

اسپین اکوی سریع (FSE) در MRI

مقدمه

تصویربرداری رزونانس مغناطیسی (MRI) یکی از دقیق‌ترین و غیرتهاجمی‌ترین تکنیک‌ها برای بررسی ساختارهای داخلی بدن است که به‌ویژه در تصویربرداری از بافت‌های نرم مانند مغز، نخاع، عضلات و مفاصل کاربرد فراوان دارد. یکی از چالش‌های اساسی در MRI، زمان طولانی اسکن است که می‌تواند به تجربه ناخوشایند بیمار منجر شود و نیز احتمال بروز آرتیفکت‌های حرکتی را افزایش دهد. به همین دلیل، تکنیک‌های متعددی برای تسریع فرآیند اسکن در MRI توسعه یافته‌اند. یکی از این تکنیک‌ها، اسپین اکوی سریع (Fast Spin Echo یا FSE) است که به‌ویژه در مواردی که نیاز به کاهش زمان اسکن و حفظ کیفیت تصویر وجود دارد، کاربرد دارد.

اصول اسپین اکوی سریع (FSE)

اصول اسپین اکوی سریع (FSE)

در تکنیک‌های اسپین اکوی (Spin Echo)، یک پالس رادیویی 180 درجه برای بازگرداندن سیگنال‌های مغناطیسی از بافت‌ها و تولید تصاویر استفاده می‌شود. این تکنیک در عین حال که دقت بالایی دارد، نیاز به زمان اسکن طولانی دارد. برای رفع این مشکل، اسپین اکوی سریع (FSE) توسعه یافت که در آن، به جای استفاده از یک پالس اکویی 180 درجه برای تولید هر سیگنال، مجموعه‌ای از پالس‌های 180 درجه متوالی برای تولید چندین سیگنال استفاده می‌شود.

FSE این امکان را فراهم می‌آورد که در یک دوره زمانی کوتاه، چندین پالس اکویی به‌طور پیوسته در فواصل زمانی کوتاه‌تر از هم ارسال شوند. به عبارت دیگر، با استفاده از FSE، زمان اسکن به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد بدون اینکه به‌طور قابل توجهی کیفیت تصویر کاهش پیدا کند. در نتیجه، می‌توان تصاویر دقیق‌تری را با سرعت بیشتر به دست آورد.

اصول فنی FSE

تکنیک FSE یک روش پیشرفته برای تسریع فرآیند اسکن MRI است. در این روش، به جای استفاده از تنها یک پالس 180 درجه در هر کد فازی (Phase Encoding)، چندین پالس 180 درجه متوالی ارسال می‌شود که باعث تولید چندین اکوی مختلف از یک ناحیه می‌شود. این کار باعث می‌شود که اطلاعات بیشتری در یک دوره زمانی کوتاه‌تر جمع‌آوری شود.

- **کدگذاری فاز:** کدگذاری فاز یکی از اصول اساسی در تمام تکنیک‌های تصویربرداری MRI است. در FSE، در هر فاز کدگذاری، چندین اکوی مختلف به طور همزمان از بافت‌ها دریافت می‌شود، که به طور قابل توجهی زمان لازم برای تصویربرداری را کاهش می‌دهد.

• پالس 180 درجه: در FSE، از چندین پالس 180 درجه

استفاده می‌شود که به‌طور پیوسته برای تولید چندین سیگنال (اکو) در فواصل زمانی کوتاه‌تر از هم ارسال می‌شود. این پالس‌های متوالی باعث می‌شود که تعداد بیشتری داده در یک زمان کوتاه به‌دست آید.

این تغییرات در فرآیند کدگذاری و استفاده از چندین پالس 180 درجه، به FSE این امکان را می‌دهد که تعداد زیادی داده در مدت زمان کمتر جمع‌آوری کند و در نتیجه زمان اسکن را کاهش دهد.

مزایای اسپین اکوی سریع (FSE)

۱. کاهش زمان اسکن:

- اصلی‌ترین مزیت تکنیک FSE نسبت به تکنیک‌های سنتی اسپین اکوی، زمان اسکن کوتاه‌تر است. در روش‌های سنتی، زمان TR (زمان تکرار) و TE (زمان اکوی) معمولاً طولانی هستند و باعث افزایش زمان اسکن می‌شوند. در FSE، به واسطه ارسال پالس‌های متوالی 180 درجه، زمان اسکن به طور چشمگیری کاهش می‌یابد، بدون اینکه کیفیت تصویر به طور قابل توجهی کاهش یابد (Reeder et al., 2005).

