

کدگذاری فاز (Phase Encoding)

سیگنال می بایست در راستای محور کوتاه باقیمانده تصویر مکان یابی شود که به آن "کدگذاری فاز" اطلاق می شود. هنگامی که گرادیان کدگذاری فاز روشن می شود، شدت میدان مغناطیسی و در نتیجه، فرکانس تقدیمی هسته ها در راستای محور گرادیانی تغییر می کند. در صورت تغییر سرعت حرکت تقدیمی هسته ها، فاز ممان های مغناطیسی در طول مسیر حرکت تقدیمی تغییر می کند. هسته هایی که سرعتشان به علت حضور گرادیان زیاد می شود، حول مسیر تقدیمی جلوتر حرکت می کنند (نسبت به وقتی که گرادیان ها اعمال نشده اند). هسته هایی که به علت حضور گرادیان سرعتشان کم شده است، بیشتر در طول مسیر حرکت تقدیمی شان عقب می روند (نسبت به وقتی که گرادیان اعمال شده باشد).

نکته آموزشی: کدگذاری فاز و تمایل ساعت

مثال ساعت برای درک آسان چگونگی عملکرد کدگذاری فاز مناسب است. تصور کنید که ساعت زمان ۱۲ را نشان می دهد که این برابر با فاز ممان مغناطیسی هسته ای که تحت میدان B_0 قرار می گیرد، می باشد. هنگامی که گرادیان کدگذاری فاز روشن می شود، شدت میدان مغناطیسی،

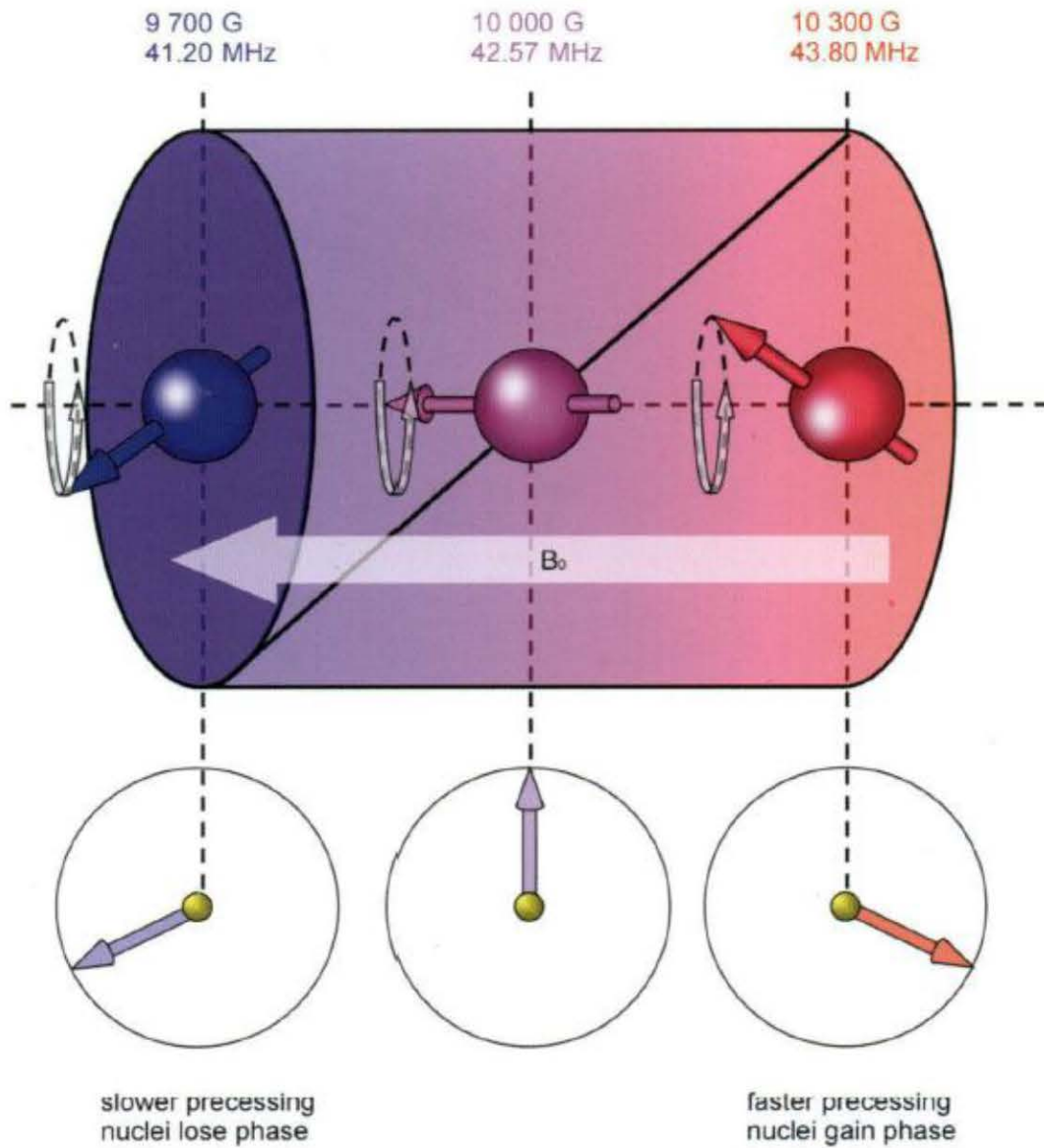
فرکانس تقدیمی، و فاز ممان های مغناطیسی هسته ها بر اساس مکانی که آن ها در طول گرادیان دارند، تغییر می کند. ممان های مغناطیسی هسته هایی که شدت میدان بالاتری تجربه می کنند، فاز به دست می آورند یعنی حول ساعت جلو می روند (مثلا روی زمان ساعت ۴ قرار می گیرند)؛ چون هنگامیکه گرادیان روشن است، سریعتر حرکت می کنند. ممان های مغناطیسی هسته هایی که شدت میدان پایین تری تجربه می کنند، فاز از دست می دهند؛ یعنی، در ساعت به عقب برمیگردند (مثلا به ساعت ۸ برمیگردند)؛ چون هنگامی که گرادیان روشن است آهسته تر حرکت می کنند. ممان های مغناطیسی هسته ها در ایزوستتر شدت میدان متفاوتی تجربه نمی کنند و فاز آنها بدون تغییر باقی می ماند (یعنی ساعت ۱۲) (شکل ۳-۱۰).

