

「Gradient Echo 法の基礎」

GE ヘルスケア・ジャパン株式会社
MR 営業推進部 平田 直樹

はじめに

Gradient Echo 法は Spin Echo 法と並び MRI の基本的なパルスシーケンスである。今回は Gradient Echo 法の基礎および TR、TE、Flip Angle がコントラストに与える影響について解説する。

Gradient Echo 法

Gradient Echo 法は前号で解説した Spin Echo 法と比べて決定的な違いがあるが、それは 180° パルスを使用しないことである。Spin Echo 法では励起パルス印可の後、コントラストを得たいエコータイム (TE) でプロトンが収束するように 180° パルスを印可する。TE における信号が最大となるよう、 180° パルスは TE/2 の時間において印可される (図 1)。

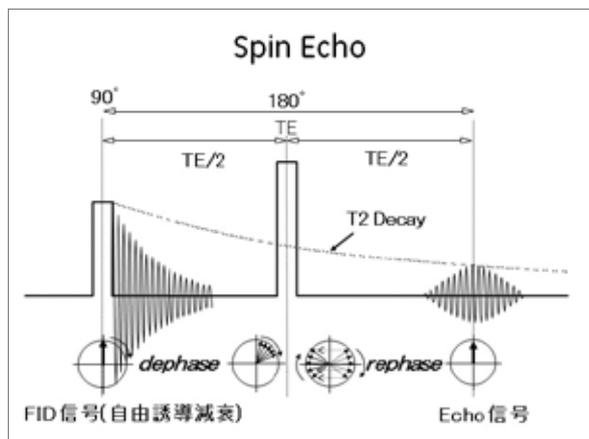


図 1. Spin Echo による信号収集の様子

Gradient Echo 法では位相エンコード、周波数エンコード、スライス選択は Spin Echo と同じように行われる。しかし Gradient Echo 法では収束用の 180° パルスはなく、エコー信号は周波数エンコード軸方向に与えられる傾斜磁場を制御して発生させる。まずは周波数方向に与えられた第 1 の傾斜磁場パルスによって信号が dephase される。

これに続くリードアウト傾斜磁場は第 1 の dephase を行う傾斜磁場とは極性が逆で、横磁化を rephase する働きを持つ。リードアウト傾斜磁場パルスの面積 (磁場の強さ×持続時間) が第 1 傾斜磁場パルスの面積に等しくなったとき、rephasing が完了し、エコー信号は最大となる。この点が収集時間の中点に来るようにリードアウト傾斜磁場が調整される (図 2)。

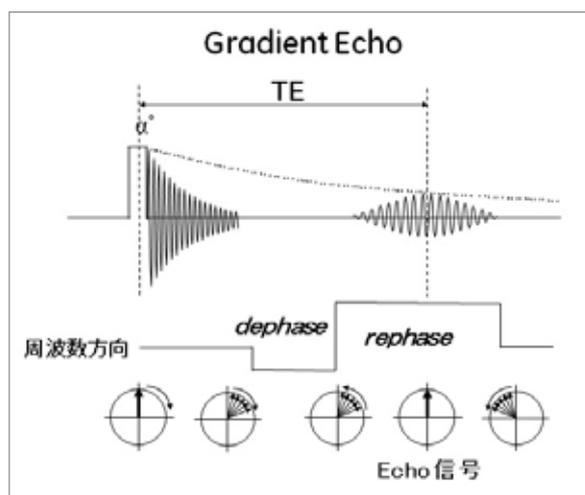


図 2. Gradient Echo による信号収集の様子

Gradient Echo 法の特徴

Gradient Echo では 180° パルスがない分 Spin Echo より TR、TE を短くすることが可能である。また Gradient Echo では 180° パルスがないため磁場の不均一によって生じた dephasing は refocus されない。従って Gradient Echo において設定した TE における信号強度は $T2^*$ に依存した値となり、組織の磁化率に鋭敏となる。Gradient Echo シーケンスが鉄沈着や出血などの病変の描出に優れるのはこのためである。ただしこれらの現象はデメリットにもなる。磁場不均一のある場所では S/N の低下を招き、また信号抜けなどのアーチファクトの原因となる (図 3)。

