فهرست

پیشگفتار ۱۱

فصل ۱: مبانی فیزیولوژیک تصویربرداری عملکردی..... ۱۳

۱-۱ جفت شدن عصبی-عروقی و نقش آن در تصویربرداری رزونانس مغناطیسی عملکردی.... ۱۴

۱-۲ مکانیزم تصویربرداری عملکردی بر مبنای سطح اکسیژن خون (BOLD)..... ۱۵

۱-۳ تنوع فرضیه در طراحی یک آزمون عملکردی مغزی-عصبی..... ۱۵

۱-۴ ساختارهای زمانی مختلف در روش BOLD fMRI..... ۱۷

فصل ۲: فیزیک MRI- موارد مورد نیاز برای آشنایی با نحوه تصویربرداری عملکردی (fMRI) ..۱۹

۲-۱ آشنایی مختصری با فیزیک MRI..... ۱۹

۲-۲ انواع پروتکل‌های تصویربرداری در fMRI و ضرورت آنها..... ۴۰

۲-۳ چگونگی ایجاد کنتراست در fMRI..... ۴۸

۲-۴ پارامترهای مهم در سکانس‌های MRI..... ۵۷

۲-۵ سخت افزارهای مورد نیاز..... ۷۳

۲-۶ انجام تصویربرداری..... ۷۵

۲-۷ جدول پارامترها..... ۷۷

۲-۸ فلوچارت انجام تصویربرداری..... ۸۰

فصل ۳: ارزیابی کیفیت (QC) تصاویر دینامیکی BOLD برای آنالیز عملکردی اطلاعات ۸۱

۳-۱ مقدمه..... ۸۱

۳-۲ ابزارهای کنترل کیفی سیستم fMRI..... ۸۴

۳-۳ معیارهای کنترل کیفی fMRI ۸۶
۳-۴ روش‌های ارزیابی کیفیت داده‌های fMRI ۸۷
۳-۵ کنترل کیفی بخش آنالیز سیگنال fMRI ۸۹
۳-۶ مقایسه بسته‌های نرم افزاری پردازش و آنالیز fMRI ۸۹
منابع ۱۰۷
فصل ۴: پیش پردازش داده‌ها در fMRI ۱۰۹
۴-۱ مقدمه ۱۰۹
۴-۲ تبدیل فرمت داده‌ها ۱۰۹
۴-۲ بررسی کیفیت ۱۱۴
۴-۳ اصلاح حرکت در تصاویر ۱۱۸
۴-۴ اصلاح زمانی مقاطع تصویر ۱۲۶
۴-۵ نرم‌سازی مکانی تصاویر ۱۲۹
۴-۶ اصلاح ناهمگنی میدان ۱۳۳
۴-۷ انطباق تصاویر ۱۳۶
۴-۸ محورهای مختصات استاندارد ۱۴۱
۴-۹ ریاضیات انطباق تصاویر ۱۴۶
۴-۱۰ فیلتر زمانی داده‌ها ۱۵۳
۴-۱۱ اصلاح میانگین کلی داده‌ها ۱۵۴
۴-۱۲ پیش پردازش داده‌های ساختاری ۱۵۶
۴-۱۳ جدول پارامترها ۱۵۸
فصل ۵: آنالیز آماری (و مدل‌سازی) فردی داده‌های fMRI ۱۶۱
۵-۱ مقدمه‌ای بر پردازش داده‌های fMRI ۱۶۱
۵-۵ استنتاج در fMRI ۱۷۷
۵-۶ حد آستانه‌گذاری و تصحیح آن ۱۹۲
۵-۷ نکات بیشتر در رابطه با استنتاج ۲۰۳
فصل ۶: پردازش گروهی داده‌های fMRI ۲۰۷
۶-۱ مقدمه ۲۰۷
۶-۲ تفاوت‌های فردی ۲۰۹

