

فصل ۱۰ ایمنی MRI

تاکنون، هیچ آثار زیستی نامطلوب بلند مدت در MRI دیده نشده است. با این حال، در بررسی مؤلفه‌های جداگانه فرآیند تصویربرداری تشدید مغناطیسی، چندین اثر برگشت‌پذیر از میدان‌های مغناطیسی، گرادیانی و فرکانس رادیویی را می‌توان مشاهده کرد. بیشتر تحقیقات در زمینه ایمنی MRI در USA انجام شده است، جایی که خاستگاه بیشتر مقالات در زمینه ایمنی است. در فوریه ۱۹۸۲ اداره دارو و غذا (FDA) دستورالعملی را برای هیئت‌های تحقیقاتی بازرگاری (IRB) بیمارستان‌ها منتشر کرد به نام «دستورالعمل‌ها برای ارزیابی ریسک‌های تابش‌گیری الکترومغناطیسی در آزمون‌های NMR بالینی». بعد از این بود که ارزیابی ریسک‌ها و خطرات بالقوه پی‌گیری شد. برای بحث در مورد آثار بلندمدت زیستی MRI، تمام مؤلفه‌های فرآیند تصویربرداری را باید در نظر گرفت. این عناصر شامل:

میدان مغناطیسی اصلی (همچنین معروف به میدان مغناطیسی اولیه یا ثابت B_0).

میدان‌های مغناطیسی متغییر با زمان (گرادیان‌های میدان مغناطیسی)

میدان‌های رادیوفرکانس (ایجاد شده توسط کویل‌های RF. معروف به میدان‌های دوم یا B_1).

تمام بیماران و پرسنل باید پیش از ورود به اتاق اسکن غربال شوند. کمیته بین‌المللی ایمنی MR (IMRSE) نیز توصیه می‌کند که این غربالگری توسط «متخصصان آموزش دیده» انجام شود و اینکه هر فرد باید بیش از یکبار غربال شود (یکبار با تکمیل کردن یک فرم غربالگری و حداقل یکبار با مصاحبه شفاهی). انجمن بین‌المللی تشدید مغناطیسی در پزشکی (ISMRM)، و موسسه ایمنی، آموزش و تحقیقات تشدید مغناطیسی (IMRSE) یک فرم غربالگری را منتشر کرده‌اند که باید به عنوان یک دستورالعمل برای غربالگری تمام افرادی که وارد مکان MR می‌شوند استفاده گردد. این فرم غربالگری را به راحتی می‌توان از www.mrisafety.com تهیه کرد. توصیه می‌شود این فرم به همان شکلی که هست استفاده شود، و تغییری داده نشود.

میدان مغناطیسی اصلی

میدان مغناطیسی اصلی مسئول هم راستا کردن هسته‌ها است. در الکترومگنت‌های سلونوئیدی، این میدان معمولاً افقی است، در حالی که در مگنت‌های دائمی میدان به طور کلی عمودی است (شکل ۱-۱۰). این یک میدان ثابت یا بدون تغییر است. حد FDA برای شدت میدان مغناطیسی ثابت در تصویربرداری بالینی ۲T بود. از ژولای ۲۰۰۴، این حد برای کودکان و نوزادان تا بالای یکماه به ۱T، و برای اطفال و بزرگسالان به ۸T افزایش پیدا کرده است. شدت‌های میدان بالاتر برای تحقیقات مجاز می‌باشد.

آثار زیستی میدان مغناطیسی ثابت

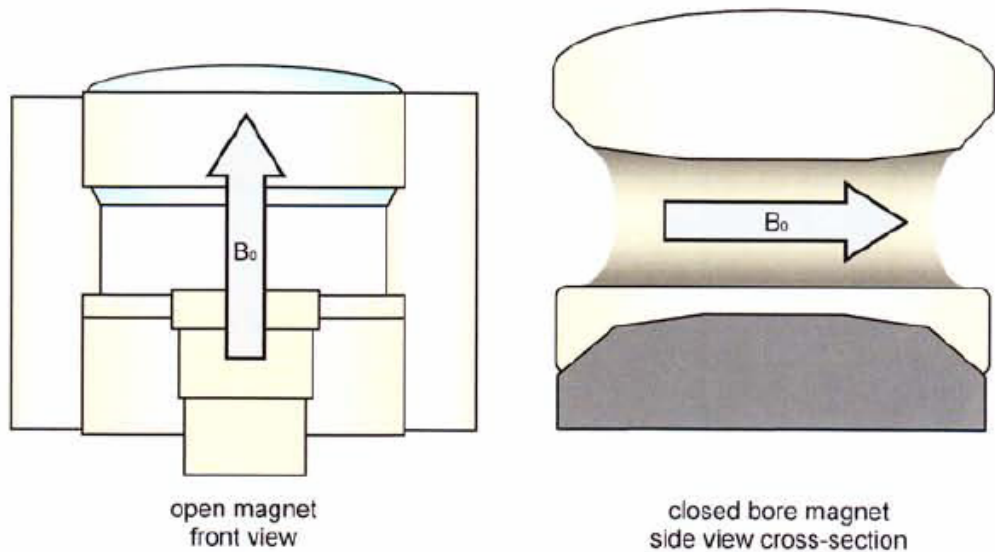
ملاحظه اولیه در میدان مغناطیسی ثابت امکان آثار زیستی بالقوه می‌باشد. در طبیعت، میدان مغناطیسی زمین اثر قابل ملاحظه‌ای روی شکل‌های پایین‌تر حیات دارد. جهت‌گیری باکتری‌های مگنتو-استاتیک و الگوهای مهاجرت پرندگان تحت تأثیر میدان مغناطیسی ۰/۶T که کره زمین را احاطه کرده است قرار می‌گیرد. در MR، پتانسیل‌های الکتریکی کوچک در عروق خونی بزرگ که

عمود بر میدان مغناطیسی ثابت جریان دارند ایجاد می‌کند. اگرچه، حتی در 1.0T ، هیچ آثار نامطلوبی در ECG میمون‌ها دیده نشده است. بیشتر مطالعات هیچ اثری را روی رشد و مورفولوژی سلول‌ها در شدت‌های میدان کمتر از 2T نشان نمی‌دهند. داده‌های جمع‌آوری شده توسط انیستیتو ملی برای مطالعات شغلی، سازمان بهداشت جهانی و دپارتمان ایالتی US، مدارکی دال بر لوسمی یا دیگر بدخیمی‌ها نشان نمی‌دهد. اگرچه، ژورنال پزشکی نیوانگلند افزایشی را در لوسمی انسان‌هایی که در ایالت واشنگتن در معرض میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی بوده‌اند، از ۱۹۵۰ تا ۱۹۷۹ گزارش کرد. در این موارد میدان‌های الکترومغناطیسی توسط جریان‌های متناوب تولید شده بودند، که به میدان‌های مغناطیسی متغیر منجر می‌شود. اگرچه، آثار مشابهی در نیویورک در ۱۹۸۷ یافت شد، هیچ مدرکی از آثار مضر در افرادی که با شتاب‌دهنده‌های خطی کار می‌کنند و در معرض میدان‌های مغناطیسی ثابت می‌باشند یافت نشده است. گزارشات اندک از سرطانزایی بالقوه مورد توافق همگان نیست، چون بسیاری از روش‌های مطالعاتی مورد انتقاد می‌باشد.

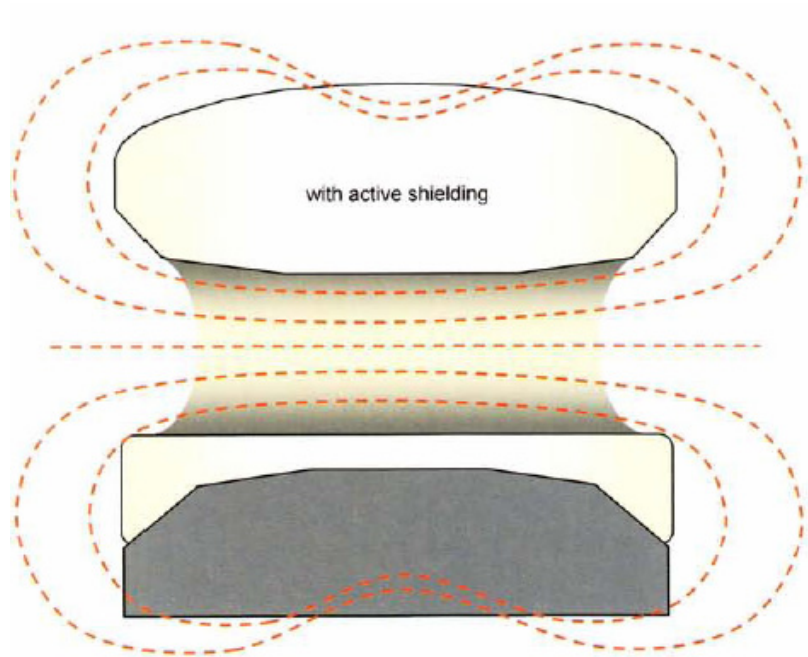
میدان‌های حاشیه‌ای

این میدان مغناطیسی منحرف به خارج از تونل مگنت به میدان حاشیه‌ای (fringe field) معروف است (شکل ۲-۱۰). این را به عنوان یک ملاحظه درجه دو در نظر می‌گیرند، اما می‌تواند یک اثر مرگ‌آور میدان مغناطیسی اصلی باشد. خطرات میدان‌های حاشیه‌ای همراه با محل نصب سیستم‌های MR است. میدان مغناطیسی ثابت به دیوارها، کف‌ها یا سقف‌های معمولی محدود نمی‌شود.