۲. تصاویر با کیفیت بالا:

- برخلاف برخی از روش‌های تصویربرداری سریع که ممکن است با کاهش کیفیت تصویر همراه باشند، FSE قادر است تصاویر با کیفیت بالا را در مدت زمان کوتاهی تولید کند. این به دلیل استفاده از چندین پالس اکویی برای جمع‌آوری اطلاعات بیشتر از هر ناحیه است که به افزایش دقت تصویر منجر می‌شود.



۲. تصاویر با کیفیت بالا:

- برخلاف برخی از روش‌های تصویربرداری سریع که ممکن است با کاهش کیفیت تصویر همراه باشند، **FSE** قادر است تصاویر با کیفیت بالا را در مدت زمان کوتاهی تولید کند. این به دلیل استفاده از چندین پالس اکویی برای جمع‌آوری اطلاعات بیشتر از هر ناحیه است که به افزایش دقت تصویر منجر می‌شود.

۳. کاهش آرتیفکت‌های حرکتی:

- زمان کوتاه‌تر اسکن به این معنی است که بیمار مدت‌زمان کمتری در دستگاه MRI باقی می‌ماند و احتمال حرکت بیمار در حین اسکن کاهش می‌یابد. این امر منجر به کاهش آرتیفکت‌های حرکتی و بهبود کیفیت تصاویر می‌شود (Sydnor et al., 2017).

4. افزایش دقت در تصویربرداری از بافت‌های نرم:

- FSE به‌ویژه برای تصویربرداری از بافت‌های نرم مانند مغز، نخاع، عضلات و مفاصل بسیار مفید است، زیرا به‌واسطه سرعت بالای اسکن و حفظ کیفیت تصاویر، می‌تواند جزئیات بیشتری را در مدت‌زمان کوتاه‌تر به‌دست آورد (Sydnor et al., 2017).

5. مناسب برای تصویربرداری از ساختارهای پیچیده:

- در مواردی که ساختارهای پیچیده مانند مغز، نخاع یا مفاصل نیاز به تصویربرداری دارند، FSE می‌تواند به‌راحتی داده‌های لازم را جمع‌آوری کرده و تصاویری با کیفیت بالا از این ساختارها ایجاد کند.

چالش‌ها و محدودیت‌ها

چالش‌ها و محدودیت‌ها

۱. آرتیفکتهای ناشی از چربی:

- در تکنیک FSE، یکی از مشکلات رایج، آرتیفکتهای ناشی از چربی است. در برخی از نواحی بدن که چربی زیادی دارند (مانند نواحی شکم و لگن)، سیگنال چربی ممکن است باعث ایجاد اختلال در کیفیت تصویر شود. این مشکل به ویژه در تصویربرداری از اندامهای شکمی و لگنی که میزان چربی زیاد است، مشاهده می شود (Glover & Müller, 1998).

۲. تنظیم دقیق پارامترها:

- انتخاب نادرست پارامترهای **TR** (زمان تکرار) و **TE** (زمان اکوی) می تواند به کاهش کیفیت تصویر یا افزایش زمان اسکن منجر شود. تنظیم دقیق این پارامترها برای بهینه سازی کیفیت تصویر و زمان اسکن ضروری است (Glover & Müller, 1998).



۱. افزایش نویز در تصاویر:

- در صورتی که تعداد اکوی‌های تولیدشده در هر فاز کدگذاری زیاد باشد، ممکن است با افزایش نویز در تصاویر مواجه شویم. بنابراین، تعداد بهینه اکوی‌ها باید انتخاب شود تا از بروز نویز اضافی جلوگیری شود (Reeder et al., 2005).

پارامترهای کلیدی در تکنیک FSE

۱. زمان (TR (Repetition Time):

- زمان میان دو پالس رادیویی متوالی که به طور مستقیم بر سرعت اسکن تأثیر می‌گذارد. در FSE، زمان TR باید به گونه‌ای تنظیم شود که سریع‌ترین تصویر ممکن به دست آید، بدون اینکه جزئیات تصویر کاهش یابد.

۲. زمان (TE (Echo Time):

۳. زمان (Echo Time): TE

- زمان میان ارسال پالس رادیویی و دریافت سیگنال از بافت‌ها. در FSE، زمان TE باید به‌طور بهینه تنظیم شود تا از افزایش زمان اسکن جلوگیری شود و در عین حال کیفیت تصویر حفظ گردد.

۴. تعداد اکوی‌ها (Number of Echoes):

- تعداد اکوی‌هایی که در هر مرحله کدگذاری فاز تولید می‌شود. تعداد بیشتر اکوی‌ها به معنای داده‌های بیشتر و در نتیجه تصویری دقیق‌تر است. با این حال، باید مراقب افزایش نویز باشیم.

