تکنیک‌های کاربردی برای کاهش آرتیفکت فلزی در MRI

■ عباس حاجی جعفری ـ کارشناس رادیولوژی

MRIبه عنوان بهترین مدالیته تصویر برداری در بررسی مفاصل و ستون فقرات به صورت گسترده مورد استفاده قرار می گیرد.

MRI جزئیات زیادی از بافت نرم را به نمایش در می‌آورد و بدین ترتیب بافت ها با کنتراست مناسب در کنار یکدیگر دیده می‌شوند. یکی از محدودیت‌های MRI حساسیت بالای آن به حضور فلزات در میدان مغناطیسی اصلی B0 است.

از سویی امروزه ایمپلنت‌های ارتوپدیک فلزی به صورت گسترده در جراحی‌های ستون فقرات و مفاصل مورد استفاده قرار می‌گیرند و در بسیاری از موارد تصویربرداری پس از جراحی نیز ضروری است.

مدالیته های تصویر برداری مانند رادیوگرافی ،آرتروگرافی ،CT اسکن و MRI در این بررسی‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. اگر چه رادیوگرافی ساده برای بررسی وضعیت قرار گیری ایمپلنت و prosthesis-bone interface مناسب است ولی برای بررسی بافت نرم قابلیت چندانی ندارد و یافته های پاتولوژیک اغلب غیر اختصاصی هستند.

تصویر برداری بیش از پیش به سمت تکنیکهای کراس سکشنال حرکت می‌کند اما آرتیفکت beam hardening که در اثر حضور فلز در سی تی اسکن و آرتیفکت metal susceptibility در MRI چالش‌های پیش روی برای تصویر برداری از بیماران دارای ایمپلنت های فلزی هستند.

در این مقاله ما به دنبال آن هستیم تا با بهینه سازی کاربردی پروتوکل‌های MRI آرتیفکت‌های ناشی از حضور فلزات را در میدان مغناطیسی high field به حداقل برسانیم و ارزش تشخیصی تصاویر را افزایش دهیم.

آرتیفکت های فلزی:

دانستن تئوری ایجاد آرتیفکت‌های فلزی در تصاویر MRI سبب می‌شود راهکارهای کاهش این آرتیفکت‌ها را به راحتی شناخته و مورد استفاده قرار دهیم.

آرتیفکتهای پذیرفتاری مغناطیسی (susceptibility artifact) در نتیجه غیر یکنواختی محدود در میدان مغناطیسی اصلی (B0) در نزدیکی بین دو ماده با پذیرفتاری مغناطیسی متفاوت بوجود می آید.

آرتیفکت‌های پذیرفتاری مغناطیسی وسیع یا آرتیفکت فلزی هنگامی رخ میدهد که مواد فرومغناطیس در کنار مواد دیا مغناطیس درفضایی مانند بدن انسان قرار میگیرند و سبب ایجاد غیریکنواختی در میدان B0 میشوند که باعث دفازه شدن اسپین‌ها و جابجایی فرکانس (frequency shift) بافت های مجاور می شوند.

دفازه شدن سبب کاهش سیگنال دریافتی (signal loss) و بوجود آمدن مناطق سایه در تصاویر MR میشود و جابه جایی فرکانس نیز (frequency shift) در نزدیکی مواد فلزی مناطقی با سیگنال زیاد و مناطقی بدون سیگنال بوجود می آورد.

عوامل موثر بر آرتیفکت فلزی :

عوامل موثر بر آرتیفکت های ناشی از حضور فلزات شامل:

۱. ترکیب فلز

۲. سایز فلز

۳. جهت ایمپلنت یا فلز در میدان مغناطیسی اصلی B0

۴. نوع سکانس پالس

۵. قدرت میدان

۶. پارامترهای سکانس ها که شامل :

الف ـ طول قطار اکو (turbo factor or ETL)

ب ـ ضخامت اسلایس

ج ـ رزولوشن

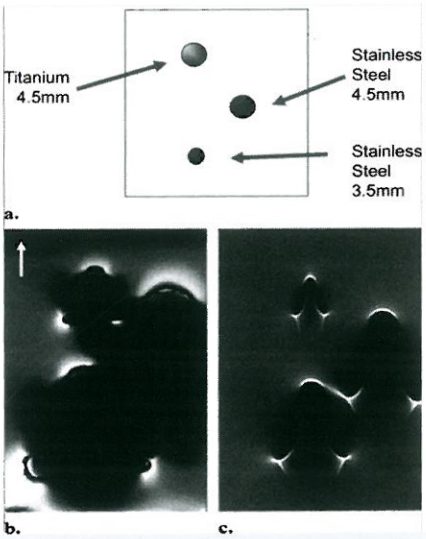
د ـ TE

و ـ پهنای باند دریافتی Receiver bandwidth می‌شود .

ترکیب فلز :

شدت آرتیفکت‌های فلزی بسیار وابسته به جنس فلزات است . آلیاژ- تیتانیوم غیر فرومغناطیس است و آرتیفکت بسیار کمی نسبت به آلیاژهای فرومغناطیس بوجود می آورد .

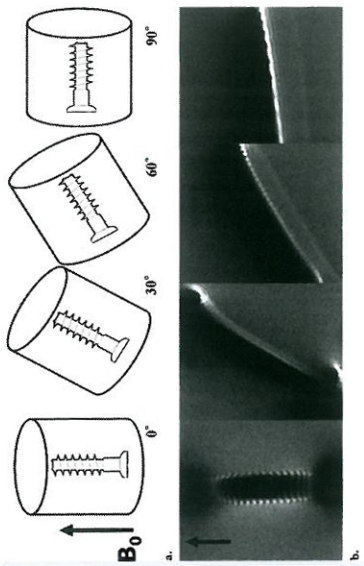
امروزه مطالعات بر روی زیرکونیوم و کامپوزیت‌های سرامیکی که آرتیفکت کمتری تولید می کنند در حال بررسی هستند.



تصویر ۱ : در تصاویر بالا دیده می‌شود که فلز استیل نسبت به تیتانیوم آرتیفکت فلزی بیشتری تولید می‌کند و با افزایش سایز فلز تیتانیوم میزان آرتیفکت بیشتر می شود.

جهت ایمپلنت فلزی در میدان مغناطیسی :

زاویه بین محور طولی ایمپلنت فلزی و جهت میدان مغناطیسی B0 بر شدت آرتیفکت فلزی اثر گذار است . قرار گیری ایمپلنت در جهت موازی با میدان مغناطیسی B0 سبب کاهش آرتیفکت فلزی میشود . اندازهٔ آرتیفکت همراه با افزایش زاویهٔ بین ایمپلنت فلزی و میدان مغناطیسی افزایش می‌یابد.



تصویر ۲ : در این تصویر افزایش آرتیفکت فلزی با افزایش زاویه‌ی بین محور طولی ایمپلنت فلزی و جهت میدان مغناطیسی دیده می‌شود.

نوع سکانس پالس :

نوع سکانس های مورد استفاده در شدت آرتیفکت های مربوط به فلزات اثر گذار است .

میزان حساسیت سکانس‌ها به آرتیفکت فلزی به ترتیب عبارتند از:

FSE-SE-GRE-DWI

برای کاهش آرتیفکت فلزی بهترین سکانس FSE است که به دلیل پالس‌های متعدد ۱۸۰درجه سبب کاهش اثرات دفازه شدن و یکنواختی بیشتر میدان مغناطیسی می‌شود .

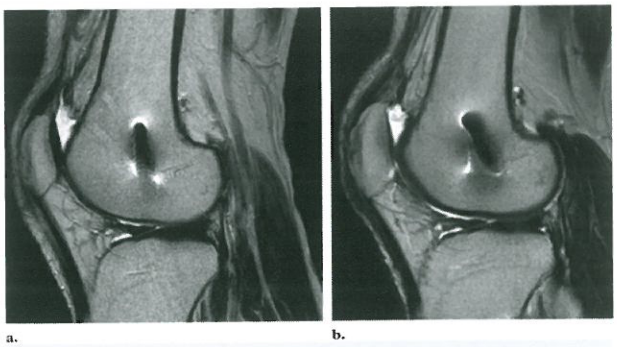
برای استفاده از سکانس‌های اشباع چربی (fat saturated) میبایست از تکنیک STIR (short tua inversion recovery) به جای spectral fat suppression استفاده کرد، زیرا حساسیت بسیار کمتری به غیر یکنواختی میدان مغناطیس نسبت به spectral fat suppression دارد .

تصویر ۳ : در این تصاویر کاهش آرتیفکت فلزی در سکانس STIR (a) نسبت به سکانس PD با spectral fat suppression (b) نشان داده شده است.

قدرت میدان مغناطیسی :

افزایش قـدرت میـدان مغناطیسی B0 سبب افزایش آرتیفکت فلزی می‌شود .

لـذا در تصویر برداری از بیمـاران دارای اشیـاء فلـزی بهتـر است از سیستم‌های با قدرت کمتر استفاده شود. در بسیاری از موارد استفاده از دستگاه‌های low field (در بیماران دارای ایمپلنت های فرومغناطیس) تصاویر بهتری نسبت به دستگاه‌های high field ایجاد می کند.

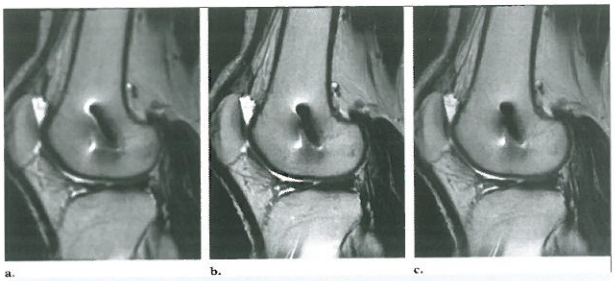


تصویر ۴ : اثر قدرت میدان مغناطیسی بر روی آرتیفکت فلزی. آرتیفکت فلزی کمتری در میدان ۱.۵ تسلا (تصویر a) نسبت به میدان ۳ تسلا (تصویر b) دیده می شود.

رزولوشن : (قدرت تفکیک)

تمامی عواملی که برروی وکسل سایز اثر گذارند و با استفاده از آنها قدرت تفکیک را افزایش داد می‌توانند آرتیفکت‌های نـاشی از حضور فلـزات را کاهش داد .

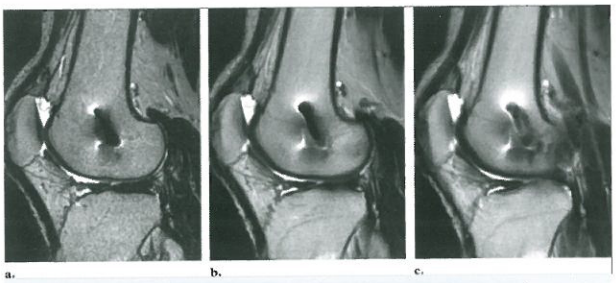
با افزایش رزولوشن پایه (base rosolation) ماتریس سایز بزرگتر شده وvoxel size کوچکتر می‌شود و بدین وسیله ارتیفکت فلزی کاهش می یابد .



تصویر ۵ : رزولوشن پایه 128 (a) ، 512 (b) ۱۰۲۴ ، است و با افزایش رزولوشن میزان آرتیفکت فلزی کاهش یافته است.

ضخامت مقطع (slice thickness):

با کاهش ضخامت مقطع نیز قدرت تفکیک افزایش یافته وآرتیفکت فلزی کاهش می یابد . همچنین کاهش FOV نیز به دلیل افزایش قدرت تفکیک سبب کاهش آرتیفکت های ناشی از حضور فلزات می شود .