حال، یک اختلاف فاز یا شیفت بین ممان های مغناطیسی هسته ها که در راستای گرادیان قرار گرفته اند، ایجاد می شود. هنگامی که گرادیان کدگذاری فاز خاموش می شود، شدت میدان مغناطیسی که هسته تجربه می کند به شدت میدان مغناطیسی اصلی (B0) باز میگردد و در نتیجه، فرکانس تقدیمی همه هسته ها به فرکانس لارمور بر میگردد. با این حال، اختلاف فاز بین هسته ها باقی می ماند. هسته ها با سرعتی برابر حول مسیرهای حرکت تقدیمی شان حرکت می کنند، ولی فاز یا مکان

روی ساعت برای آنها متفاوت است چون قبلا یک گرادیان روشن بود. این اختلاف فاز بین هسته

ها برای تعیین مکان آنها در طول گرادیان کدگذاری فاز استفاده می شود.

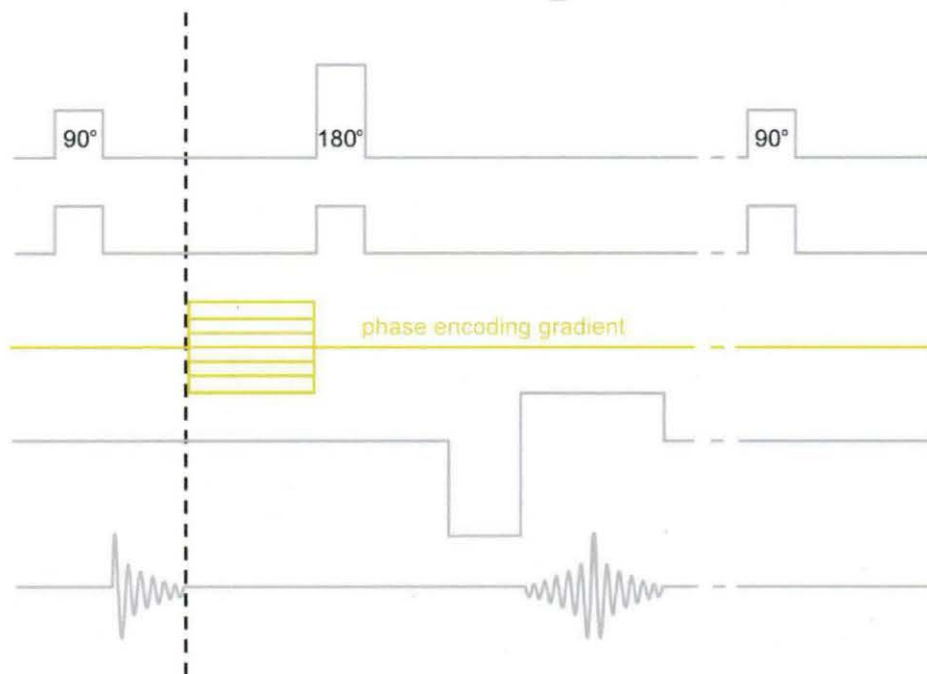
Quantitative Medical Imaging Systems Group (QMISG)