حفاظت عامه مردم از میدان حاشیه‌ای. توصیه می‌شود که برای عامه مردم (اشخاصی که برای آثار میدان مغناطیسی غربالگری نشده‌اند) حد شدت میدان مغناطیسی 5G یا کمتر باشد. به این دلیل، بسیاری از تسهیلات تصویربرداری مناسب هستند. چون نواحی عمومی زیر این شدت قرار دارند، و نواحی بالاتر یا غیرقابل دسترس هستند یا به وضوح با علائم مشخص شده‌اند. از زمان معرفی تصویربرداری MR، حوادث خطرناک و مرگباری در محیط MR رخ داده است. به این دلیل، کمیته بین‌المللی ایمنی MR توصیه‌هایی را برای یک «ناحیه گرم» نزدیک ورودی اتاق اسکن منتشر کرده است، «ناحیه گرم» ناحیه‌ای نزدیک به ورودی اتاق اسکن، به طور کلی اتاق کنسول اسکنر، است. «ناحیه داغ» خود اتاق اسکن است (شکل ۳-۱۰). افراد عادی نمی‌توانند ناآگاهانه وارد این ناحیه و سپس اتفاقی وارد اتاق اسکن شوند.



شکل ۱۰-۱ جهات میدان ثابت در یک سیستم دائمی و ابرسانا.



شکل ۲-۱۰ میدان حاشیه‌ای.

شکل ۳-۱۰ ناحیه‌های داغ و گرم. «ناحیه داغ» (hot zone) داخل اتاق اسکن است. علائم واضح روی دیوار و پادری کف اتاق نشان می‌دهد که مگنت همیشه روشن است. «ناحیه گرم» (warm zone) ناحیه قبل از اتاق اسکن است که توسط یک در قفل‌دار حفاظت می‌شود.



میدان‌های ثابت زیر ۲T

اگرچه در شدت میدان‌های زیر ۲T هیچ آثار زیستی در انسان‌ها مشاهده نشده است، آثار برگشت‌پذیر در ECG در این شدت‌های میدان دیده شده است. یک افزایش در دامنه موج T به دلیل اثر magneto-hemodynamic روی ECG دیده می‌شود.

این اثر هنگامی ایجاد می‌شود که مایعی رسانا نظیر خون در یک میدان مغناطیسی حرکت می‌کند. این اثر متناسب با شدت میدان است. علیرغم این اثر، در بیمارانی که تحت MR قرار می‌گیرند هیچ آثار جدی قلبی عروقی مشاهده نشده است. این اثر همودینامیک برگشت‌پذیر است چون وقتی بیمار از مگنت خارج می‌شود نوار ECG به حالت نرمال بر می‌گردد. با این حال، اثر مگتوهیدرودینامیک مغناطیسی به هنگام تصویربرداری دریاچه‌دار از قلب در میدان‌های بالا می‌تواند مشکل‌آفرین باشد. این اثر سبب می‌شود که راه‌اندازی بجای موج R با موج T انجام شود و کیفیت تصویربرداری در نتیجه دریاچه‌گذاری نادرست قلبی خراب می‌شود (فصل ۸ را ببینید). به این دلیل، بسیاری سازندگان سیستم‌های ECG را که برای دریاچه‌گذاری استفاده می‌شود اصلاح کرده‌اند تا این اثر کاهش یابد. به این دلیل است که توصیه می‌شود از لیدهای ECG برای پایش قلب بیمار استفاده نشود. برای پایش بیماران از تجهیزات اختصاصی باید استفاده کرد، برای مثال پالس اکسیمتری.

میدان‌های ثابت بالاتر از ۲T

در میدان‌های ثابت ۲T و بالاتر برخی آثار زیستی برگشت‌پذیر در انسان مشاهده شده است. این آثار شامل خستگی، سردرد، افت فشار خون و تحریک‌پذیری می‌باشد. یک مسئله بالقوه دیگر در این شدت‌های میدان بالاتر اثر برهم‌کنش مغناطیسی انرژی و جهت‌گیری سلول است. مولکول‌های خاصی (نظیر DNA) و زیرواحدهای سلولی (نظیر سلول‌های قرمز داسی‌شکل) دارای خصوصیات مغناطیسی هستند که با جهت تغییر می‌کند. این اثر زیستی در یک شدت میدان ۲T اهمیت دارد، چون نیروی چرخاننده یا گشتاور روی این مولکول‌ها وارد می‌شود.

تصویربرداری در میدان‌های فوق‌العاده بالا (Ultra-high)

بیشتر تصویربرداری MR در شدت‌های میدان ۱/۵ و پایین‌تر به دست آمده است. امروزه توزیع سیستم‌های تصویربرداری با میدان فوق‌العاده بالا (۳T و بالاتر) افزایش یافته است. بسیاری از این سیستم‌ها برای SNR بهتر به کار می‌روند. وقتی شدت میدان افزایش می‌یابد، نسبت سیگنال به نویز افزایش می‌یابد. SNR به طور خطی با شدت میدان متناسب است. وقتی شدت میدان دو برابر شود، SNR دو برابر می‌شود.

چند ملاحظه ایمنی در شدت‌های میدان بالاتر از ۱/۵T وجود دارد. این ملاحظات ایمنی عبارتند از:

افزایش انرژی RF (SAR) در شدت‌های میدان بالاتر

فقدان پژوهش و آزمون (روی ایمپلنت‌ها و وسایل) در شدت‌های میدان بالاتر

فقدان نسبی تجربه بالینی (روی انسان و یا حیوانات) در این شدت‌های میدان

به این دلایل، خردمندانه است تا از تصویربرداری (در چنین وضعیت‌هایی نظیر حاملگی و یا ایمپلنت‌ها که احتمالاً منع کاربرد دارد) در این شدت‌های میدان فوق‌العاده بالا خودداری شود تا زمانی که پژوهش بیشتر انجام گیرد یا تجربیات بالینی بیشتری به دست آید.

بیماران حامله

تاکنون، آثار زیستی شناخته شده‌ای از MRI روی جنین دیده نشده است. با این حال، تعداد زیادی مکانیسم بالقوه می‌تواند سبب آثار زیانبار در نتیجه برهم‌کنش میدان‌های الکترومغناطیسی با جنین در حال نمو شود. سلول‌های در حال تقسیم، که در سه ماهه اول حاملگی رخ می‌دهند، به این آثار بسیار حساس‌تر هستند
توصیه اخیر FDA بیان می‌دارد که:

«اگر اطلاعات به دست آمده از MR بتواند جایگزینی برای یک آزمون تهاجمی‌تر باشد، MRI قابل قبول است.»

به طور کلی به دلیل ریسک بالای بالقوه در بیماران حامله، بسیاری از مراکز ترجیح می‌دهند هر آزمون از خانم‌های حامله را تا پایان سه ماهه اول به تأخیر اندازند و سپس یک فرم رضایت‌نامه مکتوب امضاء شده پیش از آزمون از بیمار بگیرند. به علاوه کالج آمریکایی مامایی و زنان توصیه می‌کند بیماران حامله باید بطور مودی بررسی شوند. کمیته ایمنی تصویربرداری تشدید مغناطیسی پیشنهاد می‌کند که: «بیماران حامله یا آنها که مشکوک به حاملگی هستند باید پیش از MRI شناسایی شوند تا نسبت منفعت به ریسک این آزمون‌ها ارزیابی شود.»

به دلیل کنتراست عالی بافت نرم و تفکیک بالای تصاویر MR به همراه ریسک پایین، MRI در بسیاری از موارد عمومیت بیشتری یافته است. در مواردی که دیگر آزمون‌های تشخیصی غیر یونیزان (نظیر آلتراسوند) کفایت نمی‌کند، و شک به ناهنجاری جنین و مادر وجود دارد می‌توان از MR استفاده کرد. برای ارزیابی جنین، جفت، رحم، لوله‌های فالوپ (برای پیچ‌خوردگی torsion)، گردن رحم و دیگر ساختارهای لگن مونث می‌توان از دنباله‌های single shot FSE استفاده کرد. MRI از جنین آسیب‌هایی را در جنین تشخیص داده، و اجازه می‌دهد جراحی در رحم (in utero) (پیش از تولد نوزاد) انجام شود و امکان می‌دهد بچه سالم به دنیا بیاید.

در انگلستان، دستورالعمل‌های هیئت ملی حفاظت پرتو شناختی (NRPB) بیان می‌دارد که: «مصلحت آن است که در سه ماهه اول حاملگی از انجام MRI خودداری شود». اگرچه، از ۱۹۸۳ جنین‌های زیادی تحت MRI قرار گرفته‌اند که هیچ‌گونه ناهنجاری در هنگام تولد یا چهار سال بعد از تولد در آنها دیده نشده است. بیشتر تصویربرداری‌ها، از شدت میدان‌های ۱/۵T یا پایین‌تر استفاده کرده‌اند. توزیع سیستم‌های تصویربرداری با میدان فوق‌العاده بالا (۳T و بالاتر) افزایش پیدا کرده است. به دلایل ایمنی بسیار - از جمله ریسک در حاملگی - پژوهش‌های اندکی روی انسان یا حیوانات در این شدت میدان انجام شده است.
به این دلیل، خردمندانه است تا از تصویربرداری خانم‌های حامله در میدان فوق‌العاده بالا خودداری شود تا آنکه پژوهش‌ها یا تجربیات بالینی بیشتری به دست آید.

