



Title	心電同期TI強調MR画像-Low Flip Angle Spin-Echo法の有用性-
Author(s)	杉村, 和朗; 川光, 秀昭; 吉川, 和明 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1992, 52(3), p. 338-343
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/20764
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

心電同期 T1強調 MR 画像

—Low Flip Angle Spin-Echo 法の有用性—

島根医科大学放射線科

杉村 和朗 川光 秀昭 吉川 和明
笠井 俊文 湯浅 貢司 石田 哲哉

（平成 3 年 5 月 13 日受付）

（平成 3 年 7 月 29 日最終原稿受付）

Low Flip Angle Spin-Echo MR Imaging to Obtain better Gd-DTPA Enhanced Imaging with ECG Gating

Kazuro Sugimura, Hideaki Kawamitsu, Kazuaki Yoshikawa, Toshifumi Kasai,
Koji Yuasa and Tetsuya Ishida
Department of Radiology, Shimane Medical University

Research Code No. : 209.2

Key Words : MR imaging, Spin echo, Flip angle

ECG-gated spin-echo imaging (ECG-SE) can reduce physiological motion artifacts. However, ECG-SE does not provide strong T1-weighted images because repetition time (TR) depends on heart rate (HR). We investigated the usefulness of low flip angle spin-echo imaging (LFSE) in obtaining more T1-dependent contrast with ECG gating. In computer simulation, the predicted image contrast and signal-to-noise ratio (SNR) obtained for each flip angle (0—180°) and each TR (300 msec-1200 msec) were compared with those obtained by conventional T1-weighted spin-echo imaging (CSE: TR=500 msec, TE=20 msec). In clinical evaluation, tissue contrast [contrast index (CI): (SI of lesion-SI of muscle)*100/SI of muscle] obtained by CSE and LFSE were compared in 17 patients. At a TR of 1,000 msec, T1-dependent contrast increased with decreasing flip angle and that at 38° was identical to that with T1-weighted spin-echo. SNR increased with the flip angle until 100°, and that at 53° was identical to that with T1-weighted spin-echo. CI on LFSE (74.0 ± 52.0) was significantly higher than CI on CSE (40.9 ± 35.9). ECG-gated LFSE imaging provides better T1-dependent contrast than conventional ECG-SE. This method was especially useful for Gd-DTPA enhanced MR imaging.

心電同期 MR 画像は心拍に同期して励起することにより、心臓の動きおよび血流によるアーティファクトを減少させる撮像法である¹⁾。特に心臓病変を評価する場合、また心臓による動きの影響の多い縦隔病変、縦隔近傍の肺野病変を鮮明に描出するために本撮像法は欠くことができない。心電同期法は繰り返し時間 (TR) が被験者の心拍数に規制されるため、成人では 800 から 1,000

msec 程度のことが多い。T2強調画像を得ようとする場合は 2 心拍、ないし 3 心拍ごとに励起を行えば長い TR で撮像できるため問題がない。ところが T1強調画像を得ようとしても、TR が心拍に規制されるため、成人では多くの症例でプロトン強調像に近い像しか得られなかった。これは T1 短縮薬剤である Gd-DTPA 造影像を撮像する場合、特に問題となっていた。本法は心電同期が画

像改善に有用な部位で、心電同期下に良好な T1 強調画像を得ることを目的とし、Low Flip Angle Spin-Echo 法の利用を検討した。

I. 理論および基礎的検討

スピンエコー法においても、初期励起パルスのフリップ角度（フリップ角度）によって信号強度が異なってくることは、Mills らによって理論的に証明されている（附式 1）^{2)~5)}。理論式で偶数エコーと奇数エコー収集では得られる式が異なっていることがわかる⁶⁾。第一エコー収集の場合の理論式（附式 2）は、附式 1 の m に 1 を代入して得られる。

次にこの式に基づいて第 1 エコー収集において、緩和時間の異なる 2 種類の組織を想定し、各フリップ角度にたいする信号強度曲線を理論的に作成した(Fig. 1)。組織としては最も報告が多く、