۶-۳ اثر ثابت یا اثر تصادفی ۲۱۲
۶-۴ مقایسه بین اثر ثابت و اثر تصادفی ۲۱۴
فصل ۷: اطلس‌ها و موقعیت‌گذاری آناتومی ۲۱۷
۷-۱ مقدمه ۲۱۷
۷-۲ معرفی دو اطلس معروف و مقایسه آنها ۲۱۹
۷-۳ اطلسهای احتمالی ۲۲۸
۷-۴ نواقص اطلسهای موجود ۲۲۹
۷-۵ استفاده از فضای استاندارد در FSLeyes ۲۲۹
۷-۶ نواحی برودمن ۲۳۲
۷-۷ شیار مرکزی ۲۳۵
۷-۸ کورتکس اینسولا ۲۴۳
۷-۹ لوب پریتال ۲۴۴
۷-۱۰ لوب اکسیپیتال ۲۴۵
۷-۱۱ نمای داخلی نیمکره‌ها ۲۴۵
۷-۱۲ نمای پایینی نیمکره‌ها ۲۴۹
۷-۱۳ سیستم لیمبیک ۲۵۳
۷-۱۴ اطلس برخی نواحی آناتومیک و عملکردی مهم مغز در MNI152_T1_2mm_Brain ۲۵۵
فصل ۸: مروری بر ابزار نرم افزاری تحلیل تصاویر ۲۶۷
۸-۱ کتابخانه‌ی نرم افزار FMRIB ۲۶۷
۸-۲ پردازش‌های ساختاری MRI: FLIRT، FIRST، FAST، BET و FNIRT ۲۶۸
۸-۳ تحلیل MRI عملکردی: FEAT و Melodic ۲۸۰
۸-۴ روند کامل آنالیز یک نمونه داده‌ی fMRI ۳۳۹
فصل ۹: نقش حیاتی نقشه برداری مغز قبل ازعمل جراحی و چالش‌های آن ۳۴۹
۹-۱ مقدمه ۳۴۹
۹-۲ چالش های قبل از انجام تصویربرداری عملکردی مغز ۳۵۰
۹-۳ ابزارهای ارائه محرک‌های عملکردی ۳۵۲
۹-۴ چالش‌های تصویربرداری و مانیتور کردن بیمار در حین تصویربرداری ۳۵۲
۹-۵ چالش‌های تکنیکی و بالینی در تصویربرداری عملکردی fMRI ۳۵۳

۹-۶ اثر آستانه بر نواحی فعال‌سازی شده ۳۵۴
۹-۷ اثر خودتنظیمی جریان خون بر نواحی فعال‌سازی شده ۳۵۵
۹-۸ برنامه‌ریزی برای راه اندازی تصویربرداری عملکردی قبل از جراحی مغز در یک مرکز مرجع ۳۵۶
فصل ۱۰: طراحی آزمون عملکردی و انتخاب وظایف (تسک) ۳۵۹
۱۰-۱ مقدمه ۳۵۹
۱۰-۲ طراحی مطالعه ۳۵۹
۱۰-۳ روش‌های مختلف طراحی مطالعه ۳۶۱
۱۰-۴ طراحی پارامتریک ۳۶۳
۱۰-۵ طراحی فاکتوریل[1] ۳۶۳
۱۰-۶ پارادایم‌های ارایه آزمون (تسک) ۳۶۴
۱۰-۷ طراحی بلوک[1] ۳۶۵
۱۰-۸ طراحی رویدادی ۳۶۵
۱۰-۹ طراحی ترکیبی ۳۶۵
۱۰-۱۰ نواحی حیاتی مغز ۳۶۶
۱۰-۱۱ آزمونهای مهم برای نقشه برداری قبل از جراحی مغز ۳۶۶
۱۰-۱۲ آزمونهای پیش از جراحی برای ارزیابی حرکت ۳۶۷
۱۰-۱۳ آزمونهای حرکتی ۳۶۸
۱۰-۱۴ آزمونهای پیش از جراحی برای ارزیابی مناطق حسی ۳۷۰
۱۰-۱۵ آزمونهای پیش از جراحی برای ارزیابی تکلم ۳۷۱
۱۰-۱۶ آزمونهای پیش از جراحی برای ارزیابی حافظه ۳۷۳
۱۰-۱۷ آزمونهای پیش از جراحی برای ارزیابی بینایی ۳۷۴
۱۰-۱۸ سایر آزمون‌های حسی ۳۷۵
۱۰-۱۹ آزمون‌های شناختی ۳۷۶
۱۰-۲۰ آزمونهای مورد استفاده در ارزیابی بیماران با ضایعات Prefrontal ۳۷۸
۱۰-۲۱ آزمون بررسی فعالیت آمیگدال ۳۷۹
۱۰-۲۲ آزمون‌های حوزه اعتیاد ۳۸۰
فصل ۱۱: فعالیت حالت استراحت و ارتباطات عملکردی مغز ۳۸۳
۱۱-۱ مقدمه ۳۸۳