در حال حاضر بهتر است از تزریق گادولینیوم در خانم‌های حامله به هنگام آزمون MRI خودداری شود. مطالعات انجام شده در بابون‌های حامله نشان داده است که گادولینیوم از جفت عبور می‌کند و وارد مایع آمینوتیک می‌شود. در این حالت، گادولینیوم درون مایع توسط جنین خورده شده و از دستگاه ادراری دفع و مجدداً خورده می‌شود. چون داده‌های پژوهشی در مورد ایمنی کیلات‌های گادولینیوم (gadolinium chelates) و توانایی سالم ماندن آنها (باقی ماندن مولکول گادولینیوم در ترکیب با کیلات‌ها) کافی نیست مصلحت آن است که از تزریق کیلات‌های گادولینیوم در بیماران حامله خودداری شود. اگر چه تصویربرداری از جنین رایج‌تر شده است، باز هم توصیه می‌شود از گادولینیوم در بیماران حامله استفاده نشود.

کارکنان حامله

مراکز MRI برای حضور کارکنان حامله در محیط تشدید مغناطیسی دستورالعمل‌های خودشان را دارند. کمیته ایمنی ISMRM تعیین کرده که کارکنان حامله می‌توانند با امنیت وارد اتاق اسکن شوند، اما هنگام بکارگیری میدان‌های RF و گرادیانی (در حین مدتی

که اسکنر کار می‌کند) باید اتاق را ترک کنند. برخی مراکز، با این حال، توصیه می‌کنند که کارکنان در سه ماهه اول حاملگی به‌طور کلی در خارج از میدان مغناطیسی باشند.

یک بررسی نشان می‌دهد شیوع سقط خود به خود در بین نرس‌ها و رادیوگراف‌های MR افزایش ندارد (شیوع طبیعی سقط خود به خود در حدود ۳۰٪ است). به دنبال این بررسی، واحدی که این مطالعه در آن انجام شده است سیاست داخلی خود را از اینکه پرتوکاران در حین حاملگی دور از میدان مغناطیسی باشند به این سیاست تغییر داده است که رادیوگراف‌ها یا تکنولوژیست‌های حامله مجاز به قرار دادن و تنظیم بیمار هستند، اما در حین دستیابی تصویر نمی‌توانند در اتاق باقی بمانند.

پیشنهاد شده است که کارکنان آگاه باشند و خودشان تصمیم بگیرند. در آمریکا، این پیشنهاد یک حکم قانونی در مورد حقوق کارکنان حامله در محیط‌های خطرناک است. هر فرد باید خودش تصمیم بگیرد که در واحد بماند یا، در صورت امکان به دپارتمان رادیولوژی مجاور برود. با این حال، ترک کردن یک محیطی که احتمالاً ایمن است و رفتن به جایی که می‌دانیم خطرناک است نابخردانه است! این پیشنهادات ممکن است تغییر کند چون استفاده از سیستم‌های فوق‌العاده بالا رو به افزایش است.

پرتابه‌ها

اشیاء فلزی فرومغناطیسی در حضور یک میدان ثابت مغناطیسی قوی می‌تواند به طرف مگنت پرتاب شود. اشیاء کوچک، نظیر گیره‌های کاغذ و سنجاک سر، وقتی در یک مگنت $1/5T$ جذب می‌شوند به سرعت نهایی 40mph می‌رسند، و یک خطر جدی برای بیمار و هر شخص دیگر در اتاق اسکن می‌باشد. نیرویی که با آن پرتابه‌ها به طرف میدان مغناطیسی کشیده می‌شوند متناسب است با شدت میدان مغناطیسی، جرم شیء و فاصله از مگنت. ابزار جراحی نظیر هموستات‌ها، قیچی و کلامپ، که از موادی به نام «فولاد ضد زنگ جراحی» ساخته می‌شوند، به شدت جذب میدان مغناطیسی می‌شوند (شکل ۴-۱۰).

مخازن اکسیژن به شدت مغناطیسی هستند و هرگز نباید به اتاق اسکن آورده شوند. اما، مخازن غیرآهنی اکسیژن قابل دسترس است که ایمن می‌باشد. کیسه‌های شن نیز باید بررسی شوند چون برخی از آن‌ها با شن پر نشده اند بلکه با ساچمه‌های فولادی پر شده‌اند، که به شدت مغناطیسی هستند.

توصیه می‌شود که تمام اشیاء پیش از آورده شدن به اتاق اسکن توسط یک آهن‌ربای میله‌ای دستی کنترل شوند. به علاوه، توصیه می‌شود که تمام پرستاران، نظافتچی‌ها، واحد آتش‌نشانی، بخش فوریت‌ها و پرسنل MR در مورد آسیب‌ها خطرات بالقوه میدان مغناطیسی ثابت آموزش ببینند. علائم باید در تمام ورودی‌ها به میدان مغناطیسی (از جمله میدان حاشیه‌ای) نصب شود تا از ورود به اتاق اسکن با اجسام فرومغناطیسی جلوگیری شود. آشکارکننده‌های فلزی قابل دسترس هستند، اما در برخی موارد ممکن است یک احساس امنیت کاذب ایجاد کند. به این دلیل، اکثر مراکز عامه مردم را کاملاً پشت خط $5G$ نگه می‌دارند.

فوریت‌های پزشکی

همانند هر واحد پزشکی، بخش MR باید به وسایل و داروهای فوریت‌های پزشکی مجهز باشد. بسیاری از این وسایل می‌تواند به طور باورنکردنی در یک محیط MR خطرناک باشد. به این دلیل، در هر وضعیت بحرانی، توصیه می‌شود که پیش از شروع احیاء بیمار را به سرعت از میدان مغناطیسی خارج کنیم.



شکل ۴-۱۰ قدرت کشیدن قیچی فولادی توسط مگنت.

ایمپلنت‌ها و پروتزها

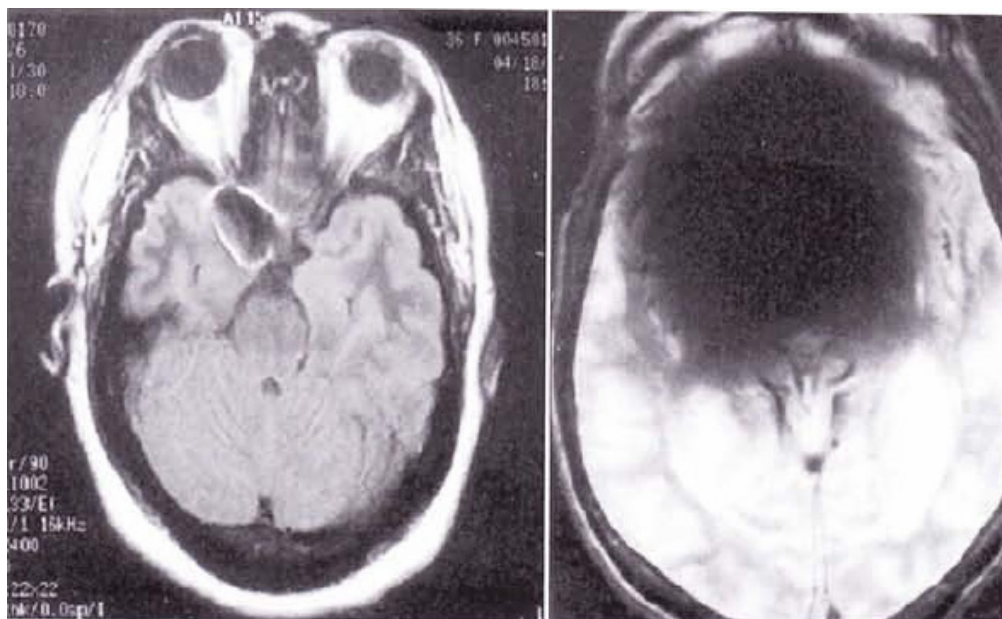
ایمپلنت‌های فلزی آثار جدی خطرناکی را مطرح می‌کنند، که شامل گشتاور، گرما و آرتیفکت‌هایی روی تصاویر MR است. پیش از تصویربرداری MR از بیمار، هر نوع روش جراحی که بیمار قبلاً انجام داده است باید مشخص گردد. برای یک فهرست کامل از ایمپلنت‌ها و پروتزهای سازگار با MR به کتاب *Magnetic Resonance Bioeffects, safety and patient management* نوشته *Kanal* و *Shellock* مراجعه کنید. برای یک فهرست روزآمدتر از ایمپلنت‌ها و وسایل، صفحه وب ایمنی MRI در www.mrisafety.com را ببینید.

همچنین مهم است بدانیم که اگر یک ایمپلنت در یک شدت میدان معین آزمایش شده باشد و ایمن به نظر آید، فقط می‌تواند در آن شدت میدان یا کمتر از آن تصویربرداری شود. برای مثال، اگر وسیله‌ای در $1/5T$ آزمایش شده باشد آنگاه فقط می‌تواند در $1/5T$ و کمتر استفاده شود، اما نه در $2T$ یا $3T$. چون شدت‌های میدان در حال افزایش است (تا $3T$ و بالاتر) وسایل ایمپلنت ممکن است در این شدت‌های میدان آزمایش نشده باشد.

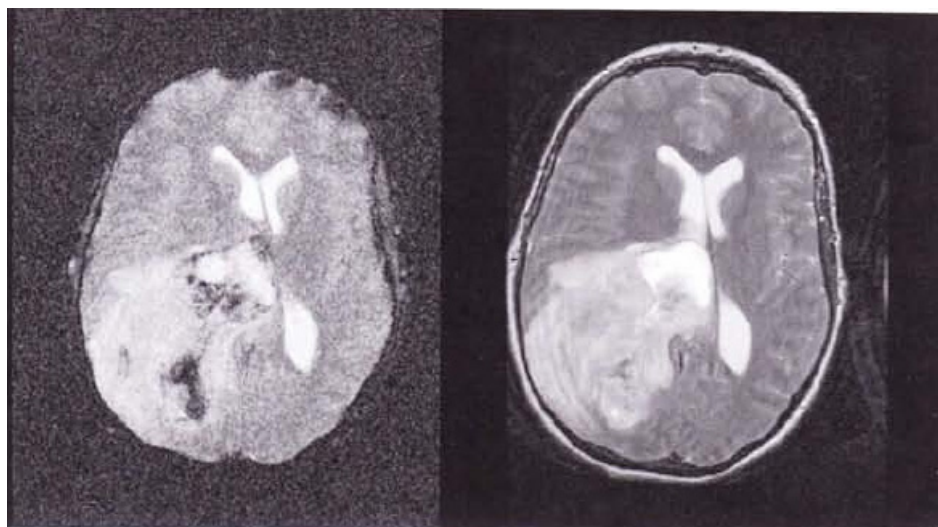
گشتاور و گرما

برخی ایمپلنت‌های فلزی هنگامی که در یک میدان مغناطیسی قرارگیرند گشتاور قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهند. این نیرو یا گشتاور اعمال شده روی ایمپلنت‌های فلزی کوچک یا بزرگ می‌تواند غیرقابل پیش‌بینی درون بدن حرکت کند. نوع فلز به کار رفته در ایمپلنت‌ها یکی از عوامل تعیین کننده نیروی اعمال شده روی آنها در میدان‌های مغناطیسی است. در حالی که ایمپلنت‌های غیر فرومغناطیسی ممکن است در میدان حرکتی را نشان ندهند، اما ممکن است سبب گرم شدن قابل ملاحظه شوند، که به دلیل عدم توانایی اتلاف گرمای ایجاد شده در جذب فرکانس رادیویی است. اگرچه، آزمون‌های گرمایی افزایش دمایی قابل ملاحظه‌ای را در ایمپلنت‌ها نشان نداده است.

شکل ۱۰-۵ تصاویر آکسیال از مغز در بیماری با یک کلیپ عروقی ایتراکرانیال دستیابی شده با دنباله‌های اسپین اکو (چپ) و گرادیان اکو (راست). آرتیفکت قابلیت پذیرش در تصویرگرادیان اکو بزرگتر است.



شکل ۱۰-۶ تصاویر آکسیال T_2^* (چپ) و T_2 (راست) از بیماری با یک آسیب. توجه کنید که آسیب مؤلفه‌های هموراژیک دارد که در دستیابی گرادیان اکو (چپ) معلوم است و در دستیابی اسپین اکوی سریع FSE (راست) معلوم نیست (هرچند FSE کیفیت تصویری بالاتری دارد).



آرتیفکت‌های ناشی از ایمپلنت‌های فلزی

اگرچه آرتیفکت‌ها را نمی‌توان به عنوان یک اثر زیستی فرآیند MR در نظر گرفت، تفسیر نادرست تصاویر MR پیامدهای ناگواری دارد. اندازه ایمپلنت فلزی، و نوع فلز (فرومغناطیسی کمتر یا بیشتر)، دنباله پالس (اسپین‌اکو یا گرادیان اکو) و برخی پارامترهای تصویربرداری مورد استفاده (شدت میدان، TE و اندازه واگسل - FOV، ماتریس، ضخامت) ابعاد آرتیفکت نشان داده شده در تصویر MR را تعیین می‌کند. توجه کنید که آرتیفکت روی تصویر شکل ۱۰-۵ در سمت راست بزرگتر از آرتیفکت سمت

چپ تصویر است، اگرچه گیره (کلیپ) آنورسیم در هر دو بیمار به یک اندازه است. در این مورد، آرتیفکت بزرگتر به دلیل آن است که قابلیت پذیرش کلیپ در سمت راست بیشتر از کلیپ سمت چپ است (فصل ۷ را ببینید).

در برخی موارد، اگر آرتیفکت فلزی مشاهده شود و فلزی در بیمار وجود نداشته باشد، می‌تواند نشان‌دهنده حضور محصولات خونی باشد که پیشنهادی بر آسیب‌های خونریزی‌دهنده است. خصوصیات فرومغناطیسی آهن در خون ممکن است افت و خیزهایی در میدان مغناطیسی لوکال نزدیک آسیب ایجاد کند. این افت و خیزها «آرتیفکت‌های فلزی» یا «آرتیفکت‌های قابلیت پذیرش» در نواحی هموراژ ایجاد می‌کنند. در دستیابی FSE، پالس‌های 180° ناهمگنی‌های لوکال ایجاد شده توسط مواد فرومغناطیسی (آهن) خون را جبران می‌کند، در حالی که دنباله گرادیان اکو از پالس ری‌فازینگ 180° استفاده نمی‌کند، و از این رو آثار قابلیت پذیرش در تصویر را جبران نمی‌کند (شکل ۶-۱۰).

گیره‌های عروقی اینتراکرنیال

برخی گیره‌های آنورسیم اینتراکرنیال منع کاربرد مطلق در MRI دارند. حرکت گیره می‌تواند به رگ صدمه زده، به هموراژ، ایسکمی یا مرگ منجر شود. گیره‌های اینتراکرنیال ساخته شده از تیتانیوم مورد استفاده قرار گرفته‌اند و ثابت شده در MR ایمن هستند. متأسفانه چندین مورد بوده است که یک گیره یا «سازگار با MR» بوده یا تصور می‌شده چنین است و در حین اسکن MR گیره حرکت کرده به مرگ منجر شده است. بنابراین ISMRM توصیه می‌کند که تصویربرداری از بیمارانی با گیره‌های آنورسیم انجام نگیرد مگر آنکه گیره را پیش از جایگذاری از نظر ایمنی مغناطیسی آزمایش کرده باشند. IMRSEER توصیه می‌کند که تصویربرداری MR در بیمارانی با گیره‌های اینتراکرنیال نا ایمن است مگر آنکه گیره «معلوم باشد ایمن است».

کویل‌های درون عروقی، فیلترها و استنت‌ها

پانزده وسیله درون عروقی آزمایش شده و ثابت شده پنج‌تای آنها فرومغناطیسی است. اگرچه آنها خمیدگی در میان مغناطیسی را نشان داده‌اند، این وسایل معمولاً بعد از چند هفته به درون دیوار عروق فرو می‌روند، و احتمال نمی‌رود که خارج شوند. بنابراین انجام تصویربرداری MR در بیشتر بیمارانی با وسایل درون عروقی ایمن است، به شرط آنکه بعد از جایگذاری یک دوره زمانی معقولی سپری شده باشد.

گیره‌های عروقی اکستراکرنیال

پنج گیره عروقی شریان کاروتید آزمایش شده است، و هرکدام در میدان مغناطیسی خم شدگی را نشان دادند. اگرچه، این خم‌شدگی هنگامی که با حرکت ضربان دار عروقی درون کاروتید مقایسه می‌شود خفیف است. گیره‌های اکستراکرنیال بعد از جراحی توسط بافت فیبروز یا اسکار محاصره می‌شود. بسیاری از مراکز توصیه می‌کنند که MRI تا ۶-۴ هفته بعد از جراحی به تأخیر انداخته شود اما، در یک وضعیت اورژانس، احتمالاً می‌توان تصویربرداری را زودتر انجام داد و همه مطالعات باید بر مبنای موردی ارزیابی شوند. فقط گیره شریان کاروتید Poppen-Blaylock برای MR منع کاربرد دارد، چون جذب میدان مغناطیسی می‌شود.

پورت‌های دسترسی عروقی

فقط دو تا از ۳۳ پورت دسترسی عروقی که آزمایش شده در میدان مغناطیسی خم‌شدگی قابل اندازه‌گیری نشان می‌دهند. این خم‌شدگی‌ها تصور می‌شود که در کاربرد چنین پورت‌هایی بی‌اهمیت باشد. بنابراین، احتمالاً تصویربرداری از بیمارانی با پورت‌های نصب شده دسترسی عروقی ایمن می‌باشد.

دریچه‌های قلبی

بیست و پنج تا از ۲۹ پروتز دریچه قلب برای قابلیت پذیرش مغناطیسی ارزیابی شده‌اند، و اینها خم‌شدگی ناچیزی در میدان مغناطیسی نشان داده‌اند. این خم‌شدگی در مقایسه با حرکت نرمال ضربان‌دار قلب حداقل است. بنابراین، اگرچه بیماران با اکثر دریچه‌های قلبی ایمن در نظر گرفته می‌شوند، غربالگری دقیق برای نوع دریچه توصیه می‌شود چون دریچه‌هایی وجود دارد که یکپارچگی آنها ممکن است در هم بریزد.

وسایل و مواد دندان‌دانی

شانزده ایمپلنت دندان‌دانی آزمایش شده است و دوازده تا از آنها خمیدگی قابل اندازه‌گیری در میدان مغناطیسی نشان داده‌اند. اگرچه، تصور می‌شود بیشتر آنها برای تصویربرداری MR ایمن هستند. اگرچه اکثر وسایل به طور قابل ملاحظه تحت تأثیر میدان مغناطیسی قرار نمی‌گیرند، آرتیفکت‌های قابلیت پذیرش می‌تواند کیفیت تصاویر MRI را خراب کند، به خصوص در تصویربرداری گرادبان اکو. برخی وسایل دندان‌دانی از نظر مغناطیسی فعال هستند، و بنابراین خطرات بالقوه‌ای را در MRI مطرح می‌کنند.

ایمپلنت‌های آلت تناسلی

فقط یکی از نه ایمپلنت آزمایش شده خم‌شدگی قابل اندازه‌گیری را در میدان مغناطیسی نشان داده است. این ایمپلنت Dacomed omniphosTM، احتمال نمی‌رود سبب آسیب جدی به بیمار شود، اما ممکن است سبب درد و ناراحتی شود، بنابراین روش‌های تصویربرداری جایگزین را می‌توان در نظر گرفت، بیشتر ایمپلنت‌ها امروزه از جنس پلاستیک است.

ایمپلنت‌های شنوایی

هر سه نوع ایمپلنت حلزونی آزمایش شده جذب میدان مغناطیسی شدند و از نظر مغناطیسی یا الکترونیکی فعال هستند. بنابراین برای MRI منع کاربرد مطلق دارند. برخی بیماران با ایمپلنت‌های شنوایی یک کارت دارند که به آنها اخطار می‌دهد از تصویربرداری MR خودداری کنند.

ایمپلنت‌های چشمی

از دوازده ایمپلنت چشمی آزمایش شده، دو تا در یک میدان ثابت مغناطیسی ۱/۵T خمیده شدند. فنر پلک Fation می‌تواند سبب ناراحتی شود و بخیه شبکیه می‌تواند به چشم آسیب بزند چون فرومغناطیسی هستند.

اجسام خارجی فرومغناطیسی داخل چشم

اجسام خارجی فرومغناطیسی داخل چشمی یک عامل اصلی ملاحظات ایمنی در MR است. در بیمارانی که با فلزات کار می‌کنند غیرشایع نیست که تکه‌های فلز یا نقره درون و اطراف چشم قرار داشته باشد. چون میدان مغناطیسی یک نیرو روی اجسام فرومغناطیسی اعمال می‌کند، یک قطعه فلز در چشم می‌تواند حرکت کند یا جابه‌جا شود و سبب آسیب به چشم یا بافت اطراف شود. قطعات ریز درون چشمی ممکن است در یک رادیوگراف استاندارد دیده نشود. اگرچه، یک مطالعه که قطعات فلزی به کوچکی $0.1 \times 0.1 \times 0.1 \text{ mm}$ تا $0.3 \times 0.1 \times 0.1 \text{ mm}$ در چشم‌های حیوانات آزمایشگاهی در یک مگنت ۲T آزمایش شده‌اند نشان می‌دهد که فقط قطعات $0.3 \times 0.1 \times 0.1 \text{ mm}$ حرکت کردند، اما هیچ آسیب قابل تمایز بالینی ایجاد نکردند. بنابراین، اگرچه توموگرافی کامپیوتری در آشکارکردن حضور اجسام خارجی کوچک بسیار حساس‌تر است، رادیوگرافی ساده در غربالگری اجسام خارجی درون چشمی که اندازه کافی برای ایجاد آسیب چشمی را دارند باید کفایت کند.

فرم غربالگری ISMRM از بیمار سؤال می‌کند: «آیا تاکنون فلز به چشم شما وارد شده است؟» این کلمات اشاره می‌کند که اگر حتی یکبار فلز وارد شده باشد و حتی اگر فلز را از چشم شما خارج کرده باشند باز هم باید با پرتونگاری ساده X غربال شود. همچنین توصیه می‌شود که دو نما برای ارزیابی اربیت‌ها به دست آید. چنین نماهایی یک نمای 20° خلفی قدامی (نمای Water) و یک نمای لترال یا دو نمای واتر با چشمانی که به طرف بالا و پایین نگاه می‌کنند.

گلوله‌ها و ترکش‌ها

اگر چه ثابت شده است که بیشتر گلوله‌ها غیر آهنی هستند، گلوله‌های تولید شده توسط برخی کشورها یا ارتش‌ها آلیاژهای فرومغناطیسی دارند. خردمندانه است که در تصویربرداری از بیمارانی که گلوله یا ترکش در بدن دارند بسیار محتاط بوده، و از مکان چنین فلزی در بدن آگاه باشیم.

ایمپلنت‌های ارتوپدی، مواد و وسایل

هرکدام از پانزده ایمپلنت ارتوپدی که آزمایش شده در میدان مغناطیسی خمیدگی نشان نداده است. اگرچه، یک ایمپلنت فلزی بزرگ مانند یک پروتز هیپ می‌تواند با جریان‌های القاء شده در فلز به وسیله میدان‌های مغناطیسی و رادیوفرکانس گرم شود. با این حال، این گرم شدن نسبتاً اندک است. بیشتر ایمپلنت‌های ارتوپدی که با MR تصویربرداری شده‌اند بدون حادثه بودند.

گیره‌ها و پین‌های جراحی

گیره‌های جراحی شکم به طور کلی در MRI ایمن هستند چون توسط بافت فیبروس ثابت نگه داشته می‌شوند، اما متناسب با اندازه‌شان آرتیفکت‌هایی تولید می‌کنند و می‌توانند تصویر را خراب کنند. توصیه می‌شود که در صورت امکان، تا ۶-۴ هفته بعد از جراحی MRI به تأخیر انداخته شود، اگر چه ممکن است ضرورت نداشته باشد، طبق معمول، بیماران را باید مورد به مورد ارزیابی کرد.

جلیقه‌های هاله و دیگر وسایل خارجی

جلیقه‌های هاله (halo) چند ریسک فاکتور دارند که شامل خمیدگی و در نتیجه خارج شدن هاله، گرم شدن به دلیل جذب RF، القاء جریان الکتریکی در حلقه‌های هاله، قوس الکتریکی و پیامدهای آرتیفکتی که می‌تواند تصویر را کاملاً تخریب کند. جلیقه‌های

هاله‌ای غیرآهنی و غیر رسانا که سازگار با MR هستند در دسترس می‌باشد. بنابراین به دلیل خطرات بالقوه در جلیقه‌های هاله، لازم است پیش از تصویربرداری MR نوع جلیقه هاله مشخص شود.

ایمپلنت‌های فعال مغناطیسی، الکتریکی یا مکانیکی یا رسانای الکتریکی

دستگاه‌های کاشته شده معینی برای تصویربرداری MR منع کاربرد دارند یا نیاز به پیش آگهی دارند چون یا مغناطیسی یا الکتریکی یا مکانیکی فعال هستند. هر وسیله را باید موردی ارزیابی کرد. این ایمپلنت‌ها عبارتند از:

پیس میکروهای قلبی

ایمپلنت‌های حلزونی

بسط دهنده‌های بافت

پروتزهای چشمی

ایمپلنت‌های دندانی

محرک‌های عصبی

محرک‌های رشد استخوان

دفیبریلاتورهای قلبی قابل کاشت

پمپ‌های تزریق داروی قابل کاشت

عملکرد چنین ایمپلنت‌هایی توسط میدان مغناطیسی خراب می‌شود، بنابراین بیمارانی با چنین وسایلی نباید تحت آزمون MR قرار گیرند. همچنین وسایلی که برای الصاق به بدن بیمار از مغناطیس استفاده می‌کنند (نظیر اسفنکترهای مغناطیسی، stom plug مغناطیسی، و وسایل مصنوعی مغناطیسی) عملکرد خود را از دست می‌دهند و ممکن است منع کاربرد در MR داشته باشند.

پیس میکروها

پیس میکروهای قلبی منع کاربرد مطلق در MRI دارند. حتی میدان‌هایی با شدت ۵G ممکن است برای ایجاد خمش، تغییرات برنامه‌ریزی و بسته‌شدن سوئیچ reed که پیس‌میکر را تبدیل به یک مد ناهمزمان (asynchronous) می‌کند، کافی باشد. به علاوه، بیمارانی که پیس‌میکر آنها از بدن خارج شده ممکن است سیم‌های باقی مانده باشد. این سیم‌ها به عنوان آنتن عمل می‌کنند (از طریق جریان‌های القاء شده) و سبب فیبریلاسیون قلبی می‌شوند.

امروزه، اسکن از برخی بیمارانی که پیس‌میکر آنها خارج شده است قابل قبول است به شرط آنکه سیم‌ها نزدیک پوست قطع شده باشد و خارج از قفسه سینه حلقه نشده باشد. به علاوه، پیس‌میکرهای جدید سازگار با MR توسعه یافته است. بنابراین، این وسیله نیز همچون دیگر وسایل ایمپلنت باید به‌طور موردی ارزیابی شود. برای پرسش‌های اختصاصی درباره تصویربرداری از چنین بیمارانی به www.mrisafety.com مراجعه کنید. علائم اختطار باید قبل از خط ۵G نصب شود تا از در معرض قرارگرفتن بیمارانی با پیس‌میکر یا دیگر ایمپلنت‌های الکترونیکی جلوگیری شود.

میدان‌های مغناطیسی گرادیانی

تمام سیستم‌های تصویربرداری MR مجهز به مجموعه‌ای از پیچ‌های سیمی مقاومتی معروف به کویل‌های گرادیان است. گرادیان‌ها تغییرات وابسته به مکان را در شدت میدان مغناطیسی ایجاد می‌کنند و در حین و بین پالس‌های تهییج RF روشن و

خاموش می‌شوند. هدف از این گرادیان‌ها کدگذاری اطلاعات فضایی موجود در سیگنال گسیل شده RF است. میدان‌های گرادیانی در حین دستیابی تصویر روشن و خاموش می‌شوند. در نتیجه، میدان‌های مغناطیسی متغیر با زمان (TVMF) ایجاد می‌شود.

میدان‌های مغناطیسی متغیر با زمان (Time varying magnetic field)

بسیاری از مطالعات به بررسی آثار زیستی TVMF می‌پردازند، چون این میدان‌ها در اطراف ترانسفورمرهای نیروگاه‌های برق و خطوط ولتاژ بالا وجود دارند. پیامدهای سلامتی به شدت میدان گرادیان مربوط نمی‌باشد بلکه به تغییرات میدان مغناطیسی که سبب القاء جریان می‌شود مربوط می‌شود. در رابطه با MR، اعصاب، عروق خونی و عضلات به عنوان رسانا در بدن عمل می‌کنند. قانون القاء فاراده بیان می‌دارد که میدان‌های مغناطیسی متغیر سبب القاء جریان‌های الکتریکی در هر محیط رسانا می‌شوند. جریان‌های القایی با رسانایی ماده و آهنگ تغییر میدان مغناطیسی متناسب است. در MR، این اثر با عواملی نظیر مدت پالس، شکل موج، الگوی تکرار، و توزیع جریان در بدن تعیین می‌شود. جریان القایی در بافت‌های محیطی بزرگتر است چون دامنه گرادیان دور از آیزوستر مغناطیسی بالاتر است.

آثار زیستی که با دامنه جریان تغییر می‌کند شامل تغییرات بینایی برگشت پذیر، آثار برگشت ناپذیر فیبریلاسیون قلبی، تغییر در بیوشیمی سلول‌ها و تغییراتی در جوش خوردن شکستگی‌ها است. در حین آزمون‌های MRI با استفاده از تکنیک‌های اکوپلانا گاهی آثاری تجربه می‌شود که شامل احساس خفیف پوستی و انقباضات عضلانی غیرارادی می‌باشد. آثار بینایی ممکن است هنگامی رخ دهد که فسفات‌های شبکه توسط القاء TVMF تحریک شوند. این تحریکات به فلاش‌های نوری یا «ستاره‌هایی در چشم» منجر می‌شود. حد FDA برای TVMF با همان واحدهای قوانین القاء فاراده بیان می‌شود. در معادله فاراده:

$$\Delta B / \Delta T = \Delta V$$

که:

$$\Delta B = \text{تغییر میدان مغناطیسی (به دلیل سوئیچینگ گرادیان‌ها)}$$

$$\Delta T = \text{تغییر زمان}$$

$$\Delta V = \text{تغییر ولتاژ}$$

قبلاً حد FDA برای میدان‌های گرادیان ۶T/s برای تمام گرادیان‌ها بود. بنابراین، در این حالت $\Delta B = 6T$ و $\Delta T = 1s$ است. به علاوه، قبلاً FDA میدان گرادیان آکسیال را به ۲۰T/s و زمان صعود گرادیان را به ۱۲۰ms محدود می‌کرد. دنباله‌های EPI ملاحظات بیشتری را در مورد TVMF مطرح می‌کنند چون گرادیان‌های قوی را به کار می‌گیرند که با سرعت زیاد در حین دستیابی تصویر روشن و خاموش می‌شوند. از جولای ۲۰۰۴، این حدود افزایش یافته است به طوری که شدت گرادیان‌ها به زیر حدی محدود می‌شود که ناراحتی شدید یا تحریک عصبی دردناک تولید می‌کند.

نویز صوتی

هنگامی که در حین دستیابی تصویر جریان از کویل‌های گرادیان عبور می‌کند، نویز صوتی زیادی ایجاد می‌شود. اگرچه سطوح نویز در بیشتر سیستم‌های تجاری در حد ایمنی توصیه شده است، نویز می‌تواند سبب آثار برگشت پذیر و غیرقابل برگشت پذیر شود. این آثار شامل مشکل در برقراری ارتباط، ناراحتی بیمار، کاهش گذاری شنوایی و - در بیمارانی که مستعد به نقص شنوایی هستند - کاهش دائمی شنوایی می‌باشد.

گوشی‌ها و وسایلی ارزان قیمت و قابل قبول برای جلوگیری از کاهش شنوایی هستند و باید به طور منظم از آن‌ها استفاده شود. توصیه می‌شود که تمام بیماران از محافظ شنوایی به شکل گوشی یا هدفون استفاده کنند. یک روش گران تر «آنتی‌نویز» یا دستگاه نابودکننده نویز است، که نویز را کاهش و ارتباط بهتر بین کاربر و بیمار را فراهم می‌کند. سازندگان همچنین سیستم‌های گرادایانی «ساکت» را توسعه داده اند که کاهش قابل ملاحظه‌ای در نویز گرادایانی در حین دستیابی تصویر دارد (فصل ۹ را ببینید).

میدان‌های رادیوفرکانس

پرتوگیری از فرکانس رادیویی در حین آزمون‌های MR هنگامی که هسته‌های هیدروژن در معرض یک میدان مغناطیسی نوسان‌کننده قراردارند رخ می‌دهد. منبع این تابش الکترومغناطیسی کویل‌های رادیوفرکانسی است که بیمار را درون تونل مگنت احاطه می‌کنند. هنگامی که پالس RF دو برابر می‌شود (از پالس‌های ۹۰° به پالس‌های ۱۸۰°) توان چهار برابر استفاده می‌شود. به این ترتیب دنباله‌های FSE بیشترین آثار RF را دارند چون قطاری از پالس‌های ۱۸۰° RF را به کار می‌برند.

تابش‌گیری فرکانس رادیویی

چون سطح انرژی فرکانس‌های مورد استفاده در تصویربرداری بالینی MR نسبتاً پایین و غیر یونساز است در مقایسه با پرتوهای X، نورمرئی و امواج میکروویو، اثر زیستی غالب در جذب تابش RF گرم شدن بالقوه بافت است، اگرچه آثار غیرگرمایی گزارش شده است، هنوز آنها را اثبات نکرده‌اند. هنگامی که یک پالس تهییج اعمال می‌شود، برخی هسته‌ها انرژی RF را جذب می‌کنند و به حالت انرژی بالا می‌روند. هنگامی که هسته‌ها آسایش می‌یابند، این انرژی جذب شده را به شبکه اطراف می‌دهند. در فرکانس‌های زیر ۱۰۰MHz، ۹۰٪ انرژی جذب شده حاصل جریان‌های بافتی (جریان‌های سرگردان در بافت‌ها) می‌باشد که توسط مؤلفه مغناطیسی میدان فرکانس رادیویی القاء می‌شود. هنگامی که فرکانس افزایش می‌یابد، انرژی جذب شده نیز افزایش می‌یابد، بنابراین گرم شدن بافت بسیار به فرکانس وابسته است. به این دلیل، گرم شدن RF در سیستم‌های MR که زیر 1T کار می‌کنند اهمیت کمتری دارد.

جدول ۱-۱۰ حدود SAR در USA

SAR (Watts/kg)	زمان (دقیقه)	دوز	ناحیه
۴	۱۵	در فرد متوسط	تمام بدن
۳	۱۰	در فرد متوسط	سر
۸	۵	در هر گرم بافت	سر یا تنه
۱۲	۵	در هر گرم بافت	اندام‌ها

آهنگ جذب اختصاصی (SAR)

حد FDA برای پرتوگیری RF یا به صورت افزایش دمای بدن یا به صورت آهنگ جذب اختصاصی Specific Absorption Rate (SAR) اندازه‌گیری می‌شود. حد FDA برای دما یک افزایش در مرکز بدن است. در سطح بدن افزایش بیشتر تا ۳۸°C در سر، ۳۹°C در تنه و ۴۰°C در اندام‌ها مجاز می‌باشد. بنابراین ضروری است جذب RF را اندازه‌گیری کنیم. این جذب به صورت گرم شدن بافت و توانایی بیمار در اتلاف حرارت اضافی آشکار می‌شود. جذب RF را می‌توان با عبارت SAR بیان کرد، که به نوبه خود

با وات برکیلوگرم (W/kg) بیان می‌شود کمیتی که میدان الکتریکی القاء شده، دوره کار پالس، دانسیته بافت، رسانایی و ابعاد بیمار بستگی دارد. هنگام پایش SAR وزن بیمار و پارامترهای انتخاب شده دنباله پالس عوامل مهمی هستند. بنابراین باید در ثبت وزن بیمار دقت کرد تا مطمئن شویم SAR از حد مجاز فراتر نمی‌رود. می‌توانیم از SAR استفاده کنیم تا افزایش مورد انتظار دمای بدن را در یک آزمون متوسط محاسبه کنیم. در آمریکا سطح توصیه شده SAR در تصویربرداری $0.4 W/kg$ (تمام بدن)، $3.2 W/kg$ (سر) و $8 W/kg$ (حجمی کوچک) بود. از جولای ۲۰۰۴ این حدود افزایش یافته است. امروزه حدود SAR افزایش پیدا کرده است که در جدول ۱-۱۰ نشان داده می‌شود.

در کانادا، سطح توصیه شده SAR $2 W/kg$ است.

مطالعات نشان داده است که پرتوگیری بیماران تا ۱۰ برابر سطح مجاز، علیرغم افزایش دمای پوست و بدن، هیچ آثار جدی نامطلوبی ایجاد نمی‌کند. هنگامی که دمای بدن افزایش می‌یابد، فشار خون و آهنگ قلب نیز اندکی افزایش می‌یابد. با وجود آنکه این آثار غیرقابل ملاحظه به نظر می‌رسند، بیمارانی که سیستم تنظیم دمای بدن آنها درست کار نمی‌کند ممکن است نتوانند برای MR کاندید شوند. به علاوه، نواحی ای از بدن با عدم توانایی اتلاف حرارت (چشم‌ها و بیضه‌ها) به طور مستقل ارزیابی شده‌اند، و در دنباله‌های پالس استاندارد افزایش قابل ملاحظه دما را نشان نداده‌اند. دمای قرنیه از صفر تا $1/8^{\circ}C$ افزایش می‌یابد. با این حال، چون برخی دنباله‌های سریعتر تصویربرداری در حال توسعه است که جایگذاری RF در بدن بیمار را افزایش می‌دهد، این نواحی نیاز به ارزیابی مجدد دارد.

آثار آنتن RF

میدان‌های رادیوفرکانس را می‌توان مسئول خطرات سوختگی قابل ملاحظه دانست که به دلیل جریان‌های الکتریکی القاء شده در حلقه‌های رسانا تولید می‌شود. بنابراین تجهیزات مورد استفاده در MRI، نظیر لیدهای ECG و کویل‌های سطحی را باید با دقت زیاد استفاده کرد. هنگامی که از یک کویل سطحی استفاده می‌کنید، باید مراقب باشید تا هر نوع ماده رسانای الکتریکی (یعنی، کابل کویل سطحی) یک «حلقه رسانا» با خودش یا با بیمار تشکیل ندهد. بافت یا لباس ممکن است توسط کابل‌های بدون عایق دچار سوختگی شود. جفت شدگی کویل فرستنده با کویل گیرنده می‌تواند آسیب گرمایی شدیدی ایجاد کند. مهندس سایت باید کنترل روتین از کویل‌های سطحی را به عمل آورد تا از عملکرد مناسب آنها اطمینان یابد.

کلاستروفوبیا

اگرچه به نظر می‌رسد کلاستروفوبیا یک مورد ایمنی نمی‌باشد، شرایطی است که عموماً بیمار را تحت تأثیر قرار می‌دهد و کاربر MR باید آن را درک کند. گرمای RF، سرو صدای گرادیان، و محبوس بودن در مگنت به واکنش‌های کلاستروفوبیا افزوده می‌شود. اگرچه بیشتر این آثار گذرا هستند، دو مورد از بیمارانی گزارش شده است که قبل از آزمون MR دچار کلاستروفوبی نبودند، اما مشکلات زیادی در تکمیل آزمون داشتند، و کلاستروفوبیای دائمی در آنها توسعه یافت. این بیماران به درمان روانپزشکی بلند مدت نیاز دارند. بنابراین مهم است که سعی کنیم وقوع کلاستروفوبی را کاهش دهیم. تهویه قابل کنترل هوا درون تونل مگنت - همراه با ارتباط خوب با بیمار و آموزش - به کاهش واکنش‌های کلاستروفوبی کمک می‌کند.

خاموش شدن

خاموش شدن (quenching) افزایش ناگهانی دمای کویل‌های مگنت از صفر مطلق است، به طوری که ابر رسانایی خود را از دست می‌دهند و تبدیل به مقاومت می‌شوند. این سبب می‌شود که هلیوم به سرعت از حمام سرمازا خارج شود. خاموشی ممکن است تصادفی یا می‌تواند به طور آگاهانه در یک وضعیت بحرانی رخ دهد، خاموشی می‌تواند سبب آسیب شدید و غیرقابل ترمیم به کویل‌های ابررسانا شود، بنابراین خاموش کردن دستی فقط باید در موارد بحرانی وقتی متخصص و مهندس دستگاه تصمیم به خاموش کردن می‌گیرند انجام شود.

آتش‌سوزی در اتاق اسکن نیز می‌تواند یک علت خاموش کردن دستگاه باشد، به طوری که پرسنل آتش‌نشانی بتوانند با ایمنی وارد اتاق شوند. تمام سیستم‌ها باید مجهز به تهویه هلیوم باشند، که در صورت خاموشی، هلیوم را به محیط خارج تخلیه کند. اگر تهویه انجام نشود، هلیوم وارد اتاق شده و جایگزین اکسیژن می‌شود. به این دلیل، تمام اتاق‌های اسکن باید دارای یک پایشگر اکسیژن باشد. که وقتی اکسیژن به زیر یک سطح معین سقوط کند یک زنگ خطر را به صدا درآورد. تحت این شرایط تخلیه سریع بیمار و پرسنل ضروری است.

اگر درب اتاق اسکن بسته باشد هنگامی که یک خاموشی رخ می‌دهد و هلیوم وارد اتاق اسکن می‌شود، ورود هلیوم سبب یک افزایش بحرانی در فشار اتاق نسبت به ناحیه کنترل می‌شود. این یک فشار بالا در اتاق اسکن ایجاد می‌کند، که می‌تواند مانع از بازکردن در شود. این اتفاق چند دقیقه بعد از خاموشی رخ می‌دهد، اما در صورت رخ دادن باید شیشه بین اتاق اسکن و اتاق کنترل شکسته شود تا فشار کاهش یابد. برای پیشگیری از این حادثه، بسیاری از سیستم‌ها مجهز به دریچه‌های خروجی هستند که به منظور جلوگیری از افزایش فشار اتاق اسکن MR طراحی شده‌اند. سپس درب اتاق اسکن را می‌توان باز و بیمار را خارج کرد. در چنین موردی بیمار باید بلافاصله خارج گردد و جهت خفگی، هایپوترمی و پارگی پرده گوش ارزیابی شود.

آموزش ایمنی

غربالگری بیمار و پرسنل مؤثرترین راه برای جلوگیری از خطرات بالقوه ایمنی به بیمار است. بیمار و کارکنان MR با اجسام خارجی مشکوک فرومغناطیسی در بیرون یا درون بدن باید به دقت بررسی شوند تا از حوادث و ریسک‌های جدی سلامتی جلوگیری شود. این ناحیه کنترل شده باید به دقت از طریق پرسشنامه و آموزش تمام بیماران و پرسنل برقرار بماند. این کار معمولاً از طریق یک پرسشنامه غربالگری انجام می‌شود که باید توسط تمامی افرادی که وارد میدان مغناطیسی می‌شوند تکمیل گردد، شامل بیماران، کسانی که بیمار را برای آزمون همراهی می‌کنند، کارکنان و بازدیدکنندگان باشد. ISMRM یک پرسشنامه منتشر کرده است که باید به عنوان یک دستورالعمل در تمام فرم‌های غربالگری استفاده شود.

پایش بیمار

کمیته ایمنی ISMRM توصیه می‌کند که همه بیماران به صورت «گفتاری و دیداری» پایش شوند. با بیمارانی که نمی‌توان به طور گفتاری و دیداری در ارتباط بود لازم است پایش اکسیمتری نبض (Pulse oximetry) انجام شود. این بیماران شامل کسانی هستند که پاسخ‌دهی ندارند، کسانی که در کما هستند، ناهشیارند، آرامبخش گرفته‌اند یا نقص شنوایی دارند، کسانی که صدای ضعیفی دارند یا به زبان دیگری صحبت می‌کنند و کودکان. ECG مورد استفاده برای دریچه قلبی برای پایش بیماران قابل قبول نیست چون این ECG تعدیل شده است تا اثر مگنتو هیدرودینامیک را جبران کند.

نکات ایمنی - محیط

در اینجا چند نکته ایمنی در برقراری یک محیط ایمن برای بیماران و همراهان آنها ارائه می‌شود. پیش از وقت دادن به بیمار، از آنها- یا از متخصص ارجاع‌دهنده- سؤال کنید که پیس‌میکر یا دیگر ایمپلنت‌های ممنوعه نداشته باشند.

سعی کنید مطمئن شوید دچار کلاستروفوبیا نیستند- پیش آگهی از پیش آماده بودن است. اما مراقب باشید چگونه از بیمار سؤال می‌کنید- صرف بیان کلاستروفوبیا ممکن است خودش این مشکل را ایجاد کند.

هنگام وقت دادن، هر نوع اطلاعات ایمنی مربوطه و جزئیات آزمون در برگه نوبت‌دهی بیمار ذکر شود- بیشتر اضطراب بیمار ترس از روی ناآگاهی است.

سعی کنید مطمئن شوید که سالن انتظار آرام و خوشایند است.

به دقت بیمار و هر شخصی که بیمار را به درون اتاق اسکن همراهی می‌کند غربال کنید. این باید شامل پرسش‌هایی در مورد روش‌های جراحی، آسیب فلزی وارد بر چشم و پیس‌میکرها باشد.

مطمئن شوید که بیمار و همراهان وی تمام کارت‌های اعتباری، اجسام فلزی، کلیدها، جواهرات، و غیره را خارج کرده باشند.

سوارشدگی بدن (جهت نصب زیور آلات) را کنترل کنید (هر جای بدن ممکن است سوراخ شده باشد!).

خال‌کوبی‌ها می‌تواند در حین دستیابی تصویر گرم شود. یک پارچه مرطوب خنک که روی خال‌کوبی قرارگیرد می‌تواند به خوبی گرما را دور کند. خال‌کوبی‌های ابرو ممکن است منع کاربرد داشته باشند چون گرما سبب آسیب چشمی می‌شود.

سینه‌بندها و کمربندها نیز باید خارج شوند حتی اگر غیرفلزی باشند و در ناحیه تصویربرداری قرار نداشته باشند، بهر حال، ممکن است گرم شوند یا با تغییر موضعی میدان مغناطیسی کیفیت تصویر را کاهش دهند.

برای تمام آزمون‌ها از بیمار بخواهید تا لباس‌های خود را با یک گان تعویض کند، چون این تنها راهی است که می‌توان واقعاً مطمئن شد بیمار تمام اشیاء خطرناک را دور کرده است.

همیشه قبل از آنکه بیمار وارد اتاق اسکن شود مجدداً بیمار را کنترل کنید، بدون توجه به اینکه بیمار چندبار کنترل شده است. این مسئولیت پرتونگاری است که محیط MR را ایمن نگه دارد.

به یاد داشته باشید که بیمار ممکن است در مورد میدان مغناطیسی و آسیب‌های بالقوه آگاهی نداشته باشد.

نمی‌توان مطمئن بود که بیماران مضطرب و بد حال اطلاعات صحیحی می‌دهند. در برخورد با این بیماران بسیار هشیار باشید. در صورت هر نوع شک در مورد ایمنی آنها را وارد میدان مغناطیسی نکنید.

نکات ایمنی در مورد کار با بیماران کلاستروفوبی

این یک هنر واقعی است و هر پرتونگار، پرستار و رادیولوژیستی با چرب زبانی خاص خودش بیمار را وارد مگنت می‌کند. اینجا چند پیشنهاد ارائه می‌شود:

از یک آئینه استفاده کنید به طوری که بیمار بتواند بیرون از مگنت را ببیند.

هنگامی که از کویل تنه استفاده می‌کنید بیمار را پرون قرار دهید.

بالش را بردارید تا صورت بیمار از سقف تونل دور شود.

از بیمار بخواهید تا چشم‌هایش را ببندد یا یک دستمال کاغذی روی صورت خود ببندد.

به بیمار بگوئید مجبور به انجام این آزمون نیست و اینکه اگرچه MR می‌تواند بهترین راه شناخت مشکل آنها باشد، به هیچ وجه تنها راه نیست. این به بیمار این احساس را می‌دهد که در سرنوشت خودش کنترل بیشتری دارد. حیرت‌آور است که این کلمات چندین بار موثر بوده‌اند!

در بین هر دنباله بیمار را از مگنت خارج کنید، به خصوص در روش‌های طولانی. به آنها اطمینان دهید که مگنت در دو انتها باز است و اینکه آنها در آن حبس نمی‌شوند. هر زمان که امکان‌پذیر باشد از چراغ تونل، فن جریان هوا و سیستم اخطار بیمار استفاده کنید. یکی از بستگان یا دوستان بیمار را تشویق کنید که در تمام مدت آزمون در کنار بیمار و در تماس فیزیکی با وی باشد. همیشه با بیمار در حین آزمون در ارتباط باشید تا خوب بودن آنها را کنترل کنید، و به آنها بگوئید که چقدر از زمان آزمون باقی مانده است. همیشه به یاد داشته باشید که به آنها بگوئید که در بین دنباله‌های پالس چه اتفاقی می‌افتد. هیچ چیز بدتر از آن نیست که در مگنت دراز کشیده باشید و فکر کنید همه به خانه رفته‌اند و شما را تنها گذاشته‌اند.

پایشگرها و وسایل در MRI

چند معیار خاص وجود دارد که با آنها وسایل کمکی سازگار با MR را می‌شناسیم. این معیارها که توسط ISMRM توصیه شده‌اند عبارتند از:

تصویب FDA

اعلام سازنده

آزمایش قبلی

احتمالاً عاقلانه است که به کسی اطمینان نکنید و پیش از به خطر انداختن ایمنی بیمار، خودتان هر وسیله را آزمایش کنید.

طراحی مکان

هنگام نصب یک سیستم مگنت چند تصمیم مشکل باید گرفته شود. ملاحظه دقیق این موارد پیش از خرید یک مگنت از اتلاف وقت و هزینه غیرضروری جلوگیری می‌کند.

الزامات معماری عبارت است از:

استحکام ساختمان

ابعاد فضایی

اجزاء مکانیکی و الکتریکی

تصمیم به قرارداد سیستم در یک ساختمان موجود یا اینکه یک ساختمان جدید باید ساخته شود اولین مسئله است چون هزینه نصب قابل ملاحظه است. اغلب شدت میدان مگنت یک عامل محدود کننده است. در حال حاضر، هیچ دستورالعمل حقیقی برای تعیین شدت میدان بهینه وجود ندارد. هر مرکزی باید هدف از سیستم را ارزیابی کند، و به همراه ملاحظات محلی مکان، در مورد شدت میدان مورد نیاز تصمیم‌گیری کند. برای مثال، $0.5T$ احتمالاً برای مقاصد تصویربرداری کافی است، در صورتی که اگر باید بیناب‌نمایی انجام شود. حداقل $1.5T$ ضروری است. شدت میدان مهم است چون ابعاد میدان حاشیه‌ای در شدت‌های میدان بالاتر افزایش می‌یابد. حفاظ‌گذاری می‌تواند میدان حاشیه‌ای را کنترل کند، اما به طور قابل ملاحظه‌ای به هزینه نصب نیز اضافه می‌کند.

ایمنی مغناطیسی پرسنل، تجهیزات و ساختمان‌ها و پایشگرهای خارج از بخش نیز باید در نظر گرفته شود. میدان ثابت سه بعدی است و به بالا و پایین مگنت و طرفین توسعه می‌یابد. شدت میدان مغناطیسی با مکعب فاصله از مگنت کاهش می‌یابد، و هر وسیله پایش و رایانه‌ای باید آنسوی خط ۵G قرار گیرد. به علاوه، ورودی به بخش و ناحیه اطراف ساختمان باید عاری از آثار میدان مغناطیسی باشد، تا از ورود غیر عمدی افرادی با پیس‌میکر به درون این میدان جلوگیری شود. دیوارهای ساخته شده در اطراف این ساختمان معمولاً کفایت می‌کند. واحدهای سیار MR که در تریلرها قرار می‌گیرند، خطرات دیگری نیز دارند. آنها باید با مقررات عبور و مرور جاده‌ای نظیر وزن و مساحت قاعده چرخ‌ها سازگار بوده، و یک میدان حاشیه‌ای بسیار محدودی داشته باشند. به این دلیل بیشتر واحدهای سیار ۰/۵T یا کمتر هستند. به علاوه مکانی که تریلی پارک می‌کند باید تراز باشد، و به حد کافی مستحکم باشد تا وزن تریلی ایستاده و محتویات آنرا تحمل کند.

در هر مکان، لوازم تهویه مطبوع و خنک‌کردن هوا برای کامپیوتر و ملحقات آن باید ارزیابی شود. تهویه هلیوم در صورت یک حادثه خاموشی، تأمین برق، و ابعاد کافی درب و اتاق باید به حساب آورده شود. حفاظ کافی RF باید نصب و کنترل شود تا اطمینان حاصل گردد که رایانه‌ها و پایشگرهای قرار گرفته در نزدیکی با سیگنال تصویر تداخل نمی‌کنند. طراحی کف اتاق اسکن و اتاق کنترل باید به گونه‌ای باشد که یک خط تخلیه سریع مستقیم به ناحیه‌ای که تجهیزات اورژانس قرار دارد برقرار شود.

به طور خلاصه، تمام بخش باید با ملاحظه ایمنی بیماران و پرسنل طراحی شود. درب‌های امنیتی قفل‌دار الکترونیکی در تمام ورودی‌های میدان مغناطیسی اغلب بهترین راه برای این منظور است. بازبینی‌های معمول بازدارنده توسط مهندس سرویس و تداوم آموزش نیز اهمیت دارد. طراحی دقیق و نگهداری هشیارانه از یک بخش MR می‌تواند یک محیط ایمن برای پرسنل و کارکنان فراهم آورد.

پرسش‌ها

نام اثری که سبب بالارفتن موج T در دریچه گذاری قلبی می‌شود چیست؟

در ۱/۵T یک گیره کاغذ چه سرعتی دارد؟

در آمریکا حد SAR برای سر چیست؟

هنگام استفاده از EPI گرادیان‌ها چه اثراتی روی بیمار دارند؟

روزآمدترین وب سایت ایمنی MRI چه نام دارد؟