت است. طبق تصاویر fMRI، می‌توان تعیین کرد که کدام نواحی از مغز در زمان رویارویی با محرک‌های مختلف یا انجام فعالیت‌ها فعال بوده‌اند [۱]. مطالعات زبان‌شناختی از رایج‌ترین مطالعاتی هستند که با کمک تکنیک تصویربرداری مغزی fMRI انجام می‌شوند. به دلیل ماهیت پیچیده زبان و پردازش آن در مغز، مطالعات fMRI صورت گرفته با کمک تکالیف دقیق زبانی می‌توانند اطلاعات گسترده‌ای را از سیستم زبانی در افراد سالم و بیماران دچار آسیب

www.SID.ir

Archive of SID

مغزی در اختیار محققین قرار دهند. تکنیک fMRI به دلیل غیرتهاجمی بودن و داشتن دقت تشخیصی مکانی بالا، امروزه توسط پژوهشگران زیادی مورد استفاده قرار می‌گیرد و اطلاعات گسترده‌ای از عملکرد سیستم عصبی را در اختیار محققین قرار می‌دهد [۲].

تکنیک تصویربرداری fMRI در حیطه‌های مختلفی قابل استفاده است که یکی از حیطه‌های حائز اهمیت آن، مطالعات زبان شناختی است. زبان به دلیل این‌که ویژگی خاص انسان است و پردازش‌های پیچیده مغزی را در بر می‌گیرد، اهمیت فراوانی در مطالعات دارد. آسیب زبان در اختلالات مختلف، می‌تواند آسیب‌های گسترده‌ای را در زمینه‌های ارتباطی ایجاد کند، همانند نقایص زبانی و ارتباطی در افراد دارای آفازی متعاقب سکته مغزی. بنابراین زبان به عنوان عنصری ویژه و موثر در زندگی انسان، از سال‌های دور مورد مطالعه قرار گرفته است و تلاش شده تا ارتباطی بین زبان و مغز یافته شود. این گونه از مطالعات، مورد علاقه گروه‌های مختلفی از متخصصین همانند گفتاردرمانگران، متخصصین مغز و اعصاب، روانشناسان، زبان شناسان و... می‌باشد که بیانگر اهمیت زبان است. برای شناخت بیشتر این عنصر پیچیده و بررسی ساختارهای عصبی وابسته به آن، fMRI ابزاری مناسب به نظر می‌رسد. ولی افرادی که با مبانی زبان شناختی آشنا هستند، از اصول و پایه fMRI آگاهی کافی ندارند و از سوی دیگر، متخصصین fMRI نیز با مفاهیم زبان شناختی آشنا نیستند [۳]. آشنایی با مبانی فیزیکی fMRI، اخذ داده و تحلیل آن و تکالیف زبانی رایج پیش از طراحی پژوهش ضروری به نظر می‌رسد. از آن‌جا که fMRI در مطالعات زبانی کاربرد فراوانی دارد، در این مطالعه برآنیم که مفاهیم fMRI را به زبان ساده برای افرادی که در زمینه زبان شناختی و آسیب شناسی فعالیت می‌کنند، ارائه دهیم و مروری بر تکالیف رایج در این زمینه داشته باشیم تا محققین با آگاهی از اصول، مکانیسم و محدودیت‌های fMRI بتوانند به طراحی پژوهش مناسب اقدام کنند. هدف از پژوهش حاضر، مروری بر مکانیسم عملکرد fMRI و کاربرد آن در تحقیقات زبان شناختی و معرفی آزمون‌های رایج در این حوزه می‌باشد.

۲- پیشینه پژوهش

به دلیل اهمیت فراوان تکنیک تصویر برداری fMRI و کاربردهای آن، این تکنیک در مقالات مختلفی مورد بررسی قرار گرفته و کاربردهای آن معرفی شده است. برای مثال لی و شیمولی (۲۰۱۳) و کندو و همکاران (۲۰۱۷) در مقالات خود به مرور مکانسیم fMRI و نحوه عملکرد آن پرداخته اند [۴, ۵]. در مقاله هان و لی (۲۰۱۸) نیز مروری بر روی مبانی فیزیکی و عملکردی fMRI صورت گرفته است و از مطالعات زبانی و شناختی به عنوان مهم‌ترین کاربردهای آن یاد شده است [۶]. در پژوهش حاضر نیز مطالعات زبان‌شناختی به عنوان یکی از مطالعات مهم صورت گرفته با کمک fMRI مورد بررسی قرار می‌گیرد و تکالیف رایج آن معرفی می‌گردد.

تکالیف زبان‌شناختی مورد استفاده در تکالیف fMRI در تحقیقات بسیاری بررسی شده است. به دلیل اهمیت فراوان تکالیف مورد استفاده در مطالعات fMRI در رسیدن به نتیجه نهایی، تکالیف باید به دقت انتخاب و طراحی شوند [۷]. براساس مطالعات هلند و همکاران (۲۰۰۱)، زوبیکارای و همکاران (۲۰۰۲)، برانن و همکاران (۲۰۰۱) و مورپارکس و همکاران (۲۰۱۰) برخی از تکالیف زبانی همانند تکلیف تولید کلمه، تکلیف تولید فعل، تکلیف قضاوت معنایی، تکلیف قضاوت نحوی و تکلیف جفت کردن کلمه و تصویر در مطالعات زبان‌شناختی کاربرد فراوانی دارند که در مطالعه حاضر به آن‌ها پرداخته شده است [۸-۱۱]. همان‌طور که مشاهده شد، fMRI و مکانیسم‌های زیربنایی آن در مقالات مختلف مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است.