۱۱-۲ ارتباطات کارکردی ۳۸۳
۱۱-۳ انتخاب پارامترهای تصویربرداری حالت استراحت ۳۸۶
۱۱-۴ پیش پردازش تصاویر حالت استراحت ۳۸۷
۱۱-۵ روش‌های آنالیز سیگنال حالت استراحت ۳۸۷
منبع ۴۱۰
فصل ۱۲: ملاحظات کاربردی و نکات عملی در انجام نقشه برداری عملکردی قبل از عمل جراحی .. ۴۱۱
۱۲-۱ مقدمه ۴۱۱
۱۲-۲ گردش کار انجام fMRI برای نقشه برداری قبل از عمل جراحی ۴۱۲
۱۲-۳ مراحل انجام fMRI به روش BOLD و ملاحظات کاربردی آنها ۴۱۳
۱۲-۴ دستورالعمل‌های اجرایی بین المللی ۴۳۹
فصل ۱۳: نمایش و چاپ تصاویر عملکردی ۴۴۳
۱۳-۱ مقدمه: ویژگی‌های سیستم نمایش تصاویر عملکردی ۴۴۳
۱۳-۲ شرایط و مقررات لازم برای سیستم نمایش تصاویر عملکردی ۴۴۴
۱۳-۳ قابلیت‌های مورد انتظار در نرم افزارهای نمایش تصویر ۴۴۵
فصل ۱۴: نحوه‌ی گزارش نویسی نتایج fMRI در کاربردهای بالینی ۴۵۱
۱۴-۱ مقدمه ۴۵۱
۱۴-۲ اطلاعات دموگرافیک فرد ۴۵۳
۱۴-۳ توصیف سابقه‌ی بالینی بیمار ۴۵۴
۱۴-۴ بیان نوع ضایعه و وضعیت پاتولوژیک آن ۴۵۴
۱۴-۵ مشخص کردن تسک‌های ارائه شده به بیمار ۴۵۵
۱۴-۶ ارائه‌ی جزئیات تکنیکی کافی برای تکرار احتمالی آنالیز ۴۵۵
۱۴-۷ ارائه جزییات آماری برای تمامی نتایج ۴۵۶
۱۴-۸ مشخص کردن نحوه‌ی تعیین مناطق عملکردی مورد نظر ۴۵۷
۱۴-۹ نگارش جداگانه در مورد نتایج هر تسک ۴۵۷
۱۴-۱۰ تشریح آناتومیک محل ضایعه و فعالیت مبتنی بر اطلس شکنج و شیار مغزی ۴۵۸
۱۴-۱۱ توصیف یافته‌های بالینی ۴۵۸
۱۴-۱۲ نتیجه‌گیری یا تشخیص نهایی ۴۵۹
۱۴-۱۳ تصحیح نهایی و امضای گزارش ۴۵۹

۱۴-۱۴ پیوست و تحویل گزارش ۴۵۹
۱۵-۱۴ ارتباطات غیررسمی ۴۵۹
Book Outline ۴۶۷
واژه‌یاب ۴۷۱
اطلس رنگی ۴۸۱

پیشگفتار

رویکردهای نوین جراحی در درمان تومورهای مغز با هدف به حداکثر رساندن میزان برداشتن بافت‌های تومورال، همراه با به حداقل رساندن خطر آسیب به مناطق سالم قشر و داخل مغز می‌باشد. یک ضایعه فضاگیر در مغز می‌تواند ساختارهای نزدیک بافت تومورال را تغییر دهد و لذا منجربه تخریب قابل توجهی از عملکرد و فعالیت نواحی آناتومیک و عملکردی مغز شود. لذا نقشه برداری عملکردی مغز و تعیین محل ضایعه (مثل تومور) و فاصله و موقعیت آن با نواحی عملکردی اساسی (بخصوص قشر سخن‌گو یا eloquent area) بعنوان یک پیش‌نیاز حیاتی در کاهش صدمات حین عمل‌های جراحی مغز و اعصاب توصیه می‌شود.