۵. Field of View (FOV):

4. Field of View (FOV):

• FOV به میزان ناحیه‌ای اطلاق می‌شود که در تصویر نهایی مشاهده می‌شود. FSE می‌تواند با استفاده بهینه از FOV، تصاویری با دقت بالا از بافت‌های مختلف بدن ایجاد کند.

کاربردهای بالینی FSE

1. تصویربرداری از مغز:

• FSE به‌ویژه برای تصویربرداری از مغز در شرایطی مانند سکته مغزی، تومورها، بیماری‌های دژنراتیو مغزی و صدمات مغزی کاربرد دارد. استفاده از این تکنیک امکان تصویربرداری سریع و با دقت بالا را فراهم می‌کند (Reeder et al., 2005).

2. تصویربرداری از ستون فقرات و مفاصل:

؛. تصویربرداری از ستون فقرات و مفاصل:

- در تصویربرداری از ستون فقرات، دیسک‌های بین‌مفصلی و مفاصل، FSE می‌تواند تصاویری با کیفیت بالا از بافت‌های نرم مانند لیگامان‌ها، عضلات و تاندون‌ها تولید کند و اطلاعات دقیق‌تری از آسیب‌ها یا اختلالات موجود ارائه دهد (Sydnor et al., 2017).

؛. تصویربرداری از شکم و لگن:

- در تصویربرداری از اندام‌های شکمی و لگنی، FSE به دلیل زمان اسکن کوتاه‌تر و کیفیت بالا به‌ویژه در تشخیص بیماری‌های بافتی مانند کبد چرب، تومورها و سایر اختلالات کاربرد دارد (Dixon et al., 2013).

نتیجه گیری

اسپین اکوی سریع (FSE) یک تکنیک پیشرفته است که در تصویربرداری MRI به ویژه برای کاهش زمان اسکن و حفظ کیفیت تصویر به کار می رود. این تکنیک با استفاده از چندین پالس 180 درجه و تولید چندین اکوی در هر فاز کدگذاری، قادر است زمان اسکن را کاهش دهد و در عین حال کیفیت تصویر را حفظ کند. با این وجود، چالش هایی مانند سرکوب چربی و تنظیم دقیق پارامترهای اسکن وجود دارند که باید به دقت مورد توجه قرار گیرند. در مجموع، **FSE** یکی از تکنیک های مؤثر برای تصویربرداری سریع و دقیق از ساختارهای داخلی بدن است.

گرادیان اکو، قسمت اول: اصول پایه‌ای

مقدمه

گرادیان اکو (Gradient Echo) یکی از تکنیک‌های اساسی در تصویربرداری رزونانس مغناطیسی (MRI) است که در آن از تغییرات میدان مغناطیسی برای تولید و جمع‌آوری سیگنال‌های بازتابی از بافت‌های بدن استفاده می‌شود. این تکنیک یکی از اجزای مهم در پروتکل‌های تصویربرداری سریع است و برای مطالعات متعددی از جمله تصویربرداری از مغز، مغز و اعصاب، مفاصل و سیستم عضلانی به کار می‌رود.

در گرادیان اکو، برخلاف روش اسپین اکوی (Spin Echo)، به جای استفاده از پالس رادیویی 180 درجه برای برگشت سیگنال، از تغییرات میدان مغناطیسی به طور مستقیم استفاده می‌شود تا سیگنال‌های بازگشتی (اکوها) تولید شوند. این امر باعث می‌شود که گرادیان اکو، از نظر زمانی و از نظر سرعت اسکن، مزایای قابل توجهی نسبت به اسپین اکوی سنتی داشته باشد.

اصول فنی گرادیان اکو

در تکنیک گرادیان اکو، ابتدا یک پالس رادیویی 90 درجه به بافت‌های بدن ارسال می‌شود که باعث چرخش اسپین‌های هسته‌های هیدروژن به‌طور عمودی نسبت به میدان مغناطیسی می‌شود. سپس، پس از گذشت زمان، یک تغییر تدریجی در میدان مغناطیسی (که به آن گرادیان گفته می‌شود) اعمال می‌شود تا سبب توزیع نامنظم فرکانسی در میان پروتون‌های موجود در بافت شود.

زمانی که اسپین‌ها در میدان مغناطیسی به‌طور غیر منظم قرار می‌گیرند، این اختلال باعث می‌شود که سیگنال‌های اکو (که نتیجه تغییرات وضعیت اسپین‌ها هستند) تولید شوند. این سیگنال‌ها می‌توانند توسط دستگاه MRI دریافت شده و پردازش شوند تا تصاویری از ساختارهای داخلی بدن تولید گردد.

