

○平成18年度奨励研究

「高磁場MRIにおけるspin echo法輝度不均一の改善」

放射線技術科学科 講師 石森 佳幸

1. 研究目的

高磁場MRIでは誘電率効果によるB1不均一のため画像輝度の不均一が起こる。このため3T装置では浅いflip angle(FA)が使用できるgradient echo系(GRE)のパルスシーケンスを用いてT1強調像を取得している施設が多い。しかしGREではsusceptibilityの影響の強い部位での信号欠損、歪み、造影時のコントラスト変化などが問題で、Spin echo法(SE)のT1強調像の必要性は依然高い。そこで、高速かつ簡便な手法にてSE T1強調像の均一性改善を試みた。

2. 研究方法

理論

Spoiled Gradient Recalled Echo (SPGR) パルスシーケンスのスキャンパラメータと信号強度の関係は以下で示され、その信号強度は組織のT1値により異なりFAにより大きく変化する。

$$\text{Signal intensity (S)} = \kappa \cdot \rho \cdot \frac{[1 - \exp(-TR/T_1)] \cdot \sin \alpha \cdot \exp(-TE/T_2^*)}{1 - \exp(-TR/T_1) \cdot \cos \alpha}$$

κ : scaling factor, ρ : proton density, TR : repetition time, TE : echo time, T_1 : 組織の T_1 値, T_2^* : 組織の T_2^* 値, α : flip angle.

しかし、最大信号強度を得るErnst angleより離れたFAでの信号強度の変化率(slope)のT1値依存性は低い(図1)。この変化率の空間的なバラつき = B1不均一として、補正係数を算出しSE T1強調像の信号強度に乗ずることによって輝度不均一を補正した。

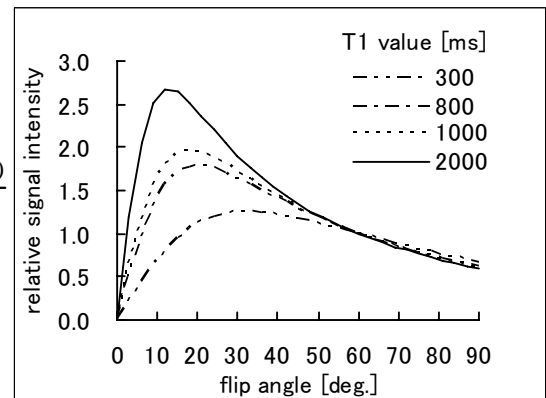


図1 SPGRのflip angleと信号強度の関係 (FA60度の信号強度を1とした場合)

処理の流れ

- SE T1強調像と同一geometryにてvariable FA SPGR dual echoの撮像。
- TEの異なる2つの画像から T_2^* を以下により求め、TE=0msの画像を作成。
 $1/T_2^* = \ln [S(TE_1)/S(TE_2)] / (TE_2 - TE_1)$ S(TE1) : TE1の画像のsignal, S(TE2) : TE2の画像のsignal
- FAの異なる2つの画像からslope画像の作成。
 $\text{slope} = S(FA_1, TE_0) / S(FA_2, TE_0)$
S(FA1, TE0) : FA1の T_2^* 補正後画像のsignal, S(FA2, TE0) : FA2の T_2^* 補正後画像のsignal
- slope画像をlow pass filter処理し輝度補正フィルタを作成。low pass filterはガウス型周波数フィルタを用いた。
- 得られた輝度補正フィルタを対象となるSE画像に乗算して輝度不均一を補正。

検討項目

生体組織とT1値, T2値, 誘電率を等価にしたファントムを用いて処理条件の変化によるSE T1強調像の全均一度を補正前後でNEMA法にて測定した。

$$\text{全均一度 (\%)} = (\text{max.} - \text{min.}) / (\text{max.} + \text{min.}) \times 100$$

max. : 被写体の75%領域内の最大信号強度. min. : 被写体の75%領域内の最小信号強度

- slope画像作成用SPGRの撮像条件. TR, FAペアの違いによる均一度を比較。
- 輝度補正フィルタの作成条件. low pass filterのカットオフの違いによる均一度を比較。

3. 研究結果

slope画像作成用の撮像条件としてはTR 70ms, FA 90 & 45度が最も均一性改善効果があった(図2)。

輝度補正フィルタ作成のlow pass filterのカットオフは周波数空間中心部の1.5%領域以上であり均一性への変化はない(図3)。

本手法による高磁場MR SE T1強調像の輝度不均一の補正効果が確認された(図4)。

4. 考察(結論)