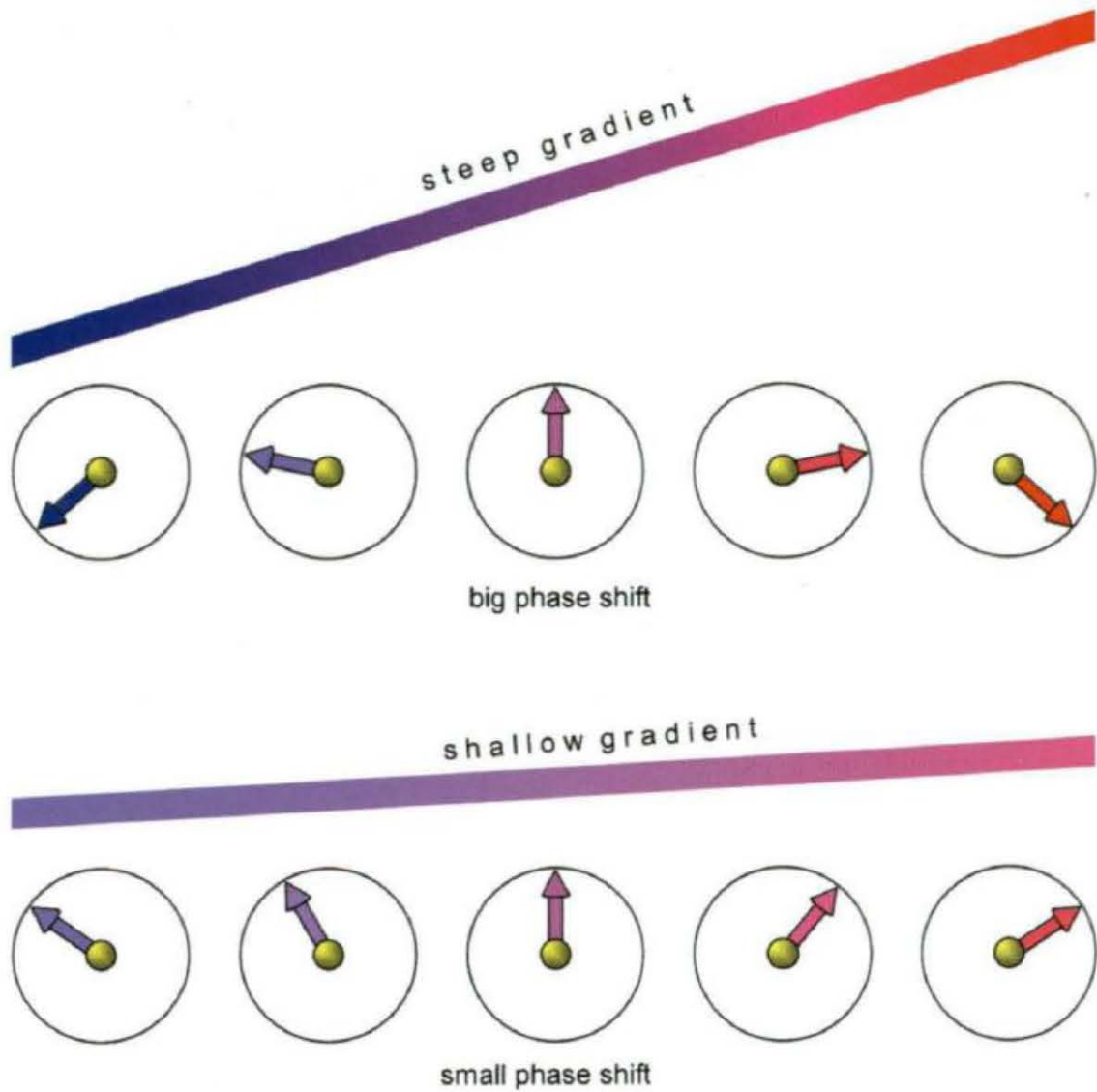
شکل ۱۰-۳- کدگذاری فاز

گرادیان کدگذاری فاز معمولاً قبل از اعمال پالس های متمرکز کننده 180 روشن می شود (شکل ۳-۱۱). میزان تندی شیب گرادیان کدگذاری فاز تعیین کننده درجه شیفت فاز بین دو نقطه در طول گرادیان است (شکل ۳-۱۲).

گرادیان کدگذاری فاز دارای شیب تند باعث ایجاد شیفت فاز زیادی بین دو نقطه، مثلاً ساعت ۸ و ساعت ۴، در طول گرادیان می شود؛ در حالیکه شیب آهسته کدگذاری فاز باعث ایجاد شیفت فاز کمتری بین همان دو نقطه در طول گرادیان می شود (مثلاً ساعت ۱۰ و ۲ در شکل ۳-۱۲).



شکل ۳-۱۱- زمان بندی کدگذاری فاز در پیک پالس سکانس



شکل ۳-۱۲- گرادین های فاز با شیب سریع و آهسته

شکل ۳-۱۳، جدول ۳-۲ و لیست زیر مفاهیم اساسی کدگذاری مکانی را خلاصه وار نشان می دهند.

- گرادیان کدگذاری فاز، فاز را در طول محور باقیمانده تصویر که معمولاً محور کوتاه آناتومی است، تغییر می دهد.
- در تصاویر کروئال، محور کوتاه آناتومی معمولاً در طول محور بلند مگنت قرار می گیرد و در نتیجه، گرادیان X کدگذاری فاز را انجام می دهد.
- در تصاویر ساژیتال، محور کوتاه آناتومی معمولاً در طول محور عمودی مگنت قرار دارد و در نتیجه، گرادیان Y کدگذاری فاز را انجام می دهد.
- در تصاویر اگزیتال، محور کوتاه آناتومی معمولاً در راستای محور عمودی مگنت قرار می گیرد و در نتیجه گرادیان Y کدگذاری فاز را انجام می دهد. با این حال، وقتی سر را تصویربرداری می کنیم، محور کوتاه آناتومی در راستای محور افقی مگنت قرار می گیرد و در نتیجه، گرادیان X کدگذاری فاز را انجام می دهد.