- **پالس 90 درجه:** این پالس برای ایجاد انحراف در اسپین‌ها و آغاز فرایند تولید سیگنال‌های اکو ارسال می‌شود.

- **گرادیان‌ها:** بعد از پالس 90 درجه، یک یا چند گرادیان مغناطیسی برای توزیع نامنظم سیگنال‌ها در طول فضای کدگذاری فاز اعمال می‌شود.

- **زمان TE (Echo Time):** مدت زمانی است که از پالس 90 درجه تا دریافت سیگنال‌ها (اکوها) طی می‌شود. زمان TE در گرادیان اکو معمولاً کوتاه‌تر از اسپین اکوی سنتی است.

- **زمان TR (Repetition Time):** مدت زمانی که باید بگذرد تا بتوان یک پالس رادیویی دیگر را به‌طور مؤثر ارسال کرد.

مزایای گرادیان اکو

۱. **سرعت بالای اسکن:** یکی از اصلی‌ترین مزایای گرادیان اکو، کاهش زمان اسکن است. از آنجایی که این تکنیک نیازی به ارسال پالس رادیویی 180 درجه ندارد، زمان اسکن به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد (Dixon et al., 2013).

۲. **تصویر با وضوح بالا:** گرادیان اکو قادر است تصاویری با کیفیت بالا تولید کند، به‌ویژه برای بافت‌های نرم و ساختارهای پیچیده مانند مغز (Morris et al., 2011).

۳. **کاهش نویز:** نسبت به دیگر روش‌های تصویربرداری MRI، گرادیان اکو می‌تواند نویز کمتری ایجاد کند و باعث تولید تصاویری واضح‌تر و دقیق‌تر شود.

کاربردهای بالینی

گرادیان اکو به طور گسترده در تصویربرداری مغز، تصویربرداری عروق، بررسی مفاصل و تشخیص بیماری‌های بافت نرم مانند تومورها و آسیب‌های عضلانی استفاده می‌شود.

گرادیان اکو، قسمت دوم: تکنیک‌های اسکن

سریع

مقدمه

در طی چند دهه گذشته، تکنیک‌های اسکن سریع به طور چشمگیری در زمینه MRI پیشرفت کرده‌اند. این پیشرفت‌ها

عمدتاً بر اساس کاهش زمان اسکن و افزایش سرعت تصویربرداری با حفظ یا حتی بهبود کیفیت تصاویر بوده است. یکی از مهم‌ترین تکنیک‌های اسکن سریع در MRI که بر پایه استفاده از گرادیان‌ها است، گرادیان اکو است.

تکنیک‌های اسکن سریع مبتنی بر گرادیان اکو

در تکنیک‌های اسکن سریع مبتنی بر گرادیان اکو، مانند **Fast Gradient Echo (FGE)**، از ترکیب گرادیان‌های سریع و

روش‌های کدگذاری فاز برای سرعت بخشیدن به فرایند تصویربرداری استفاده می‌شود. در این تکنیک، سیگنال‌های اکو به‌طور مکرر در زمان‌های کوتاه‌تر جمع‌آوری می‌شوند و

بنابراین تعداد تصاویری که در هر بازه زمانی به دست می آید، بیشتر می شود.

. تصویربرداری چنداکویی (Multi-echo Imaging):
در این تکنیک، به جای دریافت یک سیگنال اکو در هر فاز کدگذاری، چندین سیگنال اکو به طور همزمان دریافت می شود. این باعث افزایش سرعت و کاهش زمان اسکن می شود.

. تصویربرداری سریع در (Fast MRI): این نوع تصویربرداری از فشرده سازی داده ها برای کاهش زمان

اسکن استفاده می کند. در این روش، بسیاری از پیکربندی های پروتکل های اسکن بهینه سازی می شوند تا زمان اسکن کاهش یابد، اما همچنان تصویری با کیفیت مطلوب ارائه شود.

∴ تکنیک (TSE) Turbo Spin Echo: در TSE از چندین

پالس 180 درجه در مدت زمان بسیار کوتاه استفاده می شود تا تعداد زیادی داده برای هر فاز کدگذاری جمع آوری شود، که به طور قابل توجهی زمان اسکن را کاهش می دهد.

مزایای تکنیک های اسکن سریع مبتنی بر گرادیان اکو

- کاهش زمان اسکن: با استفاده از چندین اکوی همزمان یا پالس های متوالی، می توان زمان اسکن را به طور چشمگیری کاهش داد (Morris et al., 2011).