SPGRのErnst angleはTRが短いほど低FA側に移行し、高いFA領域での信号強度の変化率が大きくなる。また、TRが短いほど高いFA領域での信号強度変化率のT1値依存性も少ない。しかしTRが短すぎるとslope作成用画像のSNの低下, distortionなどにより良好な結果は得られず、TR75~100msが最適であった。

FAも撮像条件により十分な信号変化が得られる値を選択する必要がある。Miharaらの報告ではFA α と 2α の2つの画像の信号強度Sの比からFAの空間的分布を求めており、本手法も基本的には同様の原理による。しかし、組織のT1, T2値や撮像条件の違いによる信号強度の振る舞いは様々でそれらの影響を極力排除できる条件設定が必要である。本手法は適正条件によるT1値の影響, dual echoによるT2*の補正を考慮しており、これにより生体においても輝度不均一の補正が可能である。

slope画像はそのままではノイズが多く輝度補正フィルタとして利用できず何らかの処理が必要である。この処理条件によっても出力画像の画質は変化するため注意が必要である。

SPGRが磁場不均一により十分な信号が得られない場合や、血流や脂肪の影響でアーチファクトを生ずる場合もあり全身領域への適応には更なる検討が必要であるが、後頭蓋窩領域などでのSE T1強調像の利用価値は今後も高く、本手法では高速に補正データの取得が可能である。

5. 成果の発表(学会・論文等, 予定を含む)

石森佳幸, 他: Variable flip angle データによる高磁場MRIの輝度不均一の補正. 第34回日本核磁気共鳴医学会大会. (つくば)2006年9月

Ishimori Y. et al. Correction of inhomogeneous RF field in high field spin echo MRI based on multiple SPGR signals. Magn Reson Med Sci. 投稿中.

6. 参考文献

- (1) Mihara H, Iriguchi N, Ueno S. A method of RF inhomogeneity correction in MR imaging. MAGMA. 1998; 7(2):115-120.
- (2) Zelaya FO, Roffmann WU, Crozier S, Teed S, Gross D, Doddrell DM. Direct visualisation of B1 inhomogeneity by flip angle dependency. Magn Reson Imaging. 1997;15(4):497-504.

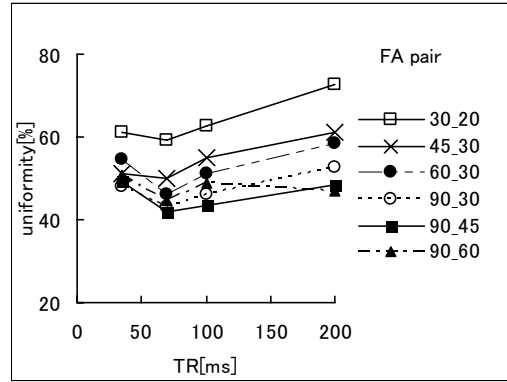


図2 slope計算用スキャン条件と均一度の関係

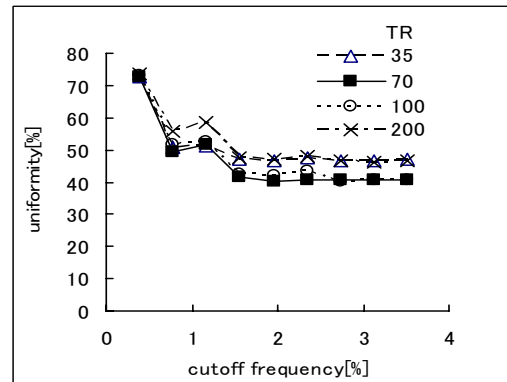


図3 low pass filter処理条件と均一度の関係

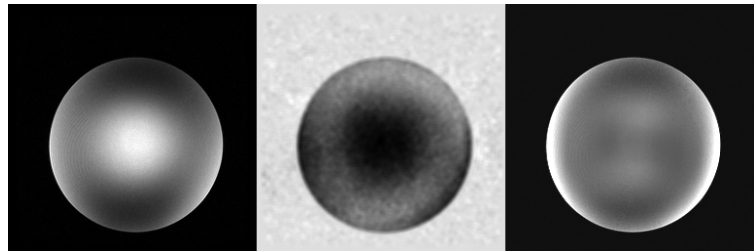


図4 ファントムによる処理結果
左: オリジナルSE 中: slope map 右: 補正後SE