

ノート

Fast Recoveryパルスによる
Fast Spin Echo画像の信号強度の増加に関する検討大久保真樹・大越幸和¹⁾・内藤健一¹⁾・八木下裕子¹⁾・蔡 篤儀論文受付
2002年12月3日論文受理
2003年4月22日

Code No. 261

新潟大学医学部保健学科放射線技術科学専攻
1) 新潟大学医学部附属病院放射線部

緒言

fast recovery fast spin echo (FR-FSE) 法は, fast spin echo (FSE) 法のシーケンスを基にして, その後にfast recovery (FR) パルスを加えた撮像法である^{1,2)}. FSE 法に比べ, 自由水などのT₂値が長い物質の信号強度を増強する効果がある³⁻⁹⁾. 最近注目されているTrue FISP (true fast imaging with steady-state precession) 法

にも同様の効果があるが, グラディエントエコー法であることから, 従来のFSE法によるT₂強調画像のコントラストとは異なる画像になるものと思われる^{10,11)}. また, 磁化率効果が問題になり, 空気や骨に接して複雑な解剖学的構造を有する部位などにおける撮像は難しい場合がある. FR-FSE法は, FSE法によるT₂強調画像のコントラストを保持したまま, T₂値が長い物質

Evaluation of the Increase in Signal Intensity from Applying the Fast Recovery Technique to Fast Spin Echo Images

MASAKI OHKUBO, YUKIO OHGOSHI,¹⁾ KENICHI NAITO,¹⁾ YUHKO YAGISHITA,¹⁾ and DU-YIH TSAI

Department of Radiological Technology, School of Health Sciences, Faculty of Medicine, Niigata University

1) Department of Radiology, Niigata University Medical Hospital

Received Dec. 3, 2002; Revision accepted April 22, 2003; Code No. 261

Summary

The aim of the present study was to evaluate the increase in signal intensity caused by applying the fast recovery (FR) technique to fast spin echo (FSE) images, that is, the fast recovery fast spin echo (FR-FSE) method. All images of phantoms, whose T₂ values were different, were acquired with a Signa 1.5 Tesla system (GE Medical Systems) using the three-dimensional (3D) FSE and 3D FR-FSE sequences. We assessed the increased signal intensity as follows (signal intensity on the FR-FSE image - FSE image) / FSE image (%). Our results showed that the increased signal intensity became high when 1) T₂ of the phantom was prolonged, 2) TR was shortened, and 3) echo train length (ETL) was decreased. By utilizing the results of this study, the increased signal caused by the FR technique could be estimated quantitatively when the TR, ETL, and T₂ of investigated substances were determined. For example, when TR, ETL, and T₂ were 1500 msec, 16-64, and 1500 msec, respectively, the increase in signal intensity was estimated to be approximately 70%. In addition, when T₂ was less than approximately 250 msec, signal intensity was not significantly increased by the FR pulses, that is, the FR-FSE image was the same as the FSE image. Accordingly, the FR-FSE method was confirmed to enhance the signal in substances with longer T₂, while maintaining the same contrast of the image as that obtained by the conventional FSE method. Our results are useful for evaluating the increased signal intensity caused by employing the FR technique.

Key words: Fast recovery (FR), Fast recovery fast spin echo (FR-FSE), FRFSE, 3D FR-FSE別刷資料請求先: 〒951-8518 新潟県新潟市旭町通2-746
新潟大学医学部保健学科放射線技術科学専攻 大久保真樹 宛

の信号強度を増強すると考えられる。

FR-FSE法に関する臨床的な報告はいくつかみられるが³⁻⁹⁾、基礎的な検討は少ない^{3,9)}。Schmalbrockの報告³⁾では、内耳液を対象とするシミュレーションなどにより、FR-FSE法における信号雑音比が検討されている。本研究では、種々の T_2 値を持つファントムを用いて、FR-FSE法で撮像した画像の信号強度をFSE法と比較し、FRパルスによる信号強度の増加を定量的に評価する。これにより、FRパルスの基本的な特性を明らかにする。

1. 方法

使用したMR装置はGE社製Signa(1.5T)で、コイルは標準のQuadrature Head Coilを利用した。ファントムを用いて、FR-FSE法とFSE法によってそれぞれ3次元(3D)の撮像を行った。撮像条件は、実効エコー時間(effective echo time: TE)100msec、加算回数1回、撮像視野(field of view: FOV)220mm、スラブ厚30mm、スラブ分割数(実効スライス厚5mm)、撮像マトリクス256×256である。繰り返し時間(repetition time: TR)を1000, 1500, 2000msecの3通り、エコートレイン数(echo train length: ETL)を16, 32, 64の3通り(およびTR=2000msecの場合のみETL 128の設定が可能)におのおの設定し撮像を行った。sampling bandwidthは±32.3kHz、echo spaceは約11msecである。FR-FSE法とFSE法の撮像において、送受信gainを一定に保った。

ファントムには、polyvinyl alcoholゲルを封入した既製のMRIファントム(型式90-401, 日興ファインズ)を用いた。このファントム中における T_2 値の異なる各セクションを利用した。さらに異なる T_2 値を持つファントムとして、Gd-DTPA希釈溶液を円柱上の容器に充填したものを作成した。これらの計12種のファントムについて、 T_1 値と T_2 値をあらかじめ、conventional SE法を用いて測定した。TEを一定にし、異なるTR(27~5000msec, 16通り)で撮像した各画像における信号強度を計測し、カーブフィッティングによって T_1 緩和曲線を求め、 T_1 値を算出した。同様に、TRを一定にし、異なるTE(22.5~360msec, 16通り)で撮像した各画像における信号強度を計測し、 T_2 値を算出した。各ファントムの T_1/T_2 値は、323/291, 624/481, 1118/790, 2862/1959, 1687/1127, 2264/1495, 2821/1813, 313/108, 411/110, 600/132, 677/78, 779/89msecである。 T_1/T_2 比は、 T_2 が250msec以上のファントム(7種)では 1.41 ± 0.16 であり、 T_2 が250msec未満のファントム(5種)では 5.72 ± 2.79 である。

FR-FSE法とFSE法によって撮像した画像における信号強度をおのおの求め、FRパルスによる信号強度

の増加率($(\text{FR-FSE画像の信号強度} - \text{FSE画像の信号強度}) / \text{FSE画像の信号強度} \%$)を算出する。

2. 結果

FR-FSE法によって撮像した画像(ETL 64)における信号強度は、FSE法に比べ T_2 が長いファントムほど高くなるのが分かる(Fig. 1)。この傾向は、TRが短い方がより大きくなる。各データにおいて、2次の多項式による近似曲線がよく適合している。

Fig. 1と同様に、ETLが16, 32(および128)の場合における信号強度の増加率を求めた結果から近似曲線を算出し、それらをまとめた結果をFig. 2に示す。いずれのETLにおいても、Fig. 1と同様の傾向がみられる。 T_2 値が約250msec以下になると、FRパルスによる信号強度の増加はほとんどみられない。また、ETLが16と32では差は少ないが、64に増加すると(TRが2000msecの場合には、ETLが128に増加すると)、FRパルスによる信号強度の増加が小さくなる傾向がみられる。

3. 考察

FR-FSE法による画像の信号強度をFSE法と比較し、FRパルスによる信号強度の増加を定量的に評価することができた。Fig. 2の結果は、FRパルスの基本的な特性を表すものと考えられる。これを利用して、TR, ETLおよび対象物の T_2 値を想定すれば、FRパルスによる信号強度の増加率を予測することができる。例えば、TRが1500msec(ETL 16~64)の設定では、 T_2 値が約1500msecの物質の信号強度は、FSE法に比べ約70%高くなると予想される。一方、 T_2 値が約250msec以下の物質ではFRパルスによる効果がほとんどないことから、FSE法と同様な画像になり、例えば、脳実質などの軟部組織のコントラストはFSE法に近いものになると考えられる。したがって、FSE法に比べ短いTRを用いた場合でも、 T_2 値が長い物質の信号強度を落とさずに、 T_2 強調画像を得ることができる。FSE法による画像の信号強度を基にして、Fig. 2の結果をあわせて考慮することにより、FR-FSE法における撮像条件の設定の際に有用な情報が得られるものと考えられる。

一例として正常男性1名の頭部をFR-FSE法とFSE法にて撮像を行った。撮像条件は、TR 1500msec、ETL 64であり、その他は今回の検討と同様である。あらかじめ、白質、灰白質および脳脊髄液における T_2 値を測定した(測定方法はファントムにおける方法と同様)。脳脊髄液(T_2 値は約1900msec)において、FR-FSE法による画像の信号強度はFSE法に比べ約95%増加した。白質と灰白質(T_2 値はいずれも約100msec)では、