یا پالس‌های متوالی، می‌توان زمان اسکن را به‌طور چشمگیری کاهش داد (Morris et al., 2011).

- **تصاویر با کیفیت بالا:** این تکنیک‌ها قادرند تصاویری با وضوح بالا تولید کنند، به‌ویژه در بیمارانی که نیاز به تصویربرداری سریع دارند.

- **کاهش آرتیفکت‌ها:** با بهبود سرعت اسکن، زمان باقی‌مانده برای حرکت بیمار کاهش می‌یابد و این امر به کاهش آرتیفکت‌های حرکتی کمک می‌کند.

چالش‌ها

- **افزایش نویز در تصاویر:** افزایش سرعت اسکن ممکن است منجر به افزایش نویز و کاهش کیفیت تصویر شود.

- **نیاز به تنظیمات دقیق پروتکل‌ها:** استفاده از تکنیک‌های اسکن سریع نیازمند تنظیم دقیق پارامترهای اسکن است تا بهترین تعادل بین سرعت و کیفیت تصویر حاصل شود.

تصویربرداری اکو صفحه‌ای (EPI)

مقدمه

تصویربرداری اکو صفحه‌ای (Echo Planar Imaging) یا EPI یکی از پیشرفته‌ترین تکنیک‌ها در زمینه MRI است که برای تصویربرداری سریع از ساختارهای داخلی بدن به‌ویژه مغز به‌کار می‌رود. این تکنیک به‌طور خاص برای تصویربرداری از مقاطع برش‌خورده و زمان‌های فوری طراحی شده است و توانسته است زمان اسکن را به‌طور چشمگیری کاهش دهد.

اصول EPI

در تکنیک EPI، برخلاف روش‌های معمول که در آن برای هر پیکسل یک سری پالس‌های فاز و کدگذاری انجام می‌شود، یک پالس اکو با سرعت بسیار بالا به‌طور پیوسته اعمال می‌شود تا تمام اطلاعات مربوط به یک مقطع تصویری در یک مرحله به‌دست آید.

مزایای EPI

- تصویبربرداری بسیار سریع: EPI قادر است تصاویری از مقاطع با کیفیت بالا در یک بازه زمانی بسیار کوتاه تولید کند.

- کاهش زمان اسکن: این تکنیک به ویژه در تصویبربرداری از مغز برای مطالعات دینامیکی و سریع کاربرد دارد

(Liu et al., 2013).

- مناسب برای تصویربرداری از بافت‌های نرم: به دلیل توانایی تولید تصاویر با وضوح بالا در زمان کوتاه، EPI به‌ویژه در تصویربرداری مغزی، ستون فقرات و مفاصل مفید است.

چالش‌ها و محدودیت‌ها

- آرتیفکت‌های حرکتی: به دلیل سرعت بالای اسکن، هر گونه حرکت بیمار می‌تواند باعث ایجاد آرتیفکت‌های حرکتی و کاهش کیفیت تصویر شود.
- افزایش نویز: در برخی شرایط، EPI ممکن است باعث افزایش نویز در تصاویر شود که می‌تواند جزئیات تصویر را تحت تأثیر قرار دهد.

کاربردهای EPI

کاربردهای EPI

۱. تصویربرداری مغزی:

- EPI به‌ویژه برای تصویربرداری از مغز، به‌ویژه در مطالعات عملکردی مغز (fMRI) کاربرد دارد. این تکنیک امکان تصویربرداری از تغییرات مغزی در پاسخ به فعالیت‌های مختلف را فراهم می‌کند.

۲. تصویربرداری از عروق:

- در تصویربرداری از عروق، به‌ویژه در بررسی جریان خون و نقص‌های عروقی، EPI قادر است تصاویر دقیق و سریع ایجاد کند.

۳. تصویربرداری دینامیک:

- برای بررسی تغییرات سریع در بافت‌های بدن یا در شرایطی که نیاز به تصویربرداری سریع در زمان واقعی وجود دارد، EPI به‌عنوان یک ابزار مفید و کارآمد شناخته می‌شود.

نتیجه‌گیری

تصویربرداری اکو صفحه‌ای (EPI) یکی از تکنیک‌های پیشرفته و سریع در MRI است که به‌ویژه برای تصویربرداری مغز و سایر بافت‌های نرم کاربرد دارد. با سرعت بالای اسکن و توانایی ایجاد تصاویر دقیق در زمان‌های کوتاه، EPI به‌عنوان ابزاری مؤثر در مطالعات پزشکی و پژوهشی مطرح است.