www.SID.ir

Archive of SID

۳- بحث

۳-۱- مکانیسم و مبانی فیزیکی fMRI

قدم اول برای انجام مطالعات در زمینه fMRI، آشنایی با مکانیسم و مبانی فیزیکی fMRI است. فیزیک fMRI شامل تعامل بین فیلد الکترومغناطیس و بافت بیولوژیکی است. در ابتدا به بررسی فیلد الکترومغناطیس می‌پردازیم. میدان مغناطیسی موجود در دستگاه fMRI، میدان مغناطیسی اولیه است که قدرت آن براساس مقیاسی با واحد تسلا سنجیده می‌شود. قدرت میدان مغناطیسی می‌تواند میدان استاندارد[1] (۳ تسلا) یا میدان کم[2] (۱/۵ تسلا) یا میدان فوق العاده بالا[3] (بیش از ۴/۷ تسلا) باشد. شدت سیگنال MRI به میزان قدرت میدان مغناطیسی اولیه بستگی دارد. میدان مغناطیسی بیش از حد قوی، برای انسان آسیب زاست، از این رو معمولاً از میدان مغناطیسی ۱/۵ تسلا برای مطالعات انسانی استفاده می‌شود [۱۲]. این میدان مغناطیسی اولیه، با کمک ابررسانا ایجاد می‌شود که در ابررسانا، مقاومت در سیم پیچ در حد صفر پایین می‌آید تا بتواند این جریان بزرگ را در سیم هدایت کند. در این حالت ابررسانا باید در دمای بسیار پایین قرار بگیرد (۴ درجه کلوین، ۲۷۰- درجه سلسیوس). این دمای بسیار پایین فقط توسط هلیوم قابل ایجاد شدن است؛ از این رو دستگاه نیاز به شارژ هلیوم ماهانه دارد تا هلیوم از دست رفته تامین شود. میدان مغناطیسی اولیه از ابتدای تولید دستگاه fMRI تا انتهای فعالیت آن، باید همواره روشن باشد. اگر سیستم خاموش شود، برای روشن کردن مجدد آن، نیاز به شارژ کل هلیوم دارد. به دلیل قیمت بسیار بالای هلیوم و کمبود آن در جهان، دستگاه فقط در زمانی خاموش می‌شود که خطری وجود داشته باشد؛ مانند خطر آتش سوزی یا در خطر بودن جان یک انسان [۱۳]. حال اگر بدن در این میدان مغناطیسی قرار گیرد، چه اتفاقی می‌افتد؟ در ادامه نحوه ایجاد سیگنال در MRI بررسی می‌شود.

اگر بدن تحت میدان مغناطیسی اولیه در دستگاه MRI قرار گیرد، بردارهای برآیند کوچکی در راستای این میدان ایجاد می‌شوند. در صورت ثابت بودن بردار برآیند ایجاد شده در راستای z، طبق قانون فارادی، هیچ ولتاژی در سیم پیچ القا نمی‌شود [۱۲] طبق قانون فارادی، شار مغناطیسی متغیر در زمان می‌تواند ولتاژ را در سیم پیچ القا کند [۱۴]. این بردار با میدان مغناطیسی ثانویه، که بسیار کوچک‌تر از میدان مغناطیسی اولیه است، در واحد زمان متغیر می‌گردد. در این صورت از محور z خارج شده و وارد صفحه x,y می‌شود. نهایتاً شاهد ایجاد ولتاژ در سیم پیچ خواهیم بود که همان سیگنال MRI است. پس از خاموش شدن میدان مغناطیسی ثانویه، بردارها به سرعت پراکنده می‌شوند و طبق قانون دوم ترمودینامیک، به سطح بی‌نظمی بیشتر می‌روند [۱۲]. براساس قانون دوم ترمودینامیک، تمام ذرات بین سطح انرژی بالا و پایین، سطح انرژی پایین را انتخاب می‌کنند [۱۵]. پراکنده شدن بردارها باعث محو شدن سیگنال MRI می‌شود. محو شدن این سیگنال در بافت‌های مختلف بدن (بافت ماده سفید و ماده خاکستری و مایع مغزی-نخاعی) سرعت‌های متفاوتی دارد. وجود سرعت‌های متفاوت در محو شدن سیگنال، مبدا ایجاد تضاد در MRI است. برای مثال بافتی که سیگنال بالاتری دارد، یعنی دیرتر محو شده است و در MRI روشن‌تر مشاهده می‌شود. اگرچه تلاش می‌شود در دستگاه fMRI میدان مغناطیسی همگنی ایجاد شود، ولی در عالم واقع نمی‌توان همگنی را به طور کامل ایجاد کرد و ناهمگنی‌های فیزیکی همواره وجود دارند. این ناهمگنی‌های محیطی باعث کاهش سریع‌تر سیگنال یا محو شدن سریع‌تر آن می‌گردند [۱۲]. همان‌طور که بیان شد، مبانی فیزیکی خاصی در فرآیند ایجاد سیگنال وجود دارد که ارتباط تنگاتنگی با آن‌چه که در مغز رخ می‌دهد، دارد [۱۶]. در ادامه به بررسی اتفاقاتی که در بافت بیولوژیکی مغز رخ می‌دهد می‌پردازیم.

در مغز افراد سالم، با افزایش متابولیسم در یک ناحیه از مغز، جریان خون به آن منطقه نیز افزایش می‌یابد؛ تا مواد مغذی مورد نیاز برای نورون‌ها را تامین کند، و مواد زائد را دور سازد. نورون‌های مغز هنگام فعالیت یا هنگام رویارویی با یک محرک، فعال می‌شوند و میزان متابولیسم آن‌ها افزایش می‌یابد. سلول های مغزی در این حالت نیاز به اکسیژن دارند و میزان اکسیژن در آن

[1] standard field

[2] Low field

[3] ultra-high field

www.SID.ir

Archive of SID

ناحیه با کمک افزایش جریان خون، افزایش می یابد. تغییرات وابسته به میزان اکسیژن خون در سیگنال MRI، که به دلیل فعال شدن نورون‌ها ایجاد می‌شود، توسط fMRI ثبت می گردد که به آن پاسخ بولد[1] گویند. در fMRI از پاسخ بولد به عنوان جایگزینی برای تعیین سطح فعالیت‌های عصبی استفاده می‌شود؛ بنابراین ارتباط بین فعالیت عصبی و سیگنال ثبت شده، ارتباطی غیر مستقیم است [۱, ۱۶]. افزایش جریان خون در زمانی که متابولیسم گروهی از سلول‌های مغزی افزایش می‌یابد، به معنای افزایش هموگلوبین در آن منطقه است و هموگلوبین نیز دارای اتم آهن است. آهن موجود در هموگلوبین باید ناهمگنی در میدان مغناطیسی دستگاه ایجاد کند، ولی اکسیژن‌هایی که در خون در آن منطقه مغزی وجود دارند، هموگلوبین را می پوشانند. در نتیجه اثر اتم آهن کم شده و ناهمگنی کاهش پیدا می‌کند. با کاهش ناهمگنی، سیگنال MRI افزایش می‌یابد [۱۷, ۱۸].

باتوجه به کند بودن عملکرد سیستم عروقی، با فعالیت عضوی از بدن، جریان خون در منطقه مربوطه در مغز با اندکی تاخیر افزایش می‌یابد و پس از گذشت چند ثانیه، میزان اکسیژن در منطقه مورد نظر به حداکثر میزان خود می‌رسد. همچنین تا زمانی که حرکت ادامه داشته باشد، میزان اکسیژن نیز بالا می‌ماند. پس از اتمام حرکت، میزان اکسیژن با تاخیر کاهش می‌یابد. به این فرآیند پاسخ همودینامیک گویند [۱۹]. همان‌طور که بیان شد، اکسیژن خون نقش بسیار مهمی در ثبت سیگنال fMRI دارد و مصرف اکسیژن هر منطقه و افزایش جریان خون پایه‌های پاسخ بولد را تشکیل می‌دهند. بنابراین با کمک تکنیک fMRI، می‌توان اعمال مختلف قشر مغز از جمله گفتار، حافظه، بینایی و شنوایی، حرکت و... را ثبت و تحلیل کرد و به قسمت‌های مختلف مغز نسبت داد [۲].

۳-۲- اخذ داده‌ی fMRI و تحلیل آن

پس از مرور مکانیسم و مبانی فیزیکی fMRI، به بررسی مراحل اخذ داده و تحلیل آن می‌پردازیم. به‌طورکلی برای به‌دست آوردن داده fMRI باید ۴ مرحله طراحی آزمایش، اخذ داده، پیش پردازش و آنالیز داده را طی کرد. نحوه طراحی آزمایش، یکی از تعیین کننده‌ترین عوامل در موفقیت fMRI است. دو نوع الگوی بلوکی[2] و وابسته به رویداد[3] در تکالیف fMRI وجود دارد. در الگوی بلوکی، محرک به صورت تناوبی ارائه می شود، مانند ...ABABAB که منظور از A، سطح استراحت و منظور از B، سطح ارائه محرک است. همچنین AB نشان دهنده یک چرخه است. در الگوی وابسته به رویداد، فعالیت نورونی یک رویداد خاص ثبت می‌شود؛ مانند دیدن یک تصویر ناآشنا یا به خاطرسپاری چند کلمه. در مرحله اخذ داده نیز آزمودنی در اسکنر MRI قرار می‌گیرد و فعالیت نورون‌ها در حین انجام تکالیف طراحی شده مورد سنجش قرار می‌گیرد [۲۰].

پس از ثبت نتایج fMRI، این داده‌ها مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرند. به‌طورکلی هدف از آنالیز داده fMRI، بررسی ارتباط بین فعالیت مغز و تکلیفی است که آزمودنی در دستگاه انجام می‌دهد. قبل از آنالیز داده‌ها، تصاویر خام باید پیش پردازش شوند. هدف از مرحله‌ی پیش پردازش، افزایش نسبت سیگنال به نویز[4] است که عموماً مراحل اصلاح زمانی[5]، اصلاح حرکتی[6]، نرمال سازی[7]، فیلتر کردن زمانی[8] و تعدیل مکانی[9] را دربر می‌گیرد که در ادامه به توضیح مختصری از هر مرحله می‌پردازیم. اسکنر MR برش‌های مختلفی از یک حجم مغزی[10] را در زمان‌های متفاوت ثبت می‌کند. بنابراین این برش‌ها فعالیت مغزی را در زمان‌های متفاوت نشان می‌دهند. اصلاح زمانی برای قرار دادن همه برش‌ها در یک مرجع زمانی به‌کار می‌رود. از سوی دیگر،

[1] BOLD (blood oxygen level dependent)
[2] blocked
[3] event-related
[4] SNR (signal-to-noise ratio)
[5] timing correction
[6] motion correction
[7] normalization
[8] temporal filtering
[9] spatial smoothing
[10] brain volume

www.SID.ir

Archive of SID

سیگنال fMRI به‌قدری ضعیف است که حتی یک چرخش یا حرکت سر کوچک هم می‌تواند بر آن اثر گذار باشد. اصلاح مکانی به منظور تعدیل سازی دوره‌های زمانی برای همه واکسل‌ها (پیکسل‌های دارای حجم) استفاده می‌شود. برای این‌که بتوان مقایسه‌ای بین نتایج fMRI افراد مختلف انجام داد، نیاز به نرمال سازی داریم تا نتایج در یک قالب استاندارد تراز شوند. اطلس مغزی موسسه نورولوژیکی مونترال[1] (MNI) از رایج‌ترین اطلس‌های موجود برای نرمال سازی می‌باشد. فیلتر کردن زمانی، فرکانس‌هایی را که به آن‌ها نیازی نداریم، از سیگنال خام خارج می‌کند. درحالی‌که تعدیل سازی مکانی، میانگین شدت واکسل-های مجاور را محاسبه می‌کند و یک نقشه فضایی از تغییر شدت در منطقه مورد نظر از مغز ایجاد می‌کند. تمامی پیش پردازش‌های داده‌های خام، می‌توانند با کمک نرم افزار نگاشت پارامتری آماری[2] (SPM) انجام شوند و مجموعه‌ای از داده‌های مکانی و زمانی را برای هر آزمودنی ایجاد کنند [۲۱]. در مرحله آنالیز داده، برقراری ارتباط بین مغز و عملکرد صورت می‌گیرد. تاکنون هیچ روش استانداردی برای آنالیز داده یا معیاری برای ارزیابی نتایج معرفی نشده است. به طور معمول از آنالیزهای آماری کلاسیک مانند آنالیز همبستگی، تست T و آمار غیر پارامتری برای آنالیز داده fMRI استفاده می‌شود که روش فرضیه محور نامیده می‌شود. اخیراً روش‌هایی برای شناسایی الگو مانند آنالیز مولفه اصلی[3] (PCA) و آنالیز مولفه مستقل[4] (ICA) نیز مطرح شده‌اند که جزو روش‌های داده محور هستند. پردازش داده و آنالیز آن نقش بسیار مهمی در تحقیقات مبتنی بر fMRI دارد، چراکه داده‌های بدست آمده از fMRI را قابل تفسیر و تحلیل می‌کنند [۲۲-۲۴].

۳-۳- کاربرد fMRI در تحقیقات زبان شناختی و بررسی تکالیف زبانی رایج

پس از آشنایی با اصول fMRI و اخذ و تحلیل داده‌های آن، به بررسی کاربرد fMRI در تحقیقات زبان شناختی می‌پردازیم. توانایی انسان در صحبت کردن و درک گفتار نیازمند منابع گسترده‌ای در مغز می‌باشد. این منابع باید اطلاعات مربوط به هزاران کلمه و ساختارهای نحوی و ارتباطات میان آن‌ها را مدیریت کنند. مناطق زبانی مغز، ساختارهای بسیار پیچیده‌ای هستند که در درک و بیان نقش اساسی دارند. در قرن نوزدهم میلادی، گروهی از مورد پژوهی‌ها عملکرد زبانی را با مناطق خاصی از نیمکره‌ی چپ ارتباط دادند. این مناطق بعدها به بروکا و ورنیکه معروف شدند. منطقه بروکا که در قسمت تحتانی لوب فرونتال مغز قرار دارد، در تولید گفتار نقش مهمی دارد. منطقه دیگری که وظیفه درک زبان را برعهده دارد، ناحیه ورنیکه است که از طریق الیاف قوسی به ناحیه بروکا متصل شده است. منطقه ورنیکه در قسمت فوقانی لوب تمپورال قرار گرفته است. مدل‌های اولیه زبان بر اساس نقایص زبانی، منطقه آسیب دیده و وسعت آن و خصوصیات بیمار تعیین می‌شدند [۲۵]. امروزه با کمک fMRI می‌توان اطلاعات گسترده‌ای را در زمینه نحوه سازماندهی زبان در مغز بدست آورد [۳].

در طی ۲۰ سال گذشته، به صورت گسترده از fMRI در تحقیقات زبان‌شناختی استفاده شده است که می توان آن‌ها را در دو گروه خلاصه کرد [۳, ۲۶]. گروه اول تحقیقاتی هستند که بر روی ارتباط عملکرد زبانی و مغز تمرکز می‌کنند و هدف آن‌ها منطقه‌بندی مناطق مغزی مرتبط با عملکردهای مختلف زبانی، یا همان نگاشت مغزی در ارتباط با زبان می‌باشد [۲۷-۳۰]. گروه دوم شامل تحقیقاتی هستند که مکانیسم‌های نوروفیزیولوژیکال را در بیماری‌های مغزی بررسی می‌کنند. این کاربرد fMRI در بالین، درک محققین را نسبت به فیزیوپاتولوژی آسیب‌های مغزی مانند صرع، سکته مغزی، آلزایمر، پارکینسون، شیزوفرنی و... افزایش می‌دهد. از این رو fMRI می‌تواند به عنوان ابزاری مکمل و پیش‌بینی کننده برای تشخیص، تعیین پیش آگهی و بررسی اثر بخشی درمان به‌کار رود [۳۱, ۳۲].

[1] Montreal Neurological Institute

[2] Statistical Parametric Mapping

[3] principal component analysis

[4] independent component analysis

www.SID.ir

Archive of SID

همان‌طور که بیان شد، fMRI در مطالعات زبانی کاربرد گسترده‌ای دارد. برای این‌که بتوان نتیجه دقیقی از مطالعه بدست آورد، باید از تکالیف متناسب استفاده شود. در ادامه تکالیف رایج زبانی و ویژگی‌های آنان بررسی می‌گردد. تصویر برداری fMRI، می‌تواند برپایه تکلیف (که آزمودنی در داخل دستگاه تکلیفی را انجام دهد) یا بدون تکلیف (که نیازی به انجام فعالیتی در دستگاه ندارد) باشد. تکالیفی که در fMRI ارائه می‌شوند، ویژگی‌های خاصی دارند؛ برای مثال نباید قابل پیش بینی باشند. همچنین باید زمان مورد نیاز برای انجام تکالیف به فرد داده شود (نه کمتر و نه بیشتر). تکلیف باید به گونه‌ای طراحی شود که دقیقاً فعالیت مورد نظر پژوهشگر را ارزیابی کند. برخی از تکالیف نیازمند هدفون، میکروفون و صفحه نمایش هستند که دستگاه fMRI مورد استفاده باید این امکانات را داشته باشد [۷]. باتوجه به دو جنبه اصلی زبان یعنی درک و بیان، تکالیف مختلفی وجود دارد که بعضی از آن‌ها قابل استفاده در تکنیک‌های تصویربرداری مغز هستند. تکالیف زبانی رایج در مطالعات fMRI عبارتند از: تکلیف تولید کلمه، تکلیف تولید فعل، تکلیف قضاوت معنایی، تکلیف قضاوت نحوی و تکلیف جفت کردن کلمه و تصویر [۸, ۹, ۳۳-۳۵] که در ادامه به تشریح آنان می‌پردازیم.

از تکلیف تولید کلمه برای نگاشت مناطق قشری مختص به زبان در fMRI استفاده می‌شود. در این تکلیف حرف یا کلمه‌ای به عنوان محرک برای آزمودنی نمایش داده می‌شود یا پخش می‌شود و از او خواسته می‌شود تا کلمات مرتبط با محرک را به خاطر بیاورد [۳۳]. این تکلیف اطلاعات مهمی را در زمینه تعیین نیمکره غالب مغزی در اختیار قرار می‌دهد و به خصوص ناحیه بروکا را در fMRI مشخص می‌کند [۱۰]. از سوی دیگر، برخی فعالیت‌های شناختی و حسی-حرکتی نیز علاوه بر فعالیت‌های زبانی، در حین انجام این تکلیف مشاهده می‌شوند که باعث فعال شدن سایر نواحی مانند نواحی حسی و توجهی در نتیجه‌ی fMRI می‌گردند [۳۶]. تکلیف تولید کلمه دربیماران صرع قبل از جراحی لوبکتومی برای تعیین نیمکره غالب مغزی کاربرد فراوانی داردکه جایگزینی بی‌خطر برای آزمون وادا است [۳۷].

تکلیف تولید فعل نیز همانند تکلیف تولید اسم، در تعین نمیکره غالب مغزی نقش دارد. در این تکلیف اسمی نمایش داده می‌شود یا پخش می‌شود و آزمودنی افعال متناسب را به خاطر می‌آورد [۸]. در برخی از تحقیقات فعالیت جایروس‌های تحتانی لوب فرونتال سمت راست و چپ و جایروس میانی لوب فرونتال چپ در هنگام انجام این تکلیف مشاهده شده است [۳۸]. تکلیف تولید فعل نیز کاربردهای کلینیکی فراوانی دارد، از جمله بررسی عملکرد مغز در بزرگسالان دارای آسیب‌های مغزی [۳۹] و کودکان دارای اختلالات رشدی زبان [۴۰].

علاوه بر دو تکلیف فوق که جنبه بیانی داشتند، تکالیف درکی نیز در fMRI کاربرد گسترده‌ای دارند. تکلیف قضاوت معنایی، یک تکلیف زبانی است که جنبه درک را مورد سنجش قرار می‌دهد. در این تکلیف جملات مختلفی که از نظر معنایی درست یا نادرست هستند برای آزمودنی نمایش داده می‌شود یا پخش می‌شود و وی باید درباره آن‌ها قضاوت کند. برای مثال جمله «وسیله‌ای که زمان را اعلام می کند ساعت است»، جمله‌ای درست و جمله «وسیله‌ای که روی آن می‌نشینیم کفش است»، جمله‌ای نادرست است [۱۱]. قضاوت نحوی، تکلیف دیگری است که در آن دو جمله یا عبارت درست و نادرست از نظر نحوی نمایش داده می‌شود یا پخش می‌شود و آزمودنی قضاوت می کند که محرک از نظر نحوی درست است یا نادرست [۳۵].

تکلیف جفت کردن کلمه و تصویر نیز از تکلیف‌های زبانی رایج fMRI است که معمولاً برای بررسی فرآیندهای دخیل در تولید کلمه به‌کار می‌رود. در این تکلیف تصویری به همراه چند کلمه به آزمودنی نمایش داده می‌شود تا او بتواند کلمه مناسب را بیابد. در این نوع از تکلیف که تصویر با کلمه انطباق داده می‌شود، مهارت‌های بیانی مورد سنجش قرار می‌گیرند. همچنین ممکن است تکلیف به شکل معکوس اجرا شود، بدین معنا که آزمودنی تصویر متناسب با کلمه نمایش داده شده را از بین تصاویر مختلف بیابد. در این نوع که انطباق کلمه با تصویر صورت می‌گیرد، هدف ارزیابی مهارت‌های درکی می‌باشد [۹].

به طور کلی، fMRI ابزاری بسیار کارآمد در زمینه مطالعات زبانی می‌باشد که می‌تواند حیطه‌های درک و بیان را مورد سنجش قرار دهد [۳]. برخی از تکالیف شاخص در این زمینه مرور شدند که می‌توانند به محققین فعال در زمینه زبان شناختی و آسیب

www.SID.ir

Archive of SID

شناسی در رسیدن به نتیجه یاری نمایند. نکته حائز اهمیت دیگر در طراحی مطالعات زبان شناختی، توجه به محدودیت‌های تکنیک تصویربرداری fMRI است که محققین باید بدان توجه کنند.

تکنیک تصویربرداری مغزی fMRI نسبت به سایر تکنیک‌های نقشه برداری مغزی ارجحیت دارد، چرا که تکنیکی غیرتهاجمی است و دقت تشخیصی مکانی بالایی دارد. به همین دلیل در طی دو دهه گذشته تکنیکی غالب در مطالعه مغز بوده است. علی رغم بالا بودن دقت تشخیصی مکانی، یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های fMRI، پایین بودن دقت تشخیصی زمانی آن است که در نتیجه‌ی بالا بودن سرعت ثبت تصاویر ایجاد می‌شود [۱]. از دیگر محدودیت‌های این تکنیک تصویربرداری می‌توان به محدود بودن فضای داخل دستگاه اشاره کرد، بنابراین افراد دچار کلاستروفوبیا، که با قرارگیری در فضاهای بسته دچار فوبیا می‌شوند، نمی‌توانند مورد مطالعه قرار گیرند [۴۱]. همچنین به دلیل وجود میدان مغناطیسی قوی، افراد دارای اجسام فلزی نمی‌توانند داخل دستگاه قرار گیرند، همانند افراد دارای ایمپلنت‌های فلزی و دستگاه تنظیم کننده ضربان قلب[1]. از آن‌جاکه هدفون و میکروفون‌های موجود در بازار که در تحقیقات زبان شناختی استفاده می‌شوند، قابل استفاده در دستگاه MRI نیستند و نیاز است از ابزارهای سازگار با میدان مغناطیسی[2] استفاده شود که مستلزم صرف هزینه‌های بیشتر می‌باشد [۴۲].

تحقیقات زبان شناختی صورت گرفته در حیطه درک و بیان زبان، تحت تاثیر محدودیت‌های fMRI قرار می‌گیرند. بدین صورت که نویز دستگاه (که حتی با وجود قرار دادن هدفون هم قابل شنیدن است)، درک زبان را تحت تاثیر قرار می‌دهد. از این رو معمولاً در تحقیقات توصیه می‌شود که از تکالیف درک شنیداری استفاده نشود. بیان گفتار نیز به دلیل ایجاد حرکت در ناحیه دهان، می‌تواند تاثیرات مخربی بر روی سیگنال fMRI داشته باشد، چرا که باعث تغییر وضعیت سر می‌گردد. به دلیل وجود این مشکلات، اغلب تحقیقات زبان شناختی انجام شده با fMRI، از تکالیف خواندن و نوشتن که با مدالیته بینایی ارائه می‌شود، استفاده کرده‌اند [۴۳].

باتوجه به قابلیت تکنیک تصویربرداری fMRI در کشف رابطه‌ی بین زبان و مغز، در انتها پیشنهاد می‌شود که مطالعات fMRI به‌طور خاص برای آن دسته از مطالعاتی به‌کار روند که نتایج رفتاری آن‌ها موجود است، مانند بررسی مناطق مغزی فعال در دستیابی واژگانی در بیماران و افراد طبیعی [۴۴, ۴۵] و نامیدن در کودکان [۴۶]. همچنین می‌توان از تکنیک fMRI در مطالعات پردازش اسم و فعل در افراد طبیعی و بیماران بهره برد [۴۷]. علاوه‌براین، تکنیک تصویربرداری fMRI می‌تواند نقش مهمی در مطالعه پردازش زبان در مغز بیماران خاص و نادر مانند زبان پریشی متقاطع که نتایج رفتاری آن موجود است [۴۸, ۴۹]، داشته باشد. در برخی نقایص گفتار و زبان مانند لکنت نیز با کمک مطالعات fMRI می‌توان اطلاعات دقیق‌تری از فعالیت مناطق مغزی در حین تکرار کلمه به‌دست آورد [۵۰].

۴- نتیجه‌گیری

fMRI امروزه به عنوان تکنیکی برای نقشه برداری مغزی شناخته می شود و نتایج ارزشمندی از مطالعات آن به دست آمده است. محققینی که در زمینه زبان و آسیب شناسی آن فعالیت دارند، با آگاهی از مکانیسم و مبانی فیزیکی fMRI می‌توانند مطالعات دقیق‌تری را انجام دهند. مراحل اخذ داده و تحلیل آن نیز از مراحل حائز اهمیت در مطالعات fMRI است که باید مورد توجه پژوهشگران قرار گیرد. از سوی دیگر، از تکنیک تصویربرداری fMRI می‌توان در مطالعات زبان‌شناختی بهره برد و با فرآیند پردازش زبان در مغز بیشتر آشنا شد.

در بررسی‌های زبان شناختی با کمک fMRI، با طیف وسیعی از مهارت‌ها مواجه هستیم. برای ارزیابی مهم‌ترین مهارت‌ها، یعنی درک و بیان، چند تکلیف کارآمد در تحقیقات معرفی شده است. برای درک، می توان به تکلیف جفت کردن کلمه با تصویر

[1] pacemaker

[2] MR compatible

www.SID.ir

Archive of SID

اشاره کرد (زمانی که بیمار کلمه شنیده یا دیده شده را با تصویرش انطباق می‌دهد). تکالیف تولید کلمه و تولید فعل نیز از تکالیف کارآمد در حیطه بیان هستند. از دیگر تکالیف شاخص در این زمینه، می‌توان به تکلیف جفت کردن تصویر با کلمه اشاره کرد (زمانی که بیمار تصویری را با کلمه دیده شده یا شنیده شده تطبیق می‌دهد). در صورت استفاده از تکالیف مناسب و در نظر گرفتن محدودیت‌های fMRI، صحت نتایج مطالعات نیز افزایش خواهد یافت. پژوهشگران فعال در زمینه زبان و آسیب شناسی آن، با آشنایی با موارد بحث شده، می‌توانند عملکرد بهتری در طراحی و اجرای مطالعات fMRI داشته باشند.

۵- مراجع

1. Huettel, S.A., A.W. Song, and G. McCarthy, Functional magnetic resonance imaging. Vol. 1. 2004: Sinauer Associates Sunderland, MA.

2. Gore, J.C.J.T.J.o.c.i., Principles and practice of functional MRI of the human brain. 2003. 112(1): p. 4-9.

3. Agarwal ,S., et al., Language Mapping With fMRI: Current Standards and Reproducibility. Top Magn Reson Imaging, 2019. 28(4): p. 225-233.

4. Lee, M.H., C.D. Smyser, and J.S. Shimony, Resting-State fMRI: A Review of Methods and Clinical Applications. American Journal of Neuroradiology, 2013. 34(10): p. 1866.

5. Kundu, P., et al., Multi-echo fMRI: A review of applications in fMRI denoising and analysis of BOLD signals. NeuroImage, 2017. 154: p. 59-80.

6. Han X, L.T., A mini review of functional magnetic resonance imaging. Medical Research and Innovations, 2018.

7. Kristo, G., et al., Task and task-free FMRI reproducibility comparison for motor network identification. Human brain mapping, 2014. 35(1): p. 340-352.

8. Holland, S.K., et al., Normal fMRI brain activation patterns in children performing a verb generation task. Neuroimage, 2001. 14(4): p. 837-43.

9. de Zubicaray, G.I., et al., The semantic interference effect in the picture-word paradigm: an event-related fMRI study employing overt responses. Hum Brain Mapp, 2001. 14(4): p. 218-27.

10.Brannen, J.H., et al., Reliability of functional MR imaging with word-generation tasks for mapping Broca's area. AJNR Am J Neuroradiol, 2001. 22(9): p. 1711-8.

11.Moore-Parks, E.N., et al., An fMRI study of sentence-embedded lexical-semantic decision in children and adults. Brain Lang, 2010. 114(2): p. 90-100.

12.Sarracanie, M. and N. Salameh, Low-Field MRI: How Low Can We Go? A Fresh View on an Old Debate. frontiers in physics, 2020. 8.(۱۷۲)

13.Fain, S., et al., Imaging of lung function using hyperpolarized helium-3 magnetic resonance imaging: review of current and emerging translational methods and applications. 2010. 32(6): p. 1398-1408.

14.Hajiaghasi, S., et al., New method for online interturn faults detection in power transformer with using probabilistic neural network. Computational Intelligence in Electrical Engineering, 2014. 5(2): p. 1-16.

15.Boltzmann, L., The second law of thermodynamics, in Theoretical physics and philosophical problems. 1974, Springer. p.۳۲-۱۳ .

16.Hyder, F. and D.L. Rothman, Advances in Imaging Brain Metabolism. Annu Rev Biomed Eng, 2017. 19: p. 485-515.

17.Ogawa, S., et al., Functional brain mapping by blood oxygenation level-dependent contrast magnetic resonance imaging. A comparison of signal characteristics with a biophysical model. 1993. 64(3): p. 803-812.

18.Molinari, F., et al., Relationship between oxygen supply and cerebral blood flow assessed by transcranial Doppler and near–infrared spectroscopy in healthy subjects during breath–holding. 2006. 3(1): p. 1-13.

www.SID.ir

Archive of SID

19.Rangaprakash, D., et al., FMRI hemodynamic response function (HRF) as a novel marker of brain function: applications for understanding obsessive-compulsive disorder pathology and treatment response. Brain Imaging and Behavior, 2020.

20.Tie, Y., et al., Comparison of blocked and event-related fMRI designs for pre-surgical language mapping. NeuroImage, 2009. 47 Suppl 2(Suppl 2): p. T107-T115.