در این کتاب که بر اساس دانش ما، اولین کتاب تصویربرداری عملکردی fMRI با هدف نقشه‌برداری مغز قبل از عمل جراحی در ایران است، سعی بر این شده است که مروری کامل از همه جنبه‌های تخصصی مورد نیار انجام این پروتکل چند تخصصی بنماید و کلیه، نکات عملی و مراحل انجام یک تصویربرداری عملکردی و آنالیز کاربردی آن را ارائه دهد. توصیه می‌شود فصل ۱ کتاب بعنوان مقدمه و آشنایی با مبانی فیزیولوژیک تصویربرداری عملکردی توسط همه خوانندگان در ابتدا مطالعه شود. بدیهی است بخش‌های مختلف تخصصی کتاب برای برخی خوانندگان، ساده و برای گروهی دیگر، کمی خارج از اطلاعات زمینه‌ای آنهاست. لذا توصیه می‌کنیم خوانندگان و کاربران گرامی به جهت درک عمیق‌تر مطالب، از بین موضوعات تخصصی پوشش داده شده از قبیل فیزیک تصویربرداری MRI (فصل ۲)، ارزیابی کیفیت تصاویر و اعمال مراحل کنترل کیفیت (فصل۳)، پردازش و آنالیز محاسباتی تصاویر (فصل ۴) و تحلیل آماری و اعتبار سنجی مناطق فعالیت در مغز (فصل ۵)، هر کدام را نیاز می‌بینند زمینه مطالعات پایه خودشان را از منابع و متون علمی موجود تقویت نمایند.

بدلیل تخصصی بودن موضوعات متنوع، فصول کتاب توسط همکاران در تخصص‌های مختلف نوشته شده است و این امرممکن است در نگاه اول قدری تکرار مطالب و یا عدم انسجام بین همه فصول کتاب را نمایان

سازد ولی به هر حال، طراحی موضوعات و فصل‌ها بطریقی صورت گرفته که یادگیری و استفاده از مطالب هر فصل می‌تواند مستقل از فصل‌های دیگر باشد کمااینکه برخی خوانندگان در موضوع برخی از فصل‌ها از قبل آگاهی دارند و نیازی به یادگیری مجدد مطالب آنها را نمی‌بینند. بعلاوه مطالب مندرج در فصل ۶ (آنالیز گروهی تصاویر عملکردی) و فصل ۱۱ (فعالیت حالت استراحت و ارتباطات عملکردی مغز) برای خوانندگان خاص که نیازمند آنالیزهای عملکردی مغز در کاربردهای تحقیقاتی هستند نوشته شده است.

خواننده‌ای که به تصویربرداری عملکردی fMRI از قبل آشنایی دارد و حتی آناتومی عملکردی مغز (پوشیده شده در فصل ۷) و روش‌های ارائه آزمون و تسک‌های تحریک عملکردی (بیان شده در فصل ۱۰) را می‌داند می‌تواند انحصارا فصل‌های ۹ و ۱۲ تا ۱۴ را مطالعه نماید تا نکات کاربردی و مراحل عملیاتی تصویربرداری، آماده‌سازی و فعال‌سازی بیمار، آنالیز، نمایش موثر نتایج و گزارش‌دهی استاندارد برای بیماران نیازمند به نقشه برداری قبل از عمل جراحی را آموزش ببینند. در فصل ۹ نقش حیاتی نقشه‌برداری مغز قبل ازعمل جراحی و چالش‌های پیش رو برای اجرای این تکنیک ارائه می‌شود. در این فصل هدف ما بحث و بررسی عوامل محدود کننده در مسیر دسترسی به خدمات نقشه برداری مغز در مراکز جراحی مغز و اعصاب و ارائه راهکاری مؤثر جهت توسعه این تکنیک جدید و درعین حال حیاتی برای مراکز بالینی داخل و حتی کشورهای درحال توسعه می‌باشد. در فصل ۱۲ ملاحظات کاربردی و نکات عملی در مراحل انجام نقشه برداری عملکردی قبل ازعمل جراحی، با در نظرگرفتن جنبه‌های مهم مورد نیاز به انجام یک آزمایش fMRI کارآمد، از شروع ایده تا کسب نتایج قابل تفسیر، ارائه می‌گردد. در این فصل محدودیت‌های موجود در کسب نتایج معتبر، از تعیین پارامترهای فیزیکی تصویربرداری و وضوح تصویر گرفته تا ارائه توصیه‌های عملی در مراحل اجرایی و مقابله با خطاهای احتمالی در فرایند تصویربرداری عملکردی مورد بحث قرار خواهد گرفت. در این فصل و فصول بعد از آن ما همچنین تجربه چند ساله خود را در ارائه خدمات بالینی fMRI در سطح مراکز جراحی مغز و اعصاب داخل به اشتراک می‌گذاریم.