個体による差が少ない脳灰白質（T1=870msec, T2=85msec）と白質（T1=515msec, T2=75 msec）を選択した⁷⁾。TR=1,000msec, TE=20 msec の条件で各フリップ角度での信号強度を求めた。信号強度は白質、灰白質ともにフリップ角

$$I = N(H) \sin(\theta) [1 + (-1)^{m+1} \exp(-TR/T1) - A] \exp(-TE/T2) / B$$

$$A = \sum_{n=1}^m (-1)^{m-n} 2 \exp \{ -(TR - (2n-1)t) / T1 \}$$

$$B = 1 + (-1)^{m+1} \cos(\theta) \exp(-TR/T1)$$

I: Signal Intensity
N(H): Hydrogen density
 θ : Flip angle for initial excitation
m: Total number of echoes per acquisition
t: The time measured from the initial pulse to the first 180 degree refocusing pulse

附式 1

$$I = \frac{N(H) \exp(-TE/T2) \sin(\theta) [1 + \exp(-TR/T1) - 2 \exp \{ -(TR - TE/2) / T1 \}]}{1 + \cos(\theta) \exp(-TR/T1)}$$

= Component(p) × Component(T2) × Component(T1)

- Component(p) = N(H)
- Component(T2) = $\exp(-TE/T2)$
- Component(T1) = $\frac{\sin(\theta) [1 + \exp(-TR/T1) - 2 \exp \{ -(TR - TE/2) / T1 \}]}{1 + \cos(\theta) \exp(-TR/T1)}$

附式 2

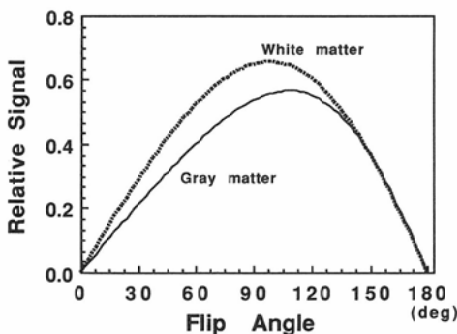


Fig. 1 Predicted relative signal intensity curve obtained for each flip angle (0~180°).

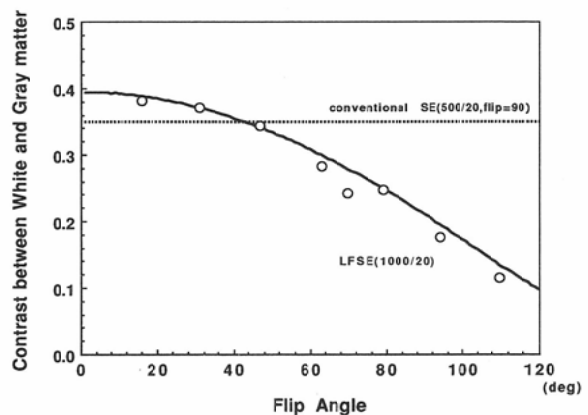


Fig. 2 Measured (data points) and predicted (line) relative contrast ratio { (signal intensity of white matter-signal intensity of gray matter) / (signal intensity of gray matter) } was shown for each flip angle (0~120°).

度100度付近で最大となり、0度および180度で最小になる。フリップ角度が小さいときは白質の信号が高く、大きくなるにしたがって信号の差が減少する。フリップ角度150度以上で白質と灰白質の信号はほぼ等しくなる。これはフリップ角度が小さいときはT1値の差が強調され、大きくなるにしたがってT2値の差が強調されることを示している。つまり奇数エコー収集ではフリップ角度を小さくすることにより、T1強調画像が得られることになる。

TR=1,000msecは、心電同期で撮像する場合の心拍数60/minに相当する。そこで心拍数60/minの患者に心電同期撮像を行った場合、T1コントラスト、single to noise ratio (SN比)を考慮した最適フリップ角度について検討した。検討にあたっては、TR=500msec、TE=20msec(通常

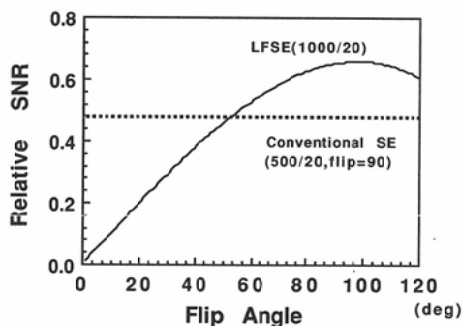


Fig. 3 The signal to noise ratio obtained for each flip angle (0~180°) were compared with those obtained by conventional T1-weighted spin-echo imaging.