21.Mitra, P.P. and B.J.B.j. Pesaran, Analysis of dynamic brain imaging data. 1999. 76(2): p. 691-708.

22.Baumgartner, R., et al., Comparison of two exploratory data analysis methods for fMRI: fuzzy clustering vs. principal component analysis. 2000. 18(1): p. 89-94.

23.McKeown, M.J., et al., Analysis of fMRI data by blind separation into independent spatial components. 1998. 6(3): p. 160-188.

24.Levin, D.N. and S.J.J.N. Uftring, Detecting brain activation in FMRI data without prior knowledge of mental event timing. 2001. 13(1): p. 153-160.

25.Dronkers, N.F., M.V. Ivanova, and J.V.J.J.o.t.I.N.S.J. Baldo, What do language disorders reveal about brain–language relationships? from classic models to network approaches. 2017. 23(9-10): p. 741.

26.Folkers, P. and P.J.M.M. Boesiger, A compact 3.0 T MR system for routine application .۲۰۰۱ . :(٤)٤٥p. 2-10.

27.Cheung, M.M., et al., BOLD fMRI investigation of the rat auditory pathway and tonotopic organization. 2012. 60(2): p. 1205-1211.

28.Hutchinson, J.B., et al., Increased functional connectivity between dorsal posterior parietal and ventral occipitotemporal cortex during uncertain memory decisions. 2015. 117: p. 71-83.

29.Scalici, F., et al., The contribution of different prefrontal cortex regions to recollection and familiarity: a review of fMRI data. 2017. 83: p. 240-251.

30.Sidhu, M.K., et al., Memory fMRI predicts verbal memory decline after anterior temporal lobe resection. 2015. 84(15): p. 1512-1519.

31.Tang, Y., et al., Altered cerebral activity associated with topiramate and its withdrawal in patients with epilepsy with language impairment: an fMRI study using the verb generation task. 2016. 59: p. 98-104.

32.Xiao, F., D. An, and D.J.S. Zhou, Functional MRI-based connectivity analysis: a promising tool for the investigation of the pathophysiology and comorbidity of epilepsy. 2017. 44: p. 37-41.

33.Lurito, J.T., et al., Comparison of rhyming and word generation with FMRI. 2000. 10(3): p. 99-106.

34.Sylvester, T., J. Liebig, and A.M. Jacobs, Neural correlates of affective contributions to lexical decisions in children and adults. Scientific reports, 2021. 11(1): p. 945-945.

35.Suzuki, K. and K.L. Sakai, An event-related fMRI study of explicit syntactic processing of normal/anomalous sentences in contrast to implicit syntactic processing. Cereb Cortex, 2003. 13(5): p.٢٦-٥١٧ .

36.Tie, Y., et al., Group independent component analysis of language fMRI from word generation tasks. 2008. 42(3): p. 1214-1225.

37.Deblaere, K., et al., Developing a comprehensive presurgical functional MRI protocol for patients with intractable temporal lobe epilepsy: a pilot study. 2002. 44(8): p. 667-673.

38.٣Horowitz-Kraus, T., et al., Greater utilization of neural-circuits related to executive functions is associated with better reading: a longitudinal fMRI study using the verb generation task. 2014. 8: p. 447.

39.Thompson-Schill, S.L., et al., Verb generation in patients with focal frontal lesions: A neuropsychological test of neuroimaging findings. 1998. 95(26): p. 15855-15860.

40.Krishnan, S., et al., Functional organisation for verb generation in children with developmental language disorder. 2021. 226: p. 117599.

www.SID.ir

Archive of SID

41.Murphy, K.J. and J.A.J.M.r.i. Brunberg, Adult claustrophobia, anxiety and sedation in MRI. Magnetic resonance imaging, 1997. 15(1): p. 51-54.

42.Hargreaves, B.A., et al., Metal-induced artifacts in MRI. American Journal of Roentgenology, 2011. 197(3): p. 547-555.

43.Peeters, R. and S. Sunaert, Clinical BOLD fMRI: Artifacts, Tips and Tricks, in Clinical Functional MRI: Presurgical Functional Neuroimaging, C. Stippich ,Editor. 2007, Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg. p. 227-249.

44.Azimi, T., et al., Lexical-semantic processing of action verbs and non-action nouns in Persian speakers: Behavioral evidence from the semantic similarity judgment task. 2020: p.۱۳-۱ .

45.Ghoreishi, Z.S., et al., Lexical access in Persian normal speakers: Picture naming, Verbal fluency and Spontaneous speech. 2014.

46.Hassanati, F., et al., Picture naming in children with and without specific language impairment: An error analysis study. 2018. 16(3): p. 289-296.

47.Azimi, T., et al., Developing a Semantic Similarity Judgment Test for Persian Action Verbs and Non-action Nouns in Patients With Brain Injury and Determining its Content Validity. 2020. 21(2): p. 154-181.

48.Ghoreishi, Z.S., et al., A Case Report of A Persian Patient with Crossed Aphasia: Agrammatism after Right Hemisphere Lesion. 2012. 13(3): p. 18-24.

49.Parhizkar Shahri, P., et al., Investigation of Speech and Language in a Persian Patient with Crossed Aphasia in Dextrals: A Case Report. 2020. 7.(۲)

50.Choopanian, F., et al., Evaluating the Word/Non-Word Repetition in Adults With Stuttering Based on Stuttering Severity and Length of Words/Non-Words. 2019. 13(4): p. 199-206.

www.SID.ir