در این کتاب، یک فصل متمم (فصل ۸) با هدف معرفی یک بسته نرم افزاری کامل (بنام FSL) که در برگیرنده تمام مراحل مورد نیاز برای آماده‌سازی دیتا و تحلیل آماری آنها و حتی نمایش گرافیکی نتایج است بصورت مرحله‌به‌مرحله توضیح داده شده است و پارامترهای بهینه برای یک آنالیز موثر و قابل کاربرد در مطالعات نقشه‌برداری مغز قبل از عمل جراحی پیشنهاد شده است.

امید است مطالب این کتاب که عمدتاً از تجربیات مولفین در ارائه خدمات تصویربرداری عملکردی و نقشه‌برداری مغز قبل ازعمل جراحی در ۱۰ سال گذشته حاصل شده است برای خوانندگان گرامی مفید واقع شود و صاحب نظران بزرگوار با ارائه نظرات سازنده و یادآوری اشتباهات احتمالی، ما را در ویرایش چاپ‌های بعدی راهنمایی نمایند.

محمد علی عقابیان

فصل ۱

مبانی فیزیولوژیک تصویربرداری عملکردی

یک چالش همیشگی در زمینه علوم اعصاب بالینی، روانپزشکی و روانشناسی، درک مکانیسم‌های کاری مغز انسان و عملکردهای پیچیده مانند ادراک، احساسات و رفتار است. در این زمینه نوروفیزیولوژی (عملکرد سلول‌های نورونی) و نوروهمودینامیک (عملکرد عروقی-عصبی مغز فعال) سعی به توصیف عملکردهای عصبی به صورت کیفی و کمی در شرایط عادی و یا در اختلالات مختلف مغزی دارد و متعاقباً منجر به استفاده از این دانش برای اهداف تشخیصی و درمانی می‌شود.

تعدادی از روش‌های تصویربرداری مانند MRI برای بررسی عملکردهای پیچیده مغز و توصیف فعالیت عصبی مغز انسان ساخته شده است. MRI با بهره برداری از این واقعیت که هسته یک اتم هیدروژن مانند یک آهنربای کوچک رفتار می‌کند، کار می‌کند. در این دستگاه‌ها با استفاده از پدیده تشدید مغناطیسی هسته‌ای (NMR)، این هسته‌های هیدروژن قابل دستکاری هستند، به طوری که آنها سیگنالی تولید می‌کنند که می‌تواند در هر محل بافت ثبت شود و به یک تصویر تبدیل شود. مکانیزم این روش تصویربرداری بدین صورت است که بدن در میدان مغناطیسی قوی یک سیستم MRI قرار می‌گیرد و تمام هسته‌های هیدروژن موجود در آن، که بیشتر آنها از مولکول‌های آب هستند، تمایل به همسان شدن با آن میدان مغناطیسی پیدا می‌کنند. هنگامی که یک پالس مغناطیسی با فرکانس رادیویی (RF) در فرکانس مناسب اعمال شود این هسته‌های هیدروژن انرژی را جذب می‌کنند و سپس یک سیگنال مختصر و ضعیف (سیگنال MR) ایجاد می‌کنند که توسط سیم پیچ‌های RF در سیستم MRI تشخیص داده می‌شود. بطور کلی تصویر MR نقشه توزیع سیگنال MR است و با دستکاری زمان پالس‌های RF و تأخیرها قبل از جمع‌آوری سیگنال MRI، ابزاری حساس برای تشخیص تغییرات ظریف در آناتومی و فیزیولوژی مغز بدست می‌آید.

در سال‌های اخیر، پیشرفت‌های فنی، قابلیت‌های تصویربرداری رزونانس مغناطیسی (MRI) را در زمینه تشخیص ویژگی‌های فیزیولوژیکی دقیق مغز افزایش داده است. در این تکنیک، سیگنال MR مستقیماً به

فعالیت نورون حساس نیست، بلکه تغییر سیگنال یک اثر غیرمستقیم حاصل از تغییرات جریان خون است که به دنبال تغییرات حاصل از فعالیت عصبی بوجود می‌آید. این تغییرات با یک روش تصویربرداری عصبی با نام تصویربرداری رزونانس مغناطیسی عملکردی (fMRI) توسط اسکنرهای استاندارد MRI ثبت می‌شود و برای ارزیابی فعالیت عملکردی مغز مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش متکی بر این واقعیت است که تغییر جریان خون مغزی (و مقدار اکسیژن آن) و فعال‌سازی عصبی با هم مرتبط می‌باشند. البته کیفیت مشاهده این تغییرات متابولیکی به مجموعه‌ای از پارامترها و فاکتورهای استفاده شده (یعنی به نوع پروتکل و شکل توالی پالس تصویربرداری) بستگی دارد.