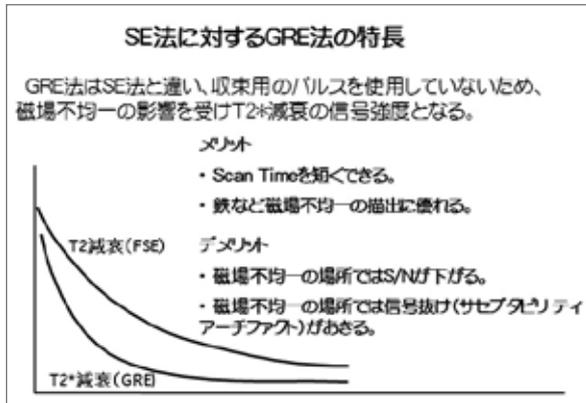


図3. Gradient Echo 法の特徴

In Phase と Out of Phase

‘In Phase’‘Out of Phase’という現象は、Gradient Echo 法において、水と脂肪が異なる周波数で歳差運動を行うための現象である。水と脂肪の磁気回転比がごくわずかではあるが異なっていることが原因となっている。従って歳差運動周波数の違いにより位相が揃う瞬間と、位相が逆になる瞬間が存在することになる。前者を In Phase、後者を Out of Phase と呼ぶ。1.5T の静磁場におけるプロトンの歳差運動は 63.85MHz なので、プロトンは 1 秒間に 63.85×10^6 回転する。水と脂肪は 224Hz のズレがあり、脂肪は水より秒間に 224 回転遅れることになる。これは水と脂肪の位相が 1 秒間に 224 回位相が揃うことを示しており、時間に直すと約 4.5ms 毎に両者は同位相となる。これが In Phase である (図4)。

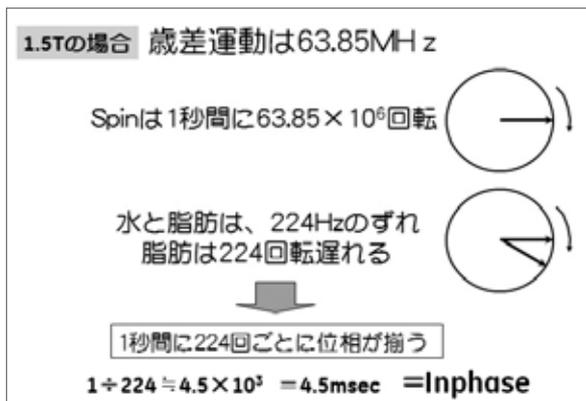


図4. In Phase

またここから約 2.25ms 進む毎に水と脂肪は逆位相となり、これが Out of Phase の状態となる。磁場強度が異なると In Phase と Out of Phase の TE も異なる (図5)

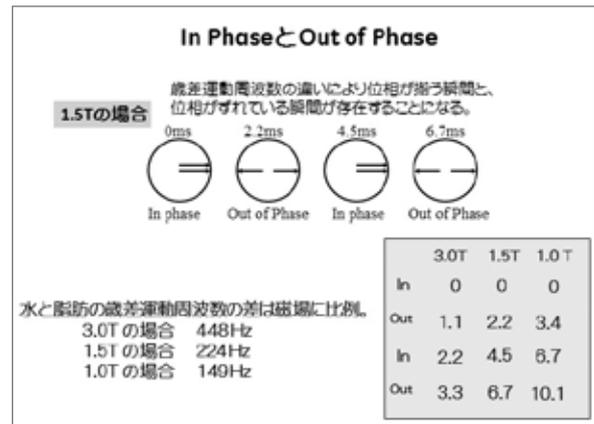


図5. 磁場強度による In, Out の違い

Gradient Echo 法のコントラスト

Gradient Echo のコントラストは非常に複雑である。図6は Gradient Echo のコントラストに関する式であるが、TR, TE のみでなく、フリップ角度もそのコントラストに大きく影響することが分かる。また組織の T1 値、T2 値も考慮に入れる必要がある。

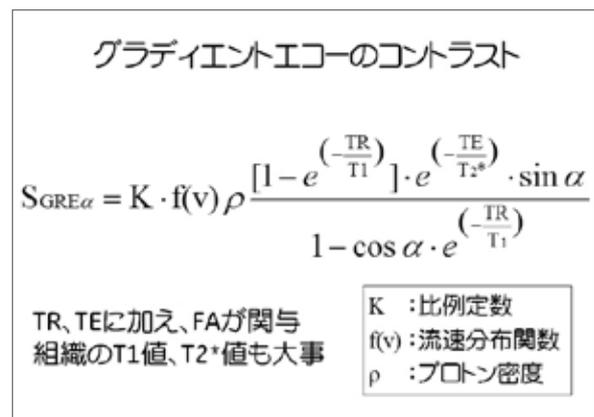


図6. Gradient Echo のコントラスト

フリップ角度が低い場合、 $\cos \alpha$ はおよそ 1 になるため TR に関する部分は打ち消し合う。よってこの場合、コントラストに寄与するのは TE/T2* とプロトン密度となる (図7)。

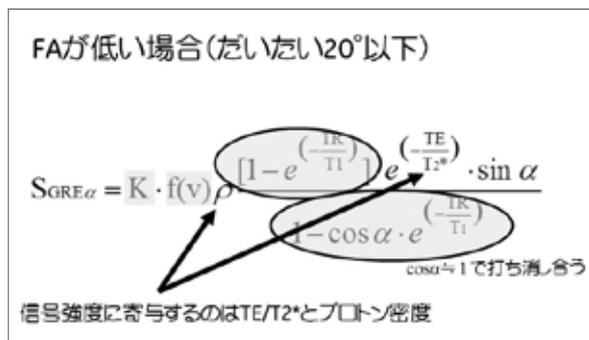


図7. フリップアングルが低いときのコントラスト

これに対しフリップアングルが高い(およそ90°)の場合、 $\cos \alpha$ は0となり分母がなくなる。この場合は信号強度に寄与するのはTR/T1とTE/T2*およびプロトン密度となる。さらにTE、TR、T2*、プロトン密度の値を考慮すると、TR、TE共に長い場合はT2*強調画像、TEとTR短い場合はT1強調画像、TEが短くTRが長い場合はプロトン密度強調像となる(図8)。

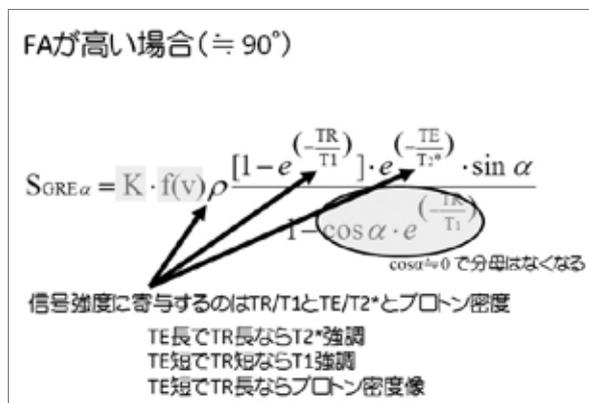


図8. フリップアングルが高いときのコントラスト

Gradient Echo 法のフリップアングル

さらに Gradient Echo 法のコントラストを理解する上で重要となるフリップアングルについて考える。TRが十分長い場合、十分なT1緩和時間が見込まれる。そのためフリップアングルは高いほうが信号強度は上がることになる(図9)。

これに対しTRが短い場合、T1緩和が十分ではないため低いフリップアングルのほうが信号値が高くなる(図10)。このように Gradient Echo 法では使用するTRによって、最適なフリップアングルが変わってくる。

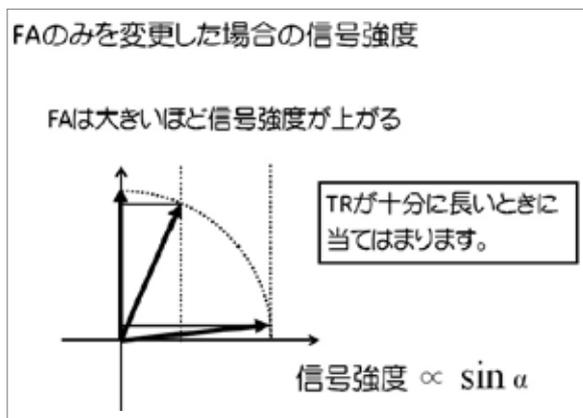


図9. TRが長い場合の信号強度

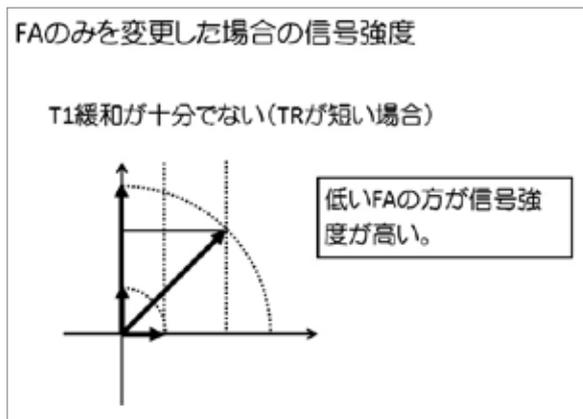


図10. TRが短い場合の信号強度

あるTRにおける最大の信号強度を得るは「エルンスト角」と呼ばれる。図11のように肝臓をTR4msで撮像する場合、エルンスト角は7.3°となる(図11)。Gradient Echo法では最適な画像を得るためにさまざまな影響を考慮したパラメータ設定が必要である。

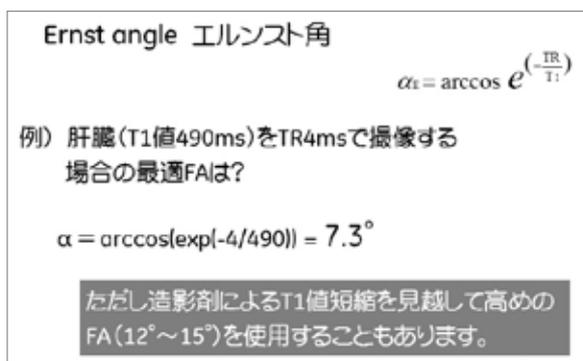


図11. エルンスト角

Advancing healthcare...together.

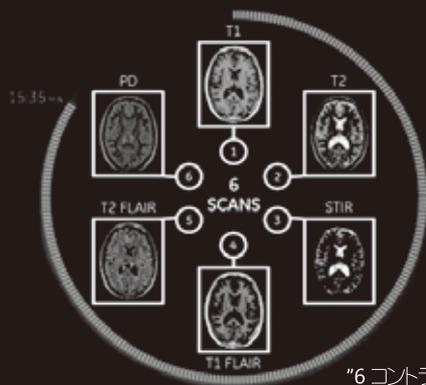
MAGiC (MAGnetic resonance image Compilation)



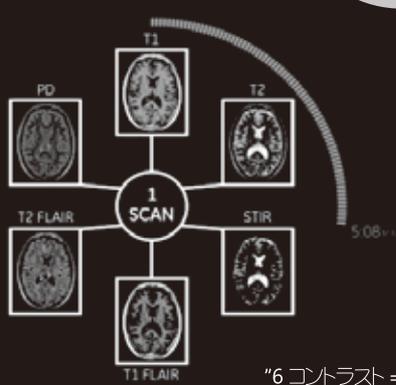
One and Done

通常の MRI 検査

MAGiC



"6 コントラスト = 6 スキャン"
撮像時間 = 約 15 分



"6 コントラスト = 1 スキャン"
撮像時間 = 約 5 分

ポストプロセス "6 コントラスト + 3 マップ"



MRI の検査時間を変える新たなイノベーション

MAGiC は『One and Done』のコンセプト通り、1 回の撮像で、6 種類 (+3 マップ) すべての画像が、後処理 (ポストプロセッシング) で再構成可能。

しかも、撮像後に TR, TE, TI を自由自在に変更できます。

この革新的技術は MRI の検査時間の短縮、診断への新たな寄与などに期待されます。

ぜひ、MAGiC を動画でご体験下さい。Web 検索 【GE ヘルスケア MAGiC】

Imagination at work

販売名称：シグナ Pioneer
医療機器認証番号：227ACBZX00011000
JB32821JA