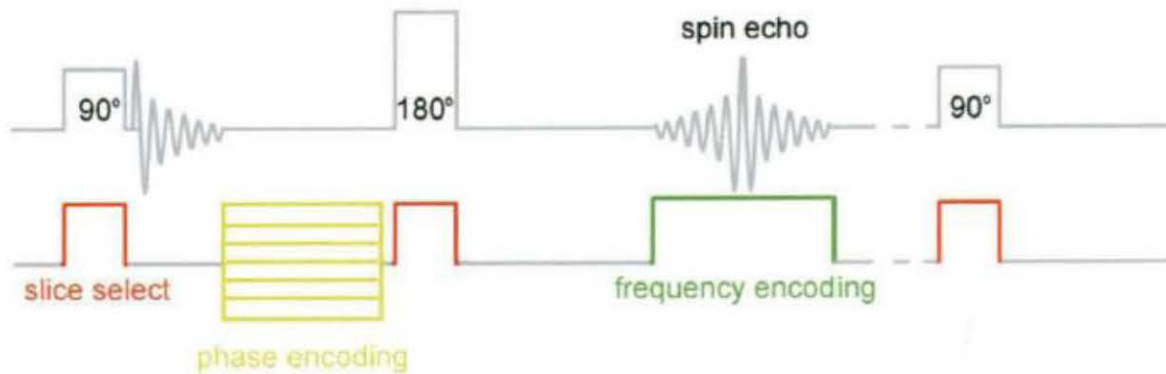
Table 3.2 Gradient axes in orthogonal imaging.

Plane	Slice selection	Frequency encoding	Phase encoding
Sagittal	X	Y	Z
Axial (body)	Z	Y	X
Axial (head)	Z	X	Y
Coronal	Y	X	Z

خلاصه:

- گرادیان انتخاب اسلایس در حین پالس های 90° و 180° در پالس سکانس های اسپین اکو روشن می شوند، و فقط در پالس سکانس های گرادیان اکو در حین پالس تحریک روشن می شوند.
- شیب گرادیان انتخاب اسلایس تعیین کننده ضخامت اسلایس و شکاف اسلایس است (همراه با پهنای باند انتقال)
- گرادیان کدگذاری فاز تنها کمی زودتر از پالس 180° در اسپین-اکو، و بین پالس تحریک و پالس جمع آوری سیگنال در گرادیان-اکو روشن می شود.

- شیب گرایان کد گذاری فاز تعیین کننده درجه شیفیت فازی در طول محور کد گذاری است.
- این مساله تعیین کننده ماتریس فاز است
- گرادیان کد گذاری فرکانس در حین جمع آوری سیگنال روشن می شود
- مقدار گرادیان کد گذاری فرکانس تعیین کننده دو بعد FOV هستند
- زمان بندی همه این سه عملکرد گرادیان ها در حین یک پالس سکانس در شکل ۳-۱۳ نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۳- زمان بندی گرادیان در پالس سکانس اسپین اکو

نکته آموزشی: استفاده از تمثیل ساعت برای درک کدگذاری مکانی

تمثیل ساعت روش مناسبی برای به یاد آوردن چگونگی کدگذاری گرادیان ها است. تصور کنید دو نفر ساعت هایی به مچ بسته اند که با هم تنظیم شده اند و ساعت را دقیق نشان می دهند. آن ها برای ۱۵ دقیقه به داخل اتاق اسکن MRI قدم میگذارند. میدان مغناطیسی اسکنر بر روی زمان نگه داشتن ساعت ها تاثیر می گذارد زیرا عقربه های ساعت ها را مغناطیسی می کند. فردی که به مگنت نزدیکتر قرار گرفته است، بعلت بیشتر بودن شدت میدان، بیشتر تحت تاثیر قرار می گیرد. فردی که دورتر ایستاده است، به میزان کمتری تحت تاثیر قرار می گیرد زیرا میدان مغناطیسی کمتر قوی است.

سپس اگر آنها از اتاق بیرون روند، دیگر توسط میدان مغناطیسی تحت تاثیر قرار نمی گیرند و یک غریبه اگر به ساعت های آنها نگاه کند می تواند بگوید کدامیک به مگنت نزدیک و کدامیک دورتر بوده اند. این بدان علت است که عقربه های ساعت فردی که نزدیکتر به مگنت ایستاده بود بیشتر از ساعت فردی که دورتر ایستاده غیرهمفاز شده است. به بیان دیگر، غریبه شیفت فرکانس و فاز عقربه های ساعت را که در اثر اعمال میدان مغناطیسی به ساعت ها ایجاد شده اند، استفاده کرده

تا بصورت مکانی محل نسبی قرارگیری هر فرد را هنگامی که در اتاق بوده اند، نسبت به مگنت کدگذاری مکانی کند.

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

مرجع: