

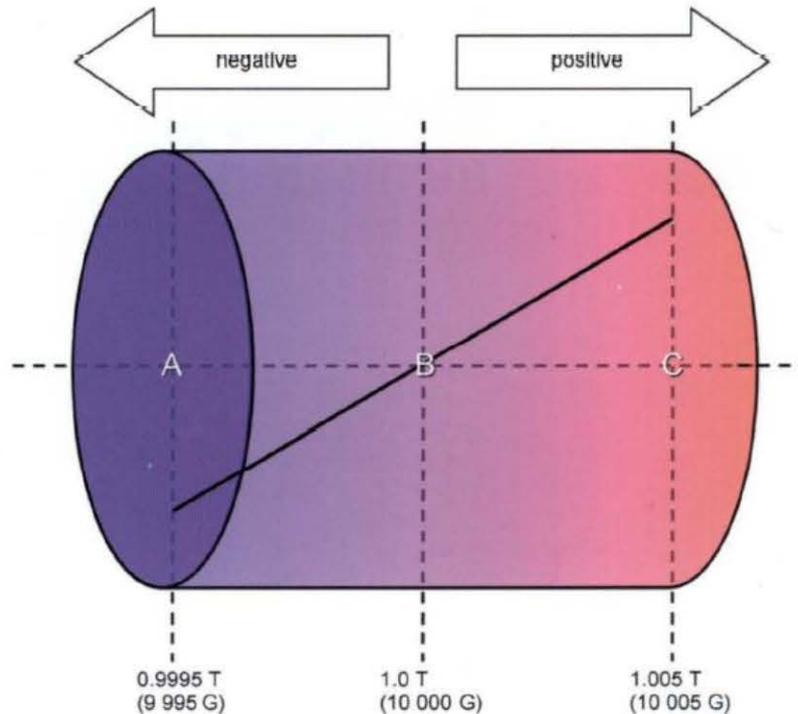
فصل سوم - انکدینگ

همانطور که قبلاً توضیح داده شد، برای اینکه رزونانس اتفاق بیفتد، یک میدان RF می بایست در 90° به B_0 در فرکانس تقدیمی (لارمور) هیدروژن اعمال شود. پالس RF به هسته هیدروژن انرژی می دهد تا مغناطش عرضی ایجاد شود. بعلاوه، پالس RF ممان های مغناطیسی منفرد هیدروژن را همفاز می کند. مغناطش عرضی همگرای ایجاد شده در فرکانس لارمور هیدروژن در صفحه عرضی حرکت تقدیمی انجام می دهد. در نتیجه، ولتاژ یا سیگنالی در کوئل گیرنده که در صفحه عرضی قرار گرفته است، القا می شود. این سیگنال صرفنظر از منشأ سیگنال در بیمار، دارای فرکانسی برابر با فرکانس لارمور هیدروژن است.

سیستم می بایست بتواند سیگنال را بطور مکانی در سه بعد مکان یابی کند و در نتیجه، هر سیگنال را در نقطه صحیح روی تصویر قرار دهد. برای این منظور، ابتدا یک اسلایس را انتخاب می کند. پس از انتخاب اسلایس، سیگنال در طول هر دو محور تصویر مکان یابی یا "انکد (encode)" می شود. این وظایف توسط گرادپان ها انجام می شود.

گرادیان ها

مکانیسم های گرادیان ها در مبحث قبلی (فصل ۲) معرفی شدند و در آینده نیز مورد بحث قرار خواهند گرفت. برای یادآوری، گرادیان ها تغییرات در میدان مغناطیسی اصلی هستند و توسط کویل های سیم پیچی که درون سوراخ مگنت قرار دارند و از آن ها جریان عبور می کند، ایجاد می شوند. عبور جریان از درون کویل گرادیان باعث ایجاد یک میدان مغناطیسی گرادیانی حول آن می شود و یا به میدان مغناطیسی ایستای B_0 اضافه یا از آن کم می شوند. مقدار B_0 بصورت خطی با کویل های گرادیان تغییر می کند و در نتیجه، می توان شدت میدان مغناطیسی و در نتیجه آن فرکانس تقدیمی که هسته هایی که در طول محور گرادیان هستند، در معرض آن قرار می گیرند، بیش بینی شوند (شکل ۳-۱). به این کار "انکدینگ مکانی" گفته می شود.



شکل ۳-۱- گرادیان ها و شدت میدان متغیر

به شکل ۳-۱ نگاه کنید. یک گرادیان اعمال شده است که شدت میدان مغناطیسی را به سمت راست مگنت افزایش می دهد (با رنگ قرمز) و به سمت چپ کاهش می دهد (به رنگ بنفش). تغییر در شدت میدان مغناطیسی خطی است و با این مقدار خاص در نقطه A، یک هسته میدانی برابر 0.9995 T را تجربه می کند، و هسته واقع در نقطه B (ایزوستتر) دقیقاً 1 T را تجربه می کند، و در نقطه C، هسته میدانی معادل 1.005 T را تجربه می کند. در همه دیاگرام های گرادیانی در این کتاب، میدان

های مغناطیسی بیشتر از ایزوسنتر با رنگ قرمز یا صورتی می میدان های مغناطیسی کمتر از ایزوسنتر، با رنگ آبی یا بنفش، نشان داده شده اند.

هسته هایی که شدت میدان مغناطیسی بیشتری را بعثت گرادیان تجربه می کنند، سرعتشان زیاد می شود، یعنی فرکانس تقدیمی آنها زیاد می شود؛ در حالی که، هسته هایی که شدت میدان مغناطیسی کمتری را بعثت گرادیان تجربه می کنند، سرعتشان کاهش می یابد، یعنی فرکانس تقدیمی آن ها کم می شود. در نتیجه، مکان یک هسته در طول گرادیان را می توان بر حسب فرکانس تقدیمی آن ها مشخص کرد.

جدول ۱-۳ تغییرات فرکانسی در طول گرادیان خطی که شدت میدان مغناطیسی را به اندازه 1G/cm تغییر می دهد، را نشان می دهد.

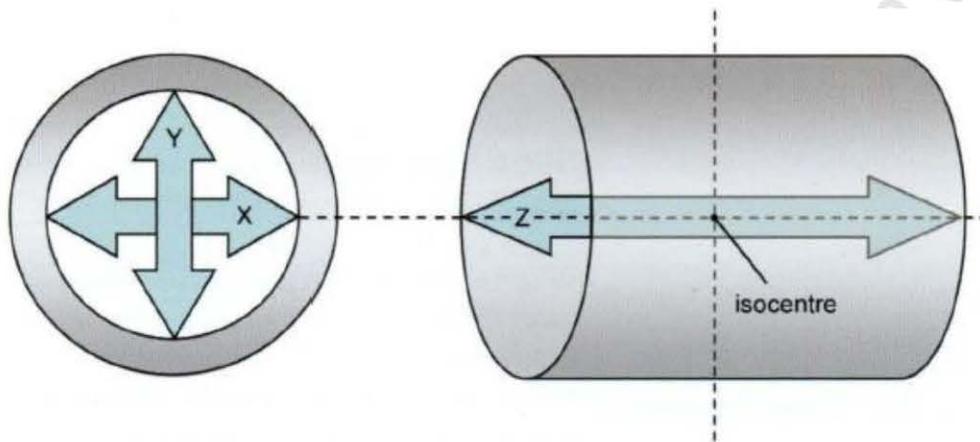
Table 3.1 Frequency changes along a linear gradient.

Position along gradient	Field strength	Larmor frequency
At isocentre	10 000 G	42.5700 MHz
1 cm negative to isocentre	9 999 G	42.5657 MHz
2 cm negative to isocentre	9 998 G	42.5614 MHz
1 cm positive to isocentre	10 001 G	42.5742 MHz
2 cm positive to isocentre	10 002 G	42.5785 MHz
10 cm negative to isocentre	9 990 G	42.5274 MHz

سه کوئیل گرادیانی درون سوراخ مگنت قرار دارند و هنگام روشن شدن بر اساس محوری که در راستای آن عمل می کنند، نامگذاری می شوند. شکل ۳-۲ این جهات را در مگنت فوق ابررسانا نشان می دهد.

- گرادیان Z شدت میدان مغناطیسی را در طول محور (بلند) Z مگنت تغییر می دهد.
- گرادیان Y شدت میدان مغناطیسی در طول محور (عمودی) Y مگنت تغییر می دهد.
- گرادیان X شدت میدان مغناطیسی را در طول محور (افقی) X مگنت تغییر می دهد.
- ایزوسنتر مغناطیسی، نقطه مرکزی محور هر سه گرادیان و سوراخ مگنت است. شدت میدان مغناطیسی و در نتیجه، فرکانس تقدیمی حتی وقتی گرادیان ها اعمال می شوند، دست نخورده باقی می ماند.

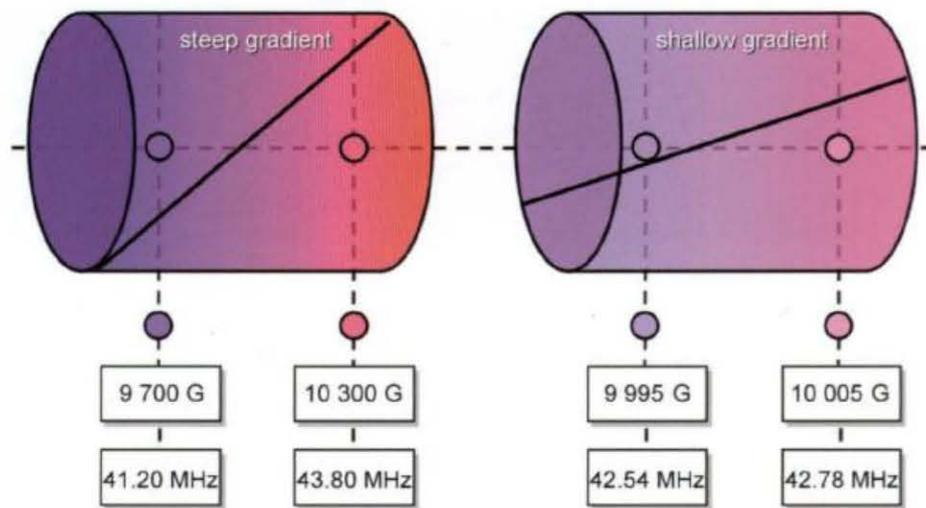
مگنت های دائمی محورهای مختلفی دارند. محور Z همانطور که در شکل ۲-۳ نشان داده شده است، عمودی است (نه افقی). شدت میدان مغناطیسی در ایزوسنتر حتی زمانی که گرادیان ها روشن باشند، همیشه برابر با B_0 است (مثلا 1.5T، 1 T، و 0.5 T).



شکل ۲-۳- محورهای گرادیان

هنگامی که کوئل گرادیانی روشن شود، شدت میدان مغناطیسی نسبت به ایزوسنتر یا از B_0 کم می شود یا به آن اضافه می شود. شیب میدان مغناطیسی حاصل، مقدار گرادیان میدان مغناطیسی است و نرخ تغییر شدت میدان مغناطیسی را در طول محور گرادیانی تعیین می کند. شیب های تند گرادیانی، شدت میدان مغناطیسی بین دو نقطه را بیش از شیب های گرادیانی کم تغییر می دهند. در نتیجه، شیب های گرادیانی تند، فرکانس تقدیمی هسته ها را بین دو نقطه بیش از شیب های

گرادیانی کند تغییر می دهند. در این شکل با توجه به اینکه هر Tesla معادل 10000 Gauss است، برای ساده تر کردن ریاضیات، از واحد گاوس استفاده شده است.



شکل ۳-۳- شیب های تند و کند گرادیانی

گرادیان ها کارهای بسیار مهمی در حین اعمال یک پالس سکانس انجام می دهند. گرادیان ها را می توان برای همفاز یا غیرهمفاز کردن ممان های مغناطیسی هسته ها استفاده کرد. گرادیان ها همچنین وظایف زیر را در آنکدینگ انجام می دهند:

- انتخاب اسلایس—مکان یابی یک اسلایس درون صفحه منتخب اسکن

• مکان یابی (کد گذاری) سیگنال در طول محور بلند آناتومی —به این کار، **انکدینگ** یا

کدگذاری فرکانس (Frequency Encoding) می گویند.

• مکان یابی (کد گذاری) سیگنال در طول محور کوتاه آناتومی —به این کار، **انکدینگ** یا

کدگذاری فاز (Phase Encoding) گفته می شود.

انتخاب اسلایس

هنگامی که کویل گرادیان روشن می شود، شدت میدان مغناطیسی و در نتیجه، فرکانس تقدیمی

هسته های واقع در طول آن بصورت خطی تغییر می کند. در نتیجه، نقطه خاص در طول محور

گرادیان فرکانس تقدیمی خاصی دارد (شکل ۳-۳). در نتیجه، هسته های واقع درون یک اسلایس

فرکانس تقدیمی مشخصی دارند. در نتیجه، یک اسلایس می تواند بصورت انتخابی با انتقال RF با

باند فرکانسی شامل فرکانس های لارمور اسپین ها در یک اسلایس خاص که توسط گرادیان

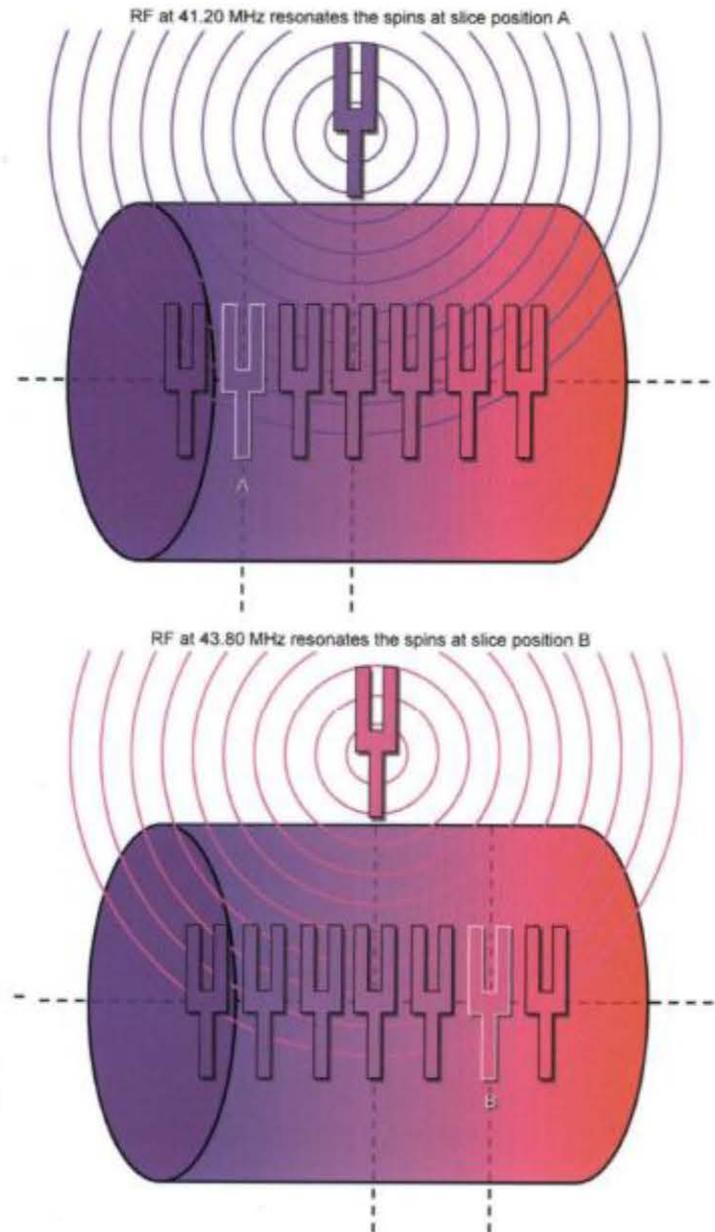
انتخاب اسلایس تعریف می شود، تحریک شود. رزونانس هسته های درون اسلایس بعلاوه اعمال

RF مناسب با آن مکان رخ می دهد. با این حال، هسته های قار گرفته در اسلایس های دیگر در

طول گرادیان رزونانس نمی کنند، زیرا فرکانس تقدیمی آن ها بعلت حضور گرادیان متفاوت است

(شکل ۳-۴).