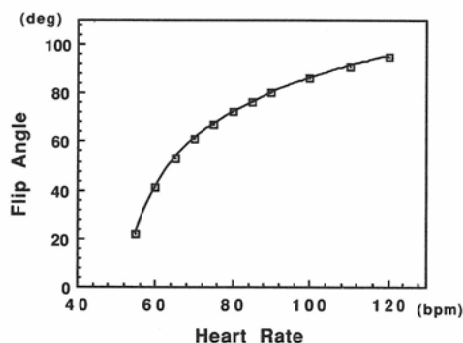


Fig. 4 The predicted optimal flip angle was shown for each heart rate.

のT1強調画像)で得られるT1コントラスト、SN比を基準とした。理論式およびボランティア3名から、各フリップ角度での白質および灰白質の信号強度を得た。得られた白質の信号強度から灰白質の信号強度を減じ、これを灰白質の信号強度で除したコントラスト比の実測値および理論曲線を得た(Fig. 2)。コントラスト比は、フリップ角度が小さくなるに従って増加し、42度で通常のT1強調画像と等しくなる。42度以下ではTR=1,000msecでも、TR=500msecよりT1コントラストの強い画像が得られることがわかる。ところがFig. 1で明らかのように、フリップ角度の減少により信号強度が低下する。そこでシステムノイズを一定とした場合のSN比を算出した(Fig. 3)。SN比はフリップ角度の増加と共に改善し、53度で通常のT1強調画像と等しくなる。

心電同期の場合TRは心拍数に規制されるため、各心拍数で最適フリップ角度を決定する必要がある。そこで心拍数からTRを算出し、各TRで通常のT1強調画像と同じ信号強度が得られるフリップ角度を求めた。これからTRを心拍数に変換し、各心拍数での最適フリップ角度曲線とした(Fig. 4)。しかしながら心拍は検査中必ずしも一定ではなく、患者によってフリップ角度を細かく変更することの臨床的意義は低い。また頻拍症例ではフリップ角度を変えなくても、T1強調画像を得ることができる。そこで心拍数60/minで良好なT1強調画像を得ることを目的として、通常のT1強調画像と同等のT1コントラストが得られ、SN比も20%程度しか低下しないフリップ角40度を臨床例での最適フリップ角度とした。

II. 臨床的検討

1. 対象および方法

1989年8月より1991年2月の間に、初期励起パルス40度(Low Flip Angle Spin Echo法:以下LFSE法)と90度(conventional Spin Echo法:以下CSE法)で心電同期スピネコー法により引き続いて撮像した17例を検討対象とした。内訳は、肺癌11例、食道癌3例、縦隔腫瘍2例、肺カルチノイド1例で、病巣はすべて縦隔及び大血管に接しており心電同期下の撮像が画像改善に

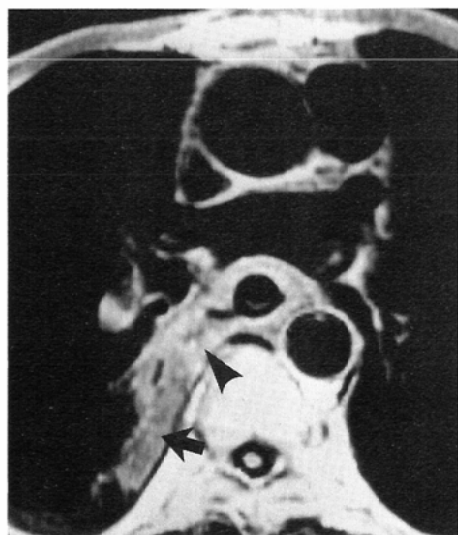
有用な症例を対象とした。6 例は単純像で、11 例は Gd-DTPA 造影像で比較した。なお Gd-DTPA 造影は CSE 法に引き続いて LFSE 法を行った症

例が 8 例、LFSE 法に引き続いて CSE 法を行った症例が 3 例であった。

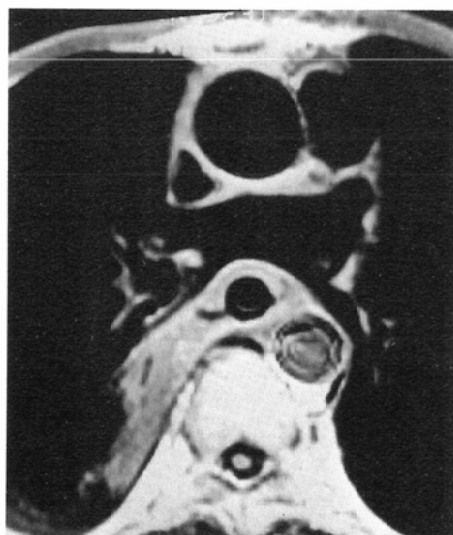
GE Signa (1.5T) を用い心電同期下で繰り返し

Table 1 Contrast index (CI) on both low flip angle spin-echo imaging (LFSE) and conventional spin-echo imaging (CSE). In 6 cases without Gd-DTPA, CI on LFSE was higher than CI on CSE, but not significant. In 11 cases with Gd-DTPA enhanced study, CI on LFSE was significantly higher than CI on CSE ($p=.0001$)

Plain MRI			Gd-DTPA Enhanced MRI		
Case No.	CSE	LFSE	Case No.	CSE	LFSE
1	25.6	108.0	7	49.5	45.5
2	6.5	9.7	8	79.0	96.5
3	12.2	12.5	9	118.8	166.5
4	3.3	21.4	10	98.1	151.7
5	40.0	60.8	11	16.0	91.9
6	16.4	29.8	12	64.5	104.0
			13	1.5	11.9
			14	18.4	33.5
			15	73.0	145.1
			16	11.0	58.6
			17	60.5	110.0
Mean±S.D.	17.3±13.6	40.3±37.9	Mean±S.D.	53.7±38.2	92.3±50.5



(A)



(B)

Fig. 5 Low flip angle SE image (TR=R-R, TE=20msec, flip angle=40°) and conventional SE image (TR=R-R, TE=20msec, flip angle=90°) of 68 year-old male with esophageal cancer. Low flip angle spin-echo image (A) provides better contrast than conventional spin-echo image (B). The mediastinal abscess (arrow) and the esophageal tumor (arrow head) are easily distinguished in low flip angle spin-echo imaging.

時間(TR)を1R-Rに設定し、フリップ角度90度、エコー時間(TE)20msecで撮像した第1エコーをCSE画像として、フリップ角度40度の第1エコーをLFSE画像として得た。LFSE, CSE画像共にスライス厚8mm, スライス間ギャップ2mmでマルチスライス、マスキエコー法で横断像を比較した。

LFSE, CSE画像について、病巣、筋肉に 0.5cm^2 以上の関心領域(ROI)を同一部位に設定し、その信号強度を計測した。撮像はオートゲインで行っているため、異なるパルス系列では単純に信号強度を比較できない。そこでそのパルス系列でT1コントラストを求めておく必要がある。そこで、Contrast Index (CI)を定義し、LFSE法、CSE法で算出した。算出にあたっては、どのスライスでも描出される代表的な軟部組織として筋肉の信号強度と、病巣の信号強度を測定しその比からContrast Indexを得た $\{(\text{病巣の信号強度}-\text{筋肉の信号強度}) \times 100 / \text{筋肉の信号強度}\}$ 。なお統計学的検討はpaired T 両側検定で行った。

2. 結果

LFSEおよびCSE法のContrast IndexをTable 1に示す。造影像で1例低下したが、残り16例はいずれもCSE法に比べてLFSE法のContrast Indexが高かった。単純6例のContrast

Indexの平均はCSE法での 17.3 ± 13.6 (平均±標準偏差)がLFSE法では 40.3 ± 37.9 に上昇した。しかしながら統計学的には $p=0.12$ で有意の上昇はなかった。造影11例の平均Contrast IndexはCSE法の 53.7 ± 38.2 がLFSE法で 92.3 ± 50.5 に上昇し、 $p=0.0006$ で統計学的に有意の上昇を認めた。17例のContrast Indexの平均はCSE法が 40.9 ± 53.9 , LFSE法が 74.0 ± 52.0 で $p=0.0001$ で有意にLFSE法の方が高かった。

3. 症例

症例1 (Fig. 5): 68歳男性。LFSE法およびCSE法単純像、食道癌ステント挿入後形成された縦隔腫瘍。LFSE法で腫瘍に比べて比較的T1値の長い腫瘍が、低輝度の腫瘍とやや高輝度の腫瘍として明瞭に分離できる。ところがCSE法ではこの分離は不明瞭で、LFSE法がT1コントラストの描出に優れていることを示唆している。

症例2 (Fig. 6): 75歳男性。縦隔リンパ節転移を伴う肺扁平上皮癌。LFSE法およびCSE法Gd-DTPA造影像。CSE法に引き続いてLFSE法を行っている。肺野病巣縦隔リンパ節共にLFSE法の方がCSE法に比べて、造影部分と非造影部分のコントラストが優れている。

III. 考 察

最近多くの新しいMR撮像法が開発されてい



(A)



(B)

Fig. 6 Low flip angle SE image (TR=R-R, TE=20msec, flip angle=40°) and conventional SE image (TR=R-R, TE=20msec, flip angle=90°) of 75 year-old male with lung cancer. Gd-enhanced low flip angle spin-echo image (A) demonstrates more detailed structure than conventional spin-echo imaging (B).

るが、スピンエコー法は標準的撮像法として依然広く用いられている。心電同期 MRI においてもスピンエコー法が用いられているが、TR 時間が心拍数に規制されるため、T1 強調が弱い画像しか得られない欠点がある。

奇数エコー収集 LFSE 法は、フリップ角度が 90 度以下の RF パルスを用いる点をその撮像法の特徴としている。フリップ角度を 90°以下に減少させると奇数(今回の検討では 1 回)の 180°のリフォーカスパルスで収集した場合、信号に対する T1 の影響が大きくなる。そこで TR を長くして T1 の影響が少なくなっても、フリップ角度を小さくする事により相対的に T1 強調性が増加することになる。これが長い TR でも LFSE 法を用いれば T1 強調画像が得られる理由であるとされている³⁾。その応用については心電同期法への応用、スライス枚数増加への応用が示唆されていたが、最適フリップ角度を始めとする詳細な検討は行われていない⁸⁾。

Gd-DTPA は T1 値を短縮することにより、Gd-DTPA が存在する組織を造影する⁹⁾。そこで良好な造影像を得るためには、T1 強調を強くする必要がある。ただし TR を短くすると SN 比が不良となり、撮像枚数が減少する。そこで 1.5T の場合、TR は今回通常法として比較に用いた 500msec 程度で撮像されている。今回検討した TR=1,000 msec のモデルでは、CSE 法では TR=500msec の通常法に比べて、T1 コントラストは 53% に低下した。ところがフリップ角度を 40 度にする事により、TR=1,000msec でも TR=500msec と同等の T1 コントラストが得られることが理論的に証明された。また SN 比低下も 20% 程度で、臨床上許容できる範囲内にとどまった。

臨症例では緩和時間は様々であるため理論式通りではないが、実際の症例でも T1 コントラストは LFSE 法で有意に上昇していた。心臓、縦隔およびそれらに接した病変で、心電同期下で Gd-DTPA 造影のように良好な T1 コントラストを得

たい場合、本法は有用な方法であるといえる。

IV. 結 語

1) 1 エコー収集の時にはフリップ角度を小さくするほど T1 コントラストを強調することができる。しかしながら SN 比を考慮すると、一般成人において心電同期 T1 強調画像を得ようとする場合、フリップ角度 40 度程度が適当である。

2) 臨症例において low flip angle echo 法で良好な T1 強調画像を得ることができた。特に造影剤を使用した場合にコントラスト増強効果が大きかった。

文 献

- 1) Higgins CB: The heart: Acquired disease. (In) Higgins CB, Hricak H, ed: Magnetic resonance imaging of the body, 239-265, 1987, Raven Press, New York
- 2) Mills TC, Ortendahl DA, Hylton NM, et al: Partial flip angle MR imaging. Radiology 162: 531-539, 1987
- 3) Mills TC, Ortendahl DA, Hylton NM: Investigation of partial flip angle magnetic resonance imaging. IEEE Transactions Nucl Sci 33: 496-500, 1986
- 4) Mills TC, Ortendahl DA, Hylton NM, et al: Variable flip angle excitation for reduced acquisition time magnetic resonance imaging. IEEE Transactions Nucl Sci NS-34: 304-308, 1987
- 5) 笠井俊文, 杉村和朗, 川光秀昭, 他: Variable-flip-angle spin echo における短時間 T2 強調画像—基礎的検討一, 日滋医誌, 10: 122-129, 1990
- 6) Vinitski S, Fuka MZ, Boone JM, et al: Contrast in variable flip angle fast MR imaging. IEEE Transactions Nucl Sci NS-34: 1110-1115, 1987
- 7) Wehrli FW, Macfall JR, Shutts D, et al: Mechanisms of contrast in NMR imaging. J Comput Assist Tomogr 8: 369-380, 1984
- 8) 加藤 勤, 澤田 敏, 野口由美, 他: Spin echo 信号における Flip angle と Contrast との関係についての解析, 日滋医誌, 8: 52-60, 1988
- 9) Lauffer RB: Magnetic resonance contrast media: Principles and progress. Mag Reson Quart 6: 65-84, 1990