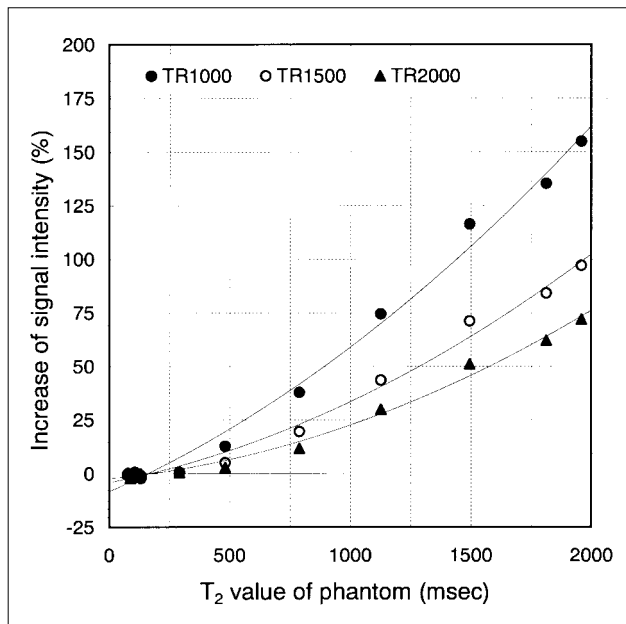


Fig. 1 Signal intensity increase from applying the FR technique to FSE images. The increase in signal intensity(%) is given by the ratio of the difference in signal intensity of the FR-FSE image and that of the FSE image to the signal intensity of the FSE image. ETL is 64.

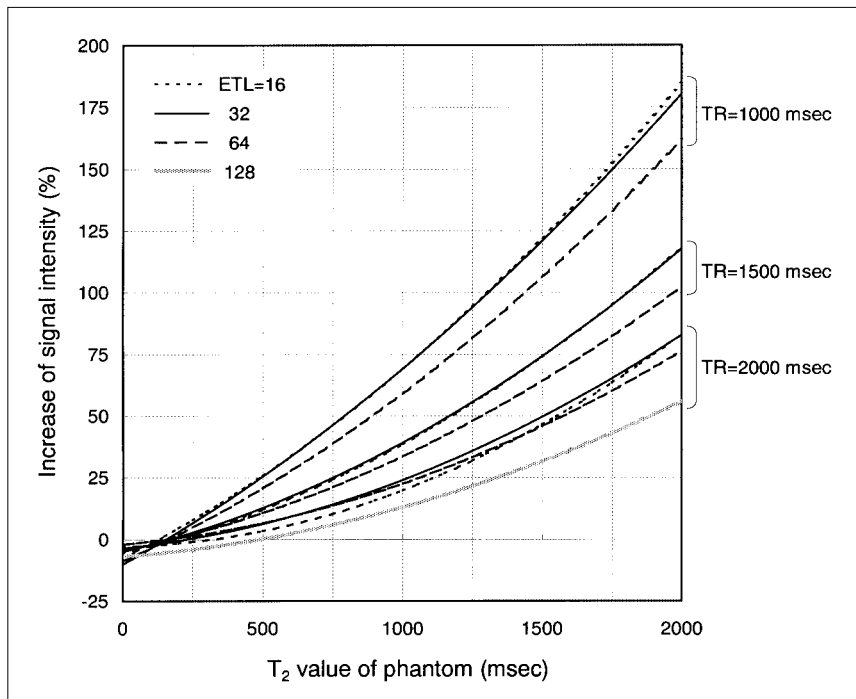


Fig. 2 Plots of the increase in signal intensity versus the T₂ value of the phantom for ETL=16, 32, 64, and 128, and for TR=1000, 1500, and 2000 msec.

信号強度増加率は5%未満であり、FSE法による画像と類似の画像となった。これらのデータは、いずれも Fig. 2の結果 (TR 1500msec, ETL 64)とよく一致しており、本研究における検討の妥当性が示唆された。

FRパルスによる信号強度の増加は、1)対象物のT₂が長い、2)TRが短い、3)ETLが少ない、場合に大きくなる傾向がみられた。T₂値が250msec以上のファントムでは、T₁/T₂比のばらつきが小さく、T₂が長ければT₁も長い。T₂が長い場合には、横磁化が大きく残存することからFRパルスによる効果が高い。またT₁が

長い場合には、FSE法およびFR-FSE法のいずれにおいても、回復する縦磁化の成分は小さい。FR-FSE法では、この回復した縦磁化成分に比べ、FRパルスによって残留横磁化から縦磁化に変換され付加された磁化成分の割合が大きくなる。この結果、FRパルスによる信号増加率が高くなると考えられる。TRが短い場合には、回復する縦磁化の成分が小さいことから、T₁が長い場合と同様に考えられ、前述のように、結果的にFRパルスによる信号増加率が高くなる。またETLが多くなると、FRパルスを付加するタイミングが遅

くなり、残存する横磁化が小さくなることから、FRパルスの効果が低下する。

今回の検討は、すべて3D撮像法を用いたものであるが、FRパルスの有無による信号強度を相対的に比較したものであることから、2Dにおける結果と大きな差異はないものと思われる³⁾。しかし、今回検討した以外の撮像条件やさまざまなT₁、T₂値を持つ物質など、種々の要因を考慮する必要があり、それによって評価が異なる可能性がある。これらに関する検討は今後の課題である。

4. 結 語

FSE法の画像において、FRパルスによる信号強度の増加を定量的に評価することができた。FRパルスの効果は、1)対象物のT₂が長い、2)TRが短い、3)ETLが少ない、場合に大きくなる傾向がみられる。今回の結果は、FRパルスによる信号強度の増加率を予測する際に、有用な情報を得るための一助となるものと考えられる。

参考文献

- 1) Oshio K, Williamson DS, Winalski CS, et al.: Fast recovery RARE for knee imaging. Proceedings of the sixth scientific meeting of ISMRM, 1090(1998)
- 2) Schwartz LH, Welber A, Maier CF, et al.: Fast recovery fast spin echo evaluation of focal hepatic lesions(abstr) Radiology, 217(P) 586-587(2000)
- 3) Schmalbrock P: Comparison of three-dimensional fast spin echo and gradient echo sequences for high-resolution temporal bone imaging. J Magn Reson Imaging, 12(6) 814-825, (2000)
- 4) 磯貝 聡, 竹原康雄, 磯田治夫, 他: Fast recovery single shot fast spin echo(FRSSFSE)法による嚙下運動の観察. 日磁医誌, 21(1), 34-36, (2001).
- 5) Masui T, Katayama M, Kobayashi S, et al.: T2-weighted MRI of the female pelvis: comparison of breath-hold fast-recovery fast spin-echo and nonbreath-hold fast spin-echo sequences. J Magn Reson Imaging, 13(6) 930-937(2001)
- 6) Katayama M, Masui T, Kobayashi S, et al.: Fat-suppressed T2-weighted MRI of the liver: comparison of respiratory-triggered fast spin-echo, breath-hold single-shot fast spin-echo, and breath-hold fast-recovery fast spin-echo sequences. J Magn Reson Imaging, 14(4) 439-449(2001)
- 7) Augui J, Vignaux O, Argaud C, et al.: Liver: T2-weighted MR imaging with breath-hold fast-recovery optimized fast spin-echo compared with breath-hold half-Fourier and nonbreath-hold respiratory-triggered fast spin-echo pulse sequences. Radiology, 223(3) 853-859(2002)
- 8) Naganawa S, Koshikawa T, Fukatsu H, et al.: Fast recovery 3D fast spin-echo MR imaging of the inner ear at 3 T. AJNR Am J Neuroradiol, 23(2) 299-302(2002)
- 9) 土橋俊男, 岩崎 淳, 藤田 功, 他: Fast recovery single shot fast spin echo法を用いたMR Cholangiopancreatographyの検討. 日放技学誌, 58(11), 1517-1523, (2002).
- 10) Carr HY: Steady-state free precession in nuclear magnetic resonance. Phys Rev, 112, 1693-1701(1958)
- 11) Huang TY, Huang IJ, Chen CY, et al.: Are trueFISP images T2/T1-weighted? Magn Reson Med, 48(4) 684-688(2002)

図表の説明

- Fig. 1 FRパルスによる信号強度の増加率: $(\text{FRFSE画像の信号強度} - \text{FSE画像の信号強度}) / \text{FSE画像の信号強度} (\%)$. ETLは64である。
- Fig. 2 ファントムのT₂値と信号強度の増加率の関係
ETLは16, 32, 64(および128), TRは1000, 1500, 2000msecである。