اگرچه برای ثبت اطلاعات عملکردی مغز، از روش‌های دیگر مانند توموگرافی انتشار پوزیترون (PET)، انسفالوگرافی مغناطیسی (MEG) و پتانسیل مربوط به رویداد (ERP) استفاده شده است، fMRI نسبت به بقیه روشها سالم‌تر، موثرتر، تکرارپذیرتر و از نظر تفکیک پذیری مکانی دقیق‌تر است.

۱-۱ جفت شدن عصبی-عروقی و نقش آن در تصویربرداری رزونانس مغناطیسی عملکردی

جریان خون موضعی مغز (CBF) به عنوان مقدار خون در حال حرکت به مویرگ‌ها در ۱۰۰ گرم بافت در دقیقه تعریف می‌شود (۱۰۰g/min/mlt). در حین افزایش فعالیت عصبی، رگهای خونی شریانی گشاد می‌شوند و سرعت خون نیز افزایش می‌یابد و اکسیژن بیشتری را به مغز می‌رساند. اما به دنبال افزایش فعالیت عصبی در مغز، جریان خون موضعی مغز بسیار بیشتر از آهنگ متابولیسم مغزی اکسیژن (CMRO2) افزایش می‌یابد و در نتیجه منجر به کاهش کسر اکسیژن استخراج شده (OEF) می‌شود. در این حالت، مقدار اکسیژن مصرف شده فقط حدود یک سوم از مقدار اکسیژن منتقل شده به بافت است. این اثر "عدم تطابق عصبی-عروقی" نامیده شده است.

این ایده که جریان خون موضعی مغزی (CBF) می‌تواند فعالیت عصبی را منعکس کند با آزمایش Roy and Sherrington در سال ۱۸۹۰ نشان داده شد. این مفهوم پایه و اساس تمام روشهای تصویربرداری مغزی مبتنی بر همودینامیک است که امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرد. از آنجاییکه افزایش موضعی CBF به طور مستقیم با فعالیت عصبی در آن ناحیه ارتباط دارد و تغییراتCBF نیز با متابولیسم گلوکز و اکسیژن بطور نزدیک وابسته است، اساسا اندازه‌گیری تغییرات CBF ناشی از یک تحریک عصبی می‌تواند برای تعیین نقشه فعالیت عملکردهای مغزی استفاده شود. اما اندازه‌گیری CBF نیاز به تزریق مواد کنتراست‌زا و یا طراحی پروتکل‌های حساس و دقیق تصویربرداری دارد.

بنابراین از یک مکانیزم جایگزین و موثرتر برای اندازه‌گیری فعالیت‌های مغزی استفاده می‌شود. این روش بر مبنای افزایش اکسیژن مغزی در حالت افزایش عملکرد مغزی بنا شده است و BOLD (Blood Oxygenation Level Dependent) نام دارد. اگرچه انتظار می‌رود که میزان متابولیک

مغزی حاصل از اکسیژن (CMRO2) با تغییرات CBF همراه باشد، اما نشان داده شده است که افزایش CBF از افزایش CMRO2 در انسان، بیش از حد پیشی می‌گیرد. در نتیجه، عدم تطابق بین CBF و CMRO2 باعث افزایش سطح اکسیژن رسانی مویرگی وریدی در مناطق تحت فعالیت می‌شود که می‌تواند افزایش سیگنال MRI را در یک توالی پالس حساس به تغییرات اکسیژن (بعنوان نمونه اکوی گرادیان) فراهم نماید و لذا برای نقشه برداری از مغز مورد استفاده قرار گیرد.

۱-۲ مکانیزم تصویربرداری عملکردی بر مبنای سطح اکسیژن خون (BOLD)

در سال ۱۹۹۰، بر اساس مطالعات مغز موش در هنگام تحریک، Ogawa و همکارانش گزارش دادند که فعالیت عملکردی مغز به کنتراست مغناطیسی حاصل از سطح اکسیژن خون (BOLD) وابسته است. افزایش غلظت اکسی هموگلوبین و کاهش دی اکسی هموگلوبین در ونول‌ها و بستر سیاهرگی مویرگهای بافت فعال مغزی اساس مکانیسم تصویربرداری عملکردی وابسته به سطح اکسیژن خون (BOLD) است. با این حال، سیگنال BOLD به پارامترهای مختلف آناتومیکی، فیزیولوژیکی و تصویربرداری بستگی دارد. برای به کارگیری تکنیک‌های fMRI به طور موثر و تفسیر دقیق داده‌های آن، مهم است که خصوصیات فیزیولوژیک و پارامترهای فیزیکی زمینه‌ای مورد بررسی قرار گیرد.

امروزه تصویربرداری عملکردی به طور فزاینده‌ای در نیازهای بالینی مورد استفاده قرار می گیرد. این تکنیک عمدتاً در دنیای تحقیق آغاز شد و هم اکنون بطور گسترده برای ترسیم فعالیت‌های مغزی برانگیخته شده از برخی محرک‌ها یا تکالیف (حسی، حرکتی، شناختی و عاطفی) در افراد سالم و بیمار مورد استفاده قرار می‌گیرد. اخیراً، علاوه بر ارزیابی آسیب دیدگی‌های مغزی مانند استروک و تومورهای مغزی این روش برای بررسی اختلالات روانی-رفتاری عصبی از قبیل آلزایمر، اسکیزوفرنی، افسردگی و صرع تکامل یافته است. بطور اختصاصی، نقشه برداری قبل از عمل جراحی تومورهای مغزی، یکی از پر کاربردترین استفاده‌های بالینی fMRI است که در فصل ۹ بطور جداگانه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. از آنجا که توالی پالس مورد نیاز در اکثر اسکنرهای جدید MR موجود است این تکنیک امروزه بسیار محبوب شده است.

۱-۳ تنوع فرضیه در طراحی یک آزمون عملکردی مغزی-عصبی

سه نوع سوال اساسی در استنتاج نتایج تصویربرداری عملکردی ممکن است مورد نظر قرار گیرد و طبیعتاً طراحی و اجرای روشهای تجربی باید بر این اساس صورت پذیرد. از آنجایی که هر آزمایش عملکردی باید به طریقی طراحی گردد تا الگوی متفاوتی از رابطه بین مغز و رفتار را مورد بررسی قرار دهند، هر آزمایش باید فرضیه متفاوتی را برای یک استنتاج معتبر در بر داشته باشد. به طور کلی، قرار دادن یک مطالعه در یک رده استنباطی خاص می‌تواند به سازماندهی تفکر آزمون گر و نتیجه‌گیری نهایی وی در مورد فرضیاتی که تحت آزمایش هستند کمک کند.

متداول‌ترین سوال در یک آزمون تصویربرداری عملکردی مغز، درک وابستگی‌های آناتومیکی-عملکردی

یک عمل ذهنی در مغز است و پاسخ به این سوال که محل و کانون یک عملکرد عصبی در مغز کجاست. به عنوان مثال، آیا روند شناختی "حافظه کاری" فعالیت عصبی را در لوب فرونتال یا جایی دیگر برانگیخته است؟ واضح است که این نوع آزمایش نیاز به راهی برای تحریک و فعال‌سازی یک حس یا رفتار روانی خاص را دارد تا عملکرد ذهنی مورد علاقه را از دیگر فرآیندهای موجود در مغز جدا کند. نکته جالب توجه این است که وجود یک ضایعه در یک ناحیه از مغز همیشه باعث نمی‌شود که عمل ذهنی مختص آن ناحیه مختل شود کمااینکه توانایی فرد در انجام آن عمل ذهنی هم در این شرایط ممکن است اختلال خاصی را نشان ندهد. این امر به این دلیل است که ممکن است نواحی مختلفی مربوط به یک فعالیت در مغز وجود داشته باشد که هرکدام از آنها بطور موازی کار کنند و یا برخی از آنها بعنوان "پشتیبان" برخی دیگر باشند تا در موارد ضروری جایگزین فعالیت مورد علاقه شوند.

طراحی یک استنتاج معکوس با روش فوق جهت متفاوتی از رابطه بین مغز و رفتار را بررسی می‌کند و به این سوال پاسخ می‌دهد که نتایج یک آزمون مشخص چه پروسه عملکردی شناختی را فعال می‌کند؟ در این نوع آزمایش، سعی بر این است تا در مورد همبستگی‌های عصبی و حالات ذهنی خاص، دانش به دست آورد و در نتیجه اطلاعاتی راجع به یک رفتار ناقص و یا مختل در مغز انسان درک شود. این نوع شناخت با این فرضیه شروع می‌شود که فعالیت عصبی در یک ناحیه خاص از مغز، نشانگر وجود یک وضعیت ذهنی خاص است و اختصاص به آن ناحیه دارد.

پیچیده‌ترین سوال یک آزمون عملکردی مربوط به درک ارتباطات عصبی بین نواحی مختلف در گیر در یک فعالیت مغزی یا عمل ذهنی است. درک این اطلاعات باعث تفسیر سیر انتقال محرک‌های عصبی در مغز می‌شود و امکان استنتاج مکانیزم‌های عصبی روانی را فراهم می‌نماید. در روش‌های موسوم به ارزیابی ارتباطات عملکردی (connectivity fMRI) نه تنها وزن و چگونگی ارتباط نواحی مختلف درگیر در یک فعالیت ذهنی قابل تعیین است، بلکه رابطه سببی و علیتی بین نواحی قابل ارزیابی است. امروزه نشان داده شده است نواحی بسیار زیادی در کل مغز در انجام یک عملکرد مغزی دخیل هستند و بدین جهت بررسی شبکه ارتباطات عصبی، جایگزین ارتباطات محدود بین ناحیه‌ای شده است.

امروزه محققین به این نتیجه رسیده‌اند که ارتباطات عصبی و حتی شبکه‌های گسترده عصبی حاصل از یک عمل ذهنی در طول زمان ثابت نمی‌ماند و بصورت دینامیک تغییر می‌کند. ارتباطات دینامیک به این مفهوم است که هر ساختار شبکه‌ای منتج از یک فعالیت خاص، در طول زمان و بر اساس مداخلات ناخواسته روحی-عصبی و یا زمینه‌های ذهنی فرد عملگر، تغییر می‌کند. در این حالت یک نوع آنالیز عملکردی ارتباطات دینامیکی باید مدنظر قرار گیرد تا تغییرات ناشی از مداخلات را که ممکن است در برخی موارد کاملا وابسته به شخص (فردی) باشد را آشکار نماید.

۱-۴ ساختارهای زمانی مختلف در روش BOLD fMRI

روش BOLD fMRI به طور کلی شامل چندین شرایط آزمون از قبیل دوره‌های "آزمایش یا فعالیت" و "کنترل یا استراحت" و روشهای متفاوتی برای ترتیب ارائه آنها به آزمون گیرنده است. ترتیب ارائه آزمون با سه الگوی متفاوت بلوک (Block)، مرتبط به رویداد (Event Related) و یا استراحت (Rest) انجام می‌شود. در این ارتباط، طرح‌های بلوک و مرتبط-به-رویداد به چگونگی تنظیم دوره‌های استراحت در بین دوره‌های تحریک (فعالیت) اختصاص دارد. به طریقی که یک تحریک عملکردی در الگوی بلوک بصورت پشت سرهم، در یک دوره زمانی چند ده ثانیه ای، تکرار می‌شود ولی در الگوی رویدادی، تحریک‌ها به شکل منفرد و جدا ازهم صورت می‌پذیرد. به عنوان مثال، یک بلوک خاص ممکن است مجموعه‌ای از چهره‌ها را به آزمون دهنده ارائه دهد که به صورت ناخودآگاه درک شوند و یا توالی از کلماتی که باید تعمداً به خاطر سپرده شوند. در هر دو نوع آزمون، دوره‌های زمانی استراحت در بین دوره‌های فعالیت تعبیه می‌شود.

نوع سوم ارزیابی فعالیت‌های مغزی در حالت استراحت انسان صورت می‌پذیرد و با هدف بررسی فعالیت‌های زمینه‌ای و ناخودآگاه مغز درحالت استراحت انجام می‌شود. در این روش مولفه‌های مربوط به فعالیت‌های مختلف و همزمان مغز در حالتی که آزمون دهنده در حالت استراحت است تصویربرداری می‌شود. لازم به ذکر است که تصویربرداری MRI مغز بصورت دینامیک در طول تمام دوره‌های متناوب فعالیت و استراحت باید انجام شود تا تغییرات افزایش سیگنال حاصل از اکسیژن در نواحی فعال شده قابل ارزیابی باشد.