臨床技術

Driven Equilibrium Pulseを利用した
Turbo Spin Echo法(DRIVE)の基礎的検討論文受付
2005年11月22日論文受理
2006年5月11日

Code No. 261

金澤裕樹¹⁾・井上雄介^{1,2)}・石田憲一¹⁾

1) 京都第一赤十字病院放射線科

2) 金沢大学大学院医学系研究科量子診療技術学分野

緒言

DRIVEは、高速スピンエコー(turbo spin echo: TSE)撮像において、複数エコーの計測を行った後に180°パルスと-90°パルス(driven equilibrium pulse: DE pulse)を付加することにより、turbo spin echoエコートレインの最後に適用されたパルスをリセットし、緩和時間を早めて、Mzマグネタイゼーションの平衡状態に戻すシーケンスである。特にT2値が長い組織の信号強度を保持したままTRを短縮することが可能となる。短いTRが使用されると、撮像時間の短縮が見込まれる。またDE pulseによりT2強調コントラストがもたらされ、DE pulseを使用しないturbo spin echo法よりも、CSF(cerebrospinal fluid)などからの液体信号が強くなる。臨床的に有用とされているのは、内耳、脊椎、肝臓、軟骨などである¹⁻⁵⁾。

今回われわれは、driven equilibrium pulseを利用したturbo spin echo法(DRIVE)について、TRがどの程度まで短縮可能であるか、他のturbo spin echo法のパラメ

ーターの影響がないか、検討を行ったので報告する。

1. 方法

1-1 理論

DRIVE法のパルスシーケンスチャートをFig. 1に示す。MR信号計測を行うturbo spin echoシーケンス部の後に、この撮像法で特徴的な180°パルスと-90°パルス(DE pulse)を付加している。このDE pulse部では通常のturbo spin echo部終了後、残存している横磁化を180°パルスにて再収束させ、次に-90°パルスにより再収束した横磁化を縦磁化へ強制的に回復させる。このとき、turbo spin echoシーケンス部最後の180°パルスとDE pulse部180°パルスの時間間隔をIET(inter echo time)とすると、DE pulse部の180°パルスと-90°パルス部の時間間隔はIET/2とすることが必要である。自由水のようにT2値が非常に長い組織では、信号計測後に残存横磁化が大きいので、DRIVEシーケンス撮像法による効果は大きくなり、高い信号強度が

Fundamental Study of Turbo Spin Echo Sequence with Driven Equilibrium Pulse

Yuuki Kanazawa,¹⁾ Yuusuke Inoue,^{1,2)} and Kenichi Ishida¹⁾

1) Department of Radiology, Kyoto First Red Cross Hospital

2) Kanazawa University Graduate School of Medicine

Received Nov. 22, 2005; Revision accepted May 11, 2006; Code No. 261

Summary

When MR images are obtained with the turbo spin echo (TSE) sequence, DRIVE can be used as a sequence in which the driven equilibrium pulse (DE pulse), a reset pulse, is applied at the TSE echo train to accelerate relaxation time and return to the equilibrium of Mz magnetization. In this study, we examined the extent to which TR could be shortened in DRIVE and how the other parameters of the turbo spin echo sequence influence it. Results: 1) DRIVE is effective when the T2 value is long. 2) It is necessary to set TR at 1000 ms or more to obtain image contrast with free water and fat in T2-weighted images for which a conventional turbo spin echo sequence using DRIVE is employed in clinical examination. 3) It is not necessary to consider the influence of the TSE factor when using DRIVE.

Key words: magnetic resonance imaging, turbo spin echo, driven equilibrium

別刷資料請求先: 〒605-0981 京都市東山区本町15-749
京都第一赤十字病院 放射線科 金澤裕樹 宛

Fig. 1 Turbo spin echo (TSE factor: 7) with DRIVE sequence diagram.⁶⁾

得られる。一方、軟部組織のようにT2値が短い組織ではこの効果は小さくなるため、信号強度は通常のturbo spin echo法にて得られる信号強度と同程度になる^{5, 6)}。

1-2 使用機器

使用MR装置は、Philips Medical Systems社製 Intera Achiva 1.5Tであり、送受信コイルとしてクォドラチャヘッドコイルを用いた。

使用ファントムは、 $\phi 35$ (mm) $\times 80$ (mm) のスクリー管に、硫酸銅 (CuSO_4 : 3.084×10^{-6} mol/L)、ベビーオイル、寒天(精製水にて0.1%希釈)を密封して入れた自作ファントムを用いた。信号強度の測定には、硫酸銅(T1: 389, T2: 248)、ベビーオイル(T1: 253, T2: 48)、寒天(T1: 3159, T2: 687)を用いた。基本となるファントム撮像条件をTableに示す。実験に使用した寒天ファントムは身体の水に近似した模擬試料として、またオイルは脂肪組織の模擬試料として使用した^{7, 8)}。

1-3 検討項目

1-3-1 TR変化による信号強度変化

3種の自作ファントムを用いて、TRを300から3000(ms)まで変化させ、DRIVEを使用したとき(以下、DRIVE(+))と使用しないとき(以下、DRIVE(-))の信号強度の変化を計測した。

1-3-2 TSE factor(echo train length: ETL)の変化による信号強度変化

3種の自作ファントムを用いて、TR=700(ms)、1000(ms)に設定し、DRIVE(+)とDRIVE(-)で、TSE factorを3~21まで変化させたときのファントムそれぞれの信号強度の変化を計測した。このときのTR値は、結果2-1において決定した。このとき、TSE factorを奇数にしたのは、k-space orderの段階でコントラスト決定因子である中心部エコー(実効TE)のことを考慮したためである。ただし、TEとバンド幅を固定したため、TSE factorを変化させると、常に最大のエコ

Table Based pulse sequence parameters for the phantom study.

scan technique	MS(multi-slice)
scan mode	SE
fast imaging mode	TSE
TSE factor	15
DRIVE	on/off
k-space profile order	linear(sequential phase order)
water fat shift(pixels)	1
TE(ms)	100
FOV(mm)	100 $\times$ 100
matrix	128 $\times$ 128
slice thickness(mm)	3
slices	1
NSA(number of signal averaged)	2
fixed scale factor type	DOTS(rescale)

ー間隔(echo spacing: ESP)になるように設定されている。

2. 結果

2-1 TR変化による信号強度変化

TRを変化させたときの信号強度の変化をFig. 2に、TRの変化に伴うDRIVE(+)とDRIVE(-)との信号強度差の変化をFig. 3に示す。DRIVE(+)とDRIVE(-)を比べると、DRIVE(+)のときすべてのファントムにおいて信号強度上昇がみられるものの、硫酸銅はTR=1500(ms)付近、ベビーオイルはTR=1000(ms)付近においてそれぞれほぼプラトーとなった。また、特に寒天はDRIVE(+)の信号強度が著しく上昇した。また、DRIVE(+)の寒天とオイルとの信号強度がTR=1000(ms)を超えたところで逆転する。さらに、DRIVE(+)とDRIVE(-)との差において、寒天がTR=700(ms)で1.0を超え、TR=1600(ms)をピークとして緩やかに減衰する。これらのことから検討項目1-3のTR=700(ms)、TR=1000(ms)とした。

2-2 TSE factorの変化による信号強度変化

TR=700(ms)、1000(ms)のときのTSE factorの変化

Fig. 2 Signal intensity change according to TR.

Fig. 3 Difference in DRIVE(+) and DRIVE(-) intensity change according to TR.

に伴う信号強度の変化をFig. 4とFig. 5に示す。寒天と硫酸銅は、TSE factorを変化させることにおいて、信号強度はほぼプラトーで、DRIVE(+)とDRIVE(-)とでは、信号上昇はあるもののほぼ同じ差で信号強度は変化した。ベビーオイルは、TSE factorが7以上になると信号強度が上昇し、DRIVE(+)とDRIVE(-)とではほぼ同じ差で信号強度が上昇した。

3. 考 察

われわれが検討した項目において、実験で使った寒天のようなT2値が長い組織は、DRIVE撮像において、短いTRであっても高い信号強度が得られることが2-1の結果より考えられる。脂肪組織の模擬試料として用いたオイルは、DRIVEによる信号強度変化はごくわずかに上昇しただけであり、DRIVEによる有意差は示されない。通常の臨床MR検査においてturbo

spin echoを用いたT2強調画像ではTR=3000~4000(ms)を用いており、自由水が脂肪の信号強度より高くなるが、これと同等の画像コントラストを得るためにはDRIVE(+)でTR=1000(ms)以上に設定する必要があると考えられる。DRIVE(-)の画像コントラストを基準に考えると、2-1の結果から、TR=2500(ms)以下の画像コントラストを得るためには、DRIVEを使用するとTRを1000(ms)以下に設定し、また、TR=2500(ms)以上の画像コントラストを得るためには、DRIVE(+)でTR=1000(ms)以上に設定する必要があると考える。

Fig. 4, 5のオイルにおけるTSE factorを増したときの信号の上昇は、DRIVEの有無にかかわらず信号強度変化は同じカーブを示すので、DRIVEに起因するものではなく、turbo spin echo法におけるscalar(j-) couplingとmagnetization transfer効果に起因する脂肪

Fig. 4 Signal intensity change according to TSE factor (TR=700 ms)

Fig. 5 Signal intensity change according to TSE factor (TR=1000 ms)

の高信号化であると推測できる⁹⁾。また、TSE factorが増加しても、寒天の信号強度はほぼプラトーで、DRIVE (+) の信号強度増加は、2-1の結果に起因するものであると考えられる。さらに、TRを固定したためにTSE factorの増加とともにESPが短くなってきており、これによる信号強度変化も考慮しなくてはならない。TSE factorが少ないとき、すなわちESPが長いときにこの信号強度変化は起こっているのだが、Fig. 4, 5から読み取れる顕著な信号強度変化はない。これらのことを考慮すると、DRIVEにおけるTSE factorによる影響は考慮する必要がなく、むしろ広く使用されているturbo spin echoシーケンスの特性を考慮すべきである。その特性とは、TSE factorを増加させると

時間は短くなり信号の均一性は上がるが、SNRやCNRは減少し、後半エコーを利用することによる空間のブラーリングの増加の原因となることである⁹⁾。Fig. 4でのTSE factor=17での信号上昇、Fig. 5でのTSE factor=21での信号上昇に関しては、検討中である。

今後の検討として、k-space orderの違いによる画像変化、画質改善 (SNR, CNR) の評価、TR短縮に伴う臨床画像評価を行っていきたい。

4. 結 語

われわれは、DRIVEの基礎的検討を行い、以下の結論を得た。

1) T2値が長い組織にDRIVEは有効である。

- 2)DRIVEを使用して，臨床検査上で通常のturbo spin echo法を用いたT2強調画像の自由水と脂肪との画像コントラストを得るには，TR=1000(ms)以上に設定する必要がある．
- 3)DRIVEの効果はTSE factorの影響を考慮する必要はない．

謝 辞

稿を終えるにあたり，本研究にご助言いただいた京都第一赤十字病院放射線科部長 岡部春海氏，京都府立医科大学放射線部の 梶 信博氏，Philips Medical Systems株式会社営業推進部の松本光代氏に深く感謝申し上げます．

参考文献

- 1)Georgy BA, and Hesselink JR: MR Imaging of the Spine: Recent Advances in Pulse Sequences and Special Techniques. AJR Am J Roentgenol, 162(4) 923-934(1994)
- 2)Melhem ER, Itoh R, and Folkers PJM: Cervical Spine: Three-dimensional Fast Spin-Echo MR Imaging - improved Recovery of Longitudinal Magnetization with Driven Equilibrium Pulse. Radiology, 218(1) 283-288(2001)
- 3)Ciftci E, Anik Y, Arslan A, et al.: Driven Equilibrium(drive) MR Imaging of the Cranial Nerves V-VIII: Comparison with the T2-weighted 3D TSE Sequence. Eur J Radiol, 51(3) 234-240(2004)
- 4)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 Non-Breath-hold Respiratory-triggered Fast Spin-Echo Pulse Sequences. Radiology, 223(3) 853-859(2002)
- 5)Hargreaves BA, Gold GE, Lang PK, et al.: MR Imaging of Articular Cartilage Using Driven Equilibrium. Magn Reson Med, 42(4) 695-703(1999)
- 6)Hampton K: New Pulse Sequences with Version 4.5 Software for Altaire. Inside HMSA(2002)
- 7)吉川宏起，日本磁気共鳴医学会教育委員会編：MRIレクチャー基礎から学ぶMRI．第8章 画像のコントラスト．pp.94-106，インナービジョン，東京，(2004)．
- 8)Hashemi RH, Bradley WG Jr, Lisanti CJ, 荒木 力 監訳：MRIの基本 パワーテキスト第2版．第6章 組織コントラスト：いくつかの臨床応用．pp.58-74，メディカル・サイエンス・インターナショナル，東京，(2004)．
- 9)Elster AD, Burdette JH, 荒木 力 監訳：MRI[®] 超 講義 第2版．pp.257-263，メディカル・サイエンス・インターナショナル，東京，(2003)．

図表の説明

- Fig. 1 DRIVEを用いたturbo spin echoパルスシーケンス図
- Fig. 2 TRを変化させたときの信号強度変化
- Fig. 3 TRの変化に伴うDRIVE(+)とDRIVE(-)との信号強度差変化
- Fig. 4 TSE factorの変化に伴う信号強度変化(TR=700msのとき)
- Fig. 5 TSE factorの変化に伴う信号強度変化(TR=1000msのとき)

Table 基本となるファントム撮像条件