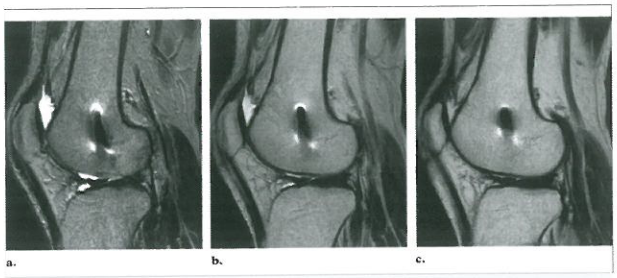


تصویر ۶ : در تصاویر بالا دیده می شود که با افزایش ضخامت مقطع (۱ میلیمتر a ـ ۴ میلیمتر b ـ ۷ میلیمتر c) میزان آرتیفکت فلزی افزایش می‌یابد.

طول قطار اکو (Echo train length or turbo factor):

تعداد پالس‌های ۱۸۰ درجه که پس از پالس ۹۰ درجه اولیه می‌آیند و سبب پرشدن سریعتر فضای K می‌شوند تعیین کننده ETL هستند این پالس‌هـا سبب کـاهش دفازه شدن و افـزایش یکنواختی میدان مغناطیسی می‌شوند به این دلیل است که با افزایش ETL می‌توان آرتیفکت فلزی را

کاهش داد.



تصویر ۷: با افزایش ETL (طول قطار اکو به ترتیب (a) 4 , (b) 10 , (c) 20) میزان آرتیفکت فلزی کاهش می یابد.

زمان اکو (Echo Time):

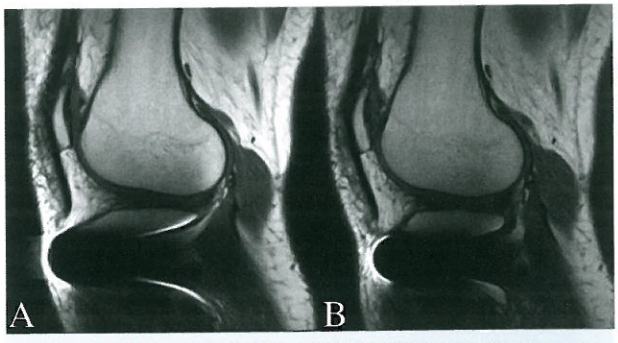
تمامی عواملی که سبب کاهش دفازه شدن اسپین‌ها می‌شوند می‌توانند آرتفیکت فلزی را کاهش دهند.

زمان اکو (TE) یکی از عواملی است که به طور مستقیم با دفازه شدن اسپین‌ها مرتبط است و با کاهش زمان اکو میزان دفازه شدن و جابجایی فرکانس بین پالس ۹۰ درجه و خوانش سیگنال کاهش می یابد و اثرات آرتیفکت فلزی نیز کاهش می یابد.

پهنای باند دریافتی (Receiver bandwidth):

یکی از عواملی است که تاثیر بسیار زیادی بر روی آرتیفکت فلزی دارد و کمتر شناخته شده BW است. افزایش BW (استفاده از گرادیان خوانش قویتر) بوسیلهٔ افزایش فرکانس در پیکسل (Frequency per pixel) اتفاق می‌افتد و بدین وسیله با افزایش پهنای باند سبب کاهش آرتیفکت فلزی تصاویر می شود.

افزایش BW سبب افزایش نویز تصویر می‌شود ولی در زمان تصویربرداری تاثیری نمی گذارد.



تصویر ۸: با افزایش BW از 150(a)، به 550(b) میزان آرتیفکت فلزی کاهش پیدا می کند.

با استفاده از راهکارهای پیشنهاد شده می توان آرتفیکت های ناشی از حضور فلزات در تصاویر را به حداقل رساند و بررسی بافت های مجاور این فلزات را بهبود بخشد. این راهکارها در بیمارانی که دارای ایمپلنت‌های فلزی هستند و همچنین جانبازان جنگ تحمیلی که دارای ترکش در قسمت های مورد آزمون هستند کاربرد زیادی دارد و می تواند ارزش تشخیصی تصاویر این بیماران را افزایش داد. ■