Quantitative Medical Imaging Systems Group (QMISG)



شکل ۳-۴- انتخاب اسلایس

نکته آموزشی: انتخاب اسلایس و مثال چنگال تنظیم کننده

به شکل ۳-۴ که در آن چنگال های تنظیم کننده برای نشان دادن چگونگی انتخاب اسلایس استفاده شده اند. در دیاگرام بالایی، یک گرادیان برای تغییر شدت میدان مغناطیسی از کم (آبی) به زیاد (قرمز) اعمال می شود. تصور کنید که می خواهیم سعی کنیم اسلایس A را انتخاب کنیم. با این مقدار خاص گرادیان، اسپین ها در این اسلایس با روشن شدن گرادیان، فرکانس تقدیمی 41.20 MHz دارند. اسپین های واقع در هر طرف این اسلایس فرکانس متفاوتی دارند، زیرا گرادیان شدت میدان را در عرض مگنت تغییر داده است. بدون گرادیان، همه اسپین ها در فرکانسی برابر حرکت تقدیمی انجام می دهند و در نتیجه، نمی توان میان آن ها افتراق ایجاد کرد. ولی با اعمال گرادیان، فرکانس تقدیمی اسپین ها در عرض مگنت تغییر می کند و در نتیجه اسپین های واقع در طول محور Z در اسلایس های مختلف با فرکانس های متفاوتی حرکت تقدیمی انجام می دهند.

این مساله معادل آن است که چنگال های تنظیم شده با فرکانس های مختلف در عرض محور Z مگنت داشته باشیم. برای تولید رزونانس و تحریک اسپین ها در اسلایس A، یک پالس تحریک RF که مطابق با فرکانس تقدیمی اسپین ها در اسلایس A است (فرکانس 41.20 MHz) می بایست

اعمال شود. با این کار، رزونانس تنها در اسپین های اسلایس A رخ می دهد؛ اسپین های بقیه اسلایس ها بعلت داشتن حرکت تقدیمی در فرکانس های متفاوت، رزونانس نمی کنند. برای ایجاد اثر مشابه در اسلایس B (دیاگرام پایینی) یک پالس تحریک RF با فرکانس 43.80 MHz می بایست برای ایجاد رزونانس در اسپین های اسلایس B اعمال شود. در این مثال، اسلایس های اگزیتال با اعمال گرادیان انتخاب اسلایس در حین اعمال پالس تحریک، تحریک می شوند (با فرض آنکه بیمار در وضعیت supine قرار گرفته باشد).

صفحه منتخب اسکن تعیین می کند که کدامیک از سه گرادیان انتخاب اسلایس را در حین پالس تحریک انجام می دهد (شکل ۳-۵).

- گرادیان Z شدت میدان و فرکانس تقدیمی در طول محور Z مگنت را تغییر می دهد و در نتیجه، اسلایس های اگزیتال (axial) را انتخاب می کند.
- گرادیان X شدت میدان و فرکانس تقدیمی در طول محور X مگنت را تغییر می دهد و در نتیجه، اسلایس های ساژیتال (sagittal) را انتخاب می کند.

- گرادیان γ شدت میدان و فرکانس تقدیمی در طول محور γ مگنت را تغییر می دهد و در نتیجه اسلایس های کرونال (coronal) را انتخاب می کند.
- اسلایس های اریب (oblique) توسط دو گرادیان ترکیبی انتخاب می شوند.

MRI in Practice, Chapter 3: By Catherine Westbrook, 2006

مرجع: