

## 息止め困難な患者の上腹部 MRI における T1 強調画像改善

小不動喜美子<sup>1)</sup> 片山 順子<sup>1)</sup> 堀江慶一郎<sup>2)</sup>  
土田千賀<sup>3)</sup> 岩崎俊子<sup>4)</sup>

**要 旨：**今回われわれは、息止めが出来ない患者の上腹部の MRI 検査における T1 強調画像の画質不良を改善することを目的として、撮像法を検討した。本研究に同意の得られた健常人を対象に多種類の T1 強調画像を撮像し、医師 2 名、技師 2 名で画質評価を行った。その結果、息止めなしの状態では、SE-RC（呼吸補正）法と FIRM（Fast Inversion Recovery Motion-Insensitive GRE）法の画質が優れることがわかった。しかし、SE-RC 法は被検者間の差が大きく撮像時間も長いため、被検者間の差が少なく撮像時間も短い FIRM 法の改善を試みた。その結果、FIRM 法を撮像するときにスライス厚を増すことや、呼吸波形に合わせて 1 画像ずつ撮像することで画質改善が得られることがわかった。また、他の T1 画像が画質不良であった場合、FIRM 法を追加することで、相補的に息止めが困難な患者の T1 強調画像の改善につながると考えられた。

【Key words】 上腹部 MRI, T1 強調画像, FIRM 法

## 緒 言

当院では、上腹部 MRI 検査は息止めが出来ない患者に対してもしばしば行われる。その場合は息止めが出来ない被検者用のプロトコルで検査している。その時、T2 強調画像は T1 画像よりは画質不良になることが少ない。通常、T2 強調画像で使用している呼吸同期法は、患者の呼吸周期にあわせて、呼気において比較的呼吸が安定しているタイミングのみでデータを収集している<sup>1)</sup>。しかし、この撮像法は患者の呼吸周期に依存するため、TR 時間（ラジオ波パルスを与える間隔）が短い画像の T1 強調画像では使用出来ない。よって、T1 強調画像ではいかなる撮像条件でも使用可能で、撮像時間も呼吸の周期に左右されない<sup>2)</sup> 呼吸補正法 Respiratory Compensation（以下 RC 法）を使用している。しかし、患者の呼吸が安定していない場合や、一回の呼吸間隔が長い場合はこの補正が正しく行われず、呼吸性のアーチファク

トによる画質不良が顕著となる。よって今回は、この問題を改善し、なおかつ息止め下の T1 強調画像に近づけるための撮像法を検討することにした。

## 方 法

## 1. 使用機器

撮像装置：GE 社製 Signa Excite HDe（1.5T）

使用コイル：GE 社製 HD 4ch Torso Array

使用付属機器：GE 社製 ベローズ（患者に装着して呼吸信号をとらえる装置）／KONICA MINOLTA 社製 DRYPRO MODER 771（レージャーイメジャー）／KONICA MINOLTA 社製 DAYLIGHT PACKAGE DRY 35×43cm（メディカルイメージングフィルム）

<sup>1)</sup> 福井総合病院 放射線課

<sup>2)</sup> 福井総合クリニック 放射線課

<sup>3)</sup> 福井総合病院 放射線科

<sup>4)</sup> 福井総合クリニック 放射線科  
（受付日 2011年12月）

## 2. 画質良好な T1 撮像法の抽出

本研究について十分な説明を行って同意を得た健常人 3 名に、息止めありでの T1 撮像法を 9 種類、息止めなしでの T1 撮像法を 11 種類施行した (表 1)。

その後、医師 2 名、技師 2 名でそれぞれの T1 撮像法の画質を評価項目ごとに点数化し、総得点の平均点を求めた。そして、高得点の息止めあり 2 種類、息止めなし 2 種類を画質良好な撮像法として抽出した。なお、評価項目は以下のとおりである。

評価項目：臓器の識別、脂肪の区別、ざらつきはないか、アーチファクトはないかを 5 段階 (0：全然良くない、1：あまり良くない、2：どちらともいえない、3：まあまあ良い、4：とても良い) 視覚評価。各評価項目点数を合計した最高得点は 16 点。

## 3. 息止めなしでの T1 画像の問題点の探求

健常人を 8 名まで増やし、方法 2 で高得点であった、息止めありの T1 撮像法 2 種類の FSE (ファーストスピンエコー) 法と Dual 3D 法 (評価は in-phase のみ)、息止めなしの T1 撮像法 2 種類の SE-RC (スピンエコーレスコン) 法と FIRM 法を施行した (表 2)。

その後、医師 2 名、技師 2 名でそれぞれの T1 撮像法の画質を評価項目ごとに点数化し、また、総得点の平均点も求めた。その結果より、息止めなしの T1 画像の問題点を求めた。評価項目は以下のとおりである。

評価項目：コントラストはよいか、動きのアーチファクトはないか、ざらつきはないかを 4 段階 (1：poor, 2：moderate, 3：good, 4：excellent) 視覚評価。各評価項目点数を合計した最高得点は 12 点。各評価項目については、Wilcoxon の符号付順位検定で 2 群間の比較も行った。

表 1 T1 強調画像撮像シーケンス

息止めあり	息止めなし
FSE (Fast spin echo)	FSE
Dual 3D (in...in phase)	Dual 3D (in)
Dual 2D (in...in phase)	Dual 2D (in)
FIRM TI828 (Prep 時間 828msec)	SE-RC 4NEX (加算回数 4 回)
FIRM TI1300 (Prep 時間 1300msec)	SE-RC 2NEX (加算回数 2 回)
	FIRM TI828
	FIRM TI1300
Dual 3D (out...out of phase)	Dual 3D (out)
Dual 2D (out...out of phase)	Dual 2D (out)
FSPGR (Fast 2D Spoiled Grass)	FSPGR
LAVA	LAVA

\* 点線の四角内は、脂肪抑制のかかったシーケンスを示す

\* Dual とは「二重の・・・」という意味であり、Dual 3D (in) と Dual 3D (out)、および Dual 2D (in) と Dual 2D (out) は 1 回の撮像で 2 種類の画像を得ている。

\* FIRM・・・Fast Inversion Recovery Motion-Insensitive GRE

\* SE-RC・・・Spin echo Respiratory Compensation

\* LAVA・・・Liver Acquisition with Volume Acceleration



表2 T1強調画像の撮像条件表

	FSE	Dual 3D (in out)	SE-RC (4NEX)	FIRM (TI828)
puls Seq	FSE-XL	F-SPGR	SE	GRE
TE	Min Full	1 スキャンの TE 数 2	Min Full	in phase
TR	525		440	
ET/FA	3/	/15		/55
BW	31.25	62.5	31.25	31.25
Freq	256	256	256	256
phace	192	192	160	192
NEX	1		4	1
FreqDIR	R/L	R/L	R/L	R/L
フィルター	PURE	PURE	PURE (+A)	PURE
ImagingOP	TRF, FAST, Zip512, Asset	Fast, Zip512, Zip2, Asset	RC, Zip512, ART	Seq, Fast, Irp, Zip512
FOV/ss/gp	35 * 7 * 2	34 * 5 * 1 スラブ 40	35 * 7 * 2	35 * 7 * 2
ScanTime	0 : 31	0 : 16	3 : 49	0 : 32
備考	Asset 2.0Ph 位相方向 FOV0.8	Asset 2.0Ph 位相方向 FOV0.8	位相方向 FOV 0.75	Prep 時間 828
シミング	Auto	Auto	Auto	Auto

## 4-1. FIRM法の画質向上の検討（スライス厚の検討）

方法3の検討で息止めなしの問題点を求めたが、SE-RC法は被検者間の差が大きく撮像時間も長いため改善の余地はあまりないと判断した。よって、FIRM法の画質の改善を試みることにした（表3）。

健常人5名に対してFIRM法をスライス厚7mmと10mmで施行した。その後、医師2名、技師2名でそれぞれのスライス厚のFIRM法の画質を評価項目ごとに点数化した。評価項目は以下のとおりである。

評価項目：コントラストはよいか、動きのアーチファクトはないか、ざらつきはないかを4段階（1：poor, 2：moderate, 3：good, 4：excellent）視覚評価。各評価項目点数を合計した最高得点は12点。Wilcoxonの符号付順位検定で2群間の比較を行った。

表3 SE-RC法とFIRM法の比較

	利 点	欠 点
SE-RC	コントラストが良く、ざらつきが少ない	撮像時間が長い（約4分） 呼吸性のアーチファクトが目立つ場合がある （被検者間の差が大きい）
FIRM	映像時間が短い（約30秒…連続撮像） アーチファクトが少なく、画質に被検者間の差が少ない	画質のざらつきが目立つ

## 4-2. FIRM法の画質向上の検討

（呼吸ポーズありなしの検討）

健常人5名に対して、スライス厚7mmで連続撮像（呼吸ポーズなし）と、息を吐いたところ、または、吸ったところに合わせて撮像すること（呼吸ポーズ）を施行した（図1）。

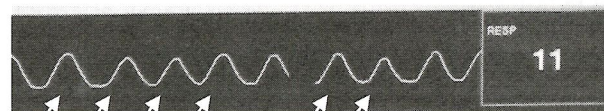


図1. 呼吸ポーズ

（呼吸波形の↑の箇所では撮像ボタンを押す）

その後、医師2名、技師2名でそれぞれの撮像タイミングのFIRM法の画質を評価項目ごとに点数化した。評価項目は以下のとおりである。

評価項目：コントラストはよいか、動きのアーチファクトはないか、ざらつきはないかを4段階（1：poor, 2：moderate, 3：good, 4：excellent）視覚評価。各評価項目点数を合計した最高得点は12点。Wilcoxonの符号付順位検定で2群間の比較をおこなった。

## 結 果

### 1. 画質良好な T1 撮像法の抽出

T1 撮像法の視覚評価の結果を図 2 に示す。なお、今回の検証では脂肪抑制のかかった T1 撮像法は評価対象から外すことにした (図 2 の口で囲んだ部分)。

最適な T1 撮像法として、視覚評価で高得点であった、息止めありの T1 撮像法 2 種類の FSE 法と Dual 3D 法 (in-phase)、息止めなしの T1 撮像法 2 種類の SE-RC 法 (4 NEX: 加算回数 4 回) と FIRM 法 (TI 値 828) を抽出した。これらの視覚評価の総得点 (16 点満点) の平均点は FSE 法 14.2 点, Dual 3D 法 (in-phase) 12.4 点, SE-RC 法 (4 NEX) 14.3 点, FIRM 法 (TI 値 828) 11.6 点であった。

### 2. 息止めなしでの T1 画像の問題点の探求

視覚評価の総得点 (12 点満点) の平均点の結果は、FSE 法 11.4 点, Dual 3D (in-phase) 法 9.8 点, SE-RC

法 9.9 点, FIRM 法 8.3 点であった (図 3)。この結果により、息止めなしの撮像法は、息止めありの FSE 法の画像よりは劣ることがわかった。

また、視覚評価の各評価項目 (最高得点は 4 点) の平均点の結果は、コントラストはよいか: FSE 法 3.8 点, Dual 3D 法 (in-phase) 3.3 点, SE-RC 法 3.6 点, FIRM 法 3.0 点/アーチファクトはないか: FSE 法 3.8 点, Dual 3D 法 (in-phase) 3.4 点, SE-RC 法 2.4 点, FIRM 法 3.4 点/ざらつきはないか: FSE 法 3.8 点, Dual 3D 法 (in-phase) 3.1 点, SE-RC 法 3.9 点, FIRM 法 2.0 点であった (図 4)。

コントラストの評価は、FSE 法と SE-RC 法で高めであった。その次に Dual 3D 法で、FIRM 法が一番点数が低かった。また、FIRM 法は FSE 法および SE-RC 法との間で有意差を認めた。FSE 法と Dual 3D 法の間でも有意差が認められた。しかし、Dual 3D 法と FIRM 法との間では有意差はなかった。

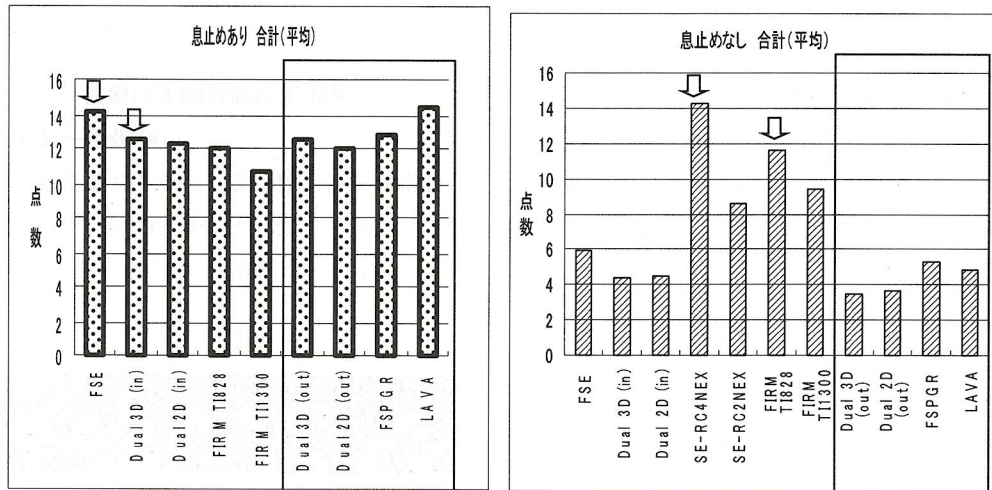


図 2 画質良好な T1 撮像法の抽出 (↓のシーケンスを抽出した)

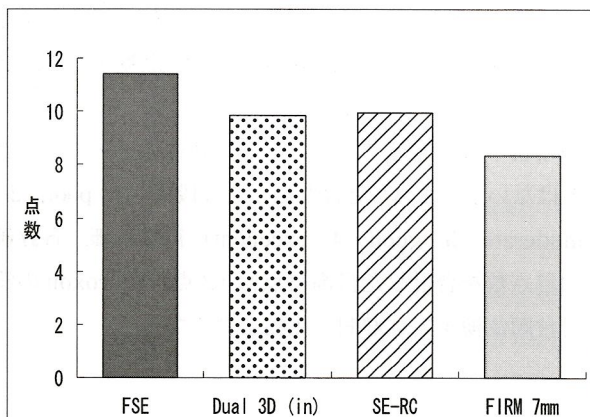


図 3 T1 画像の視覚評価: 総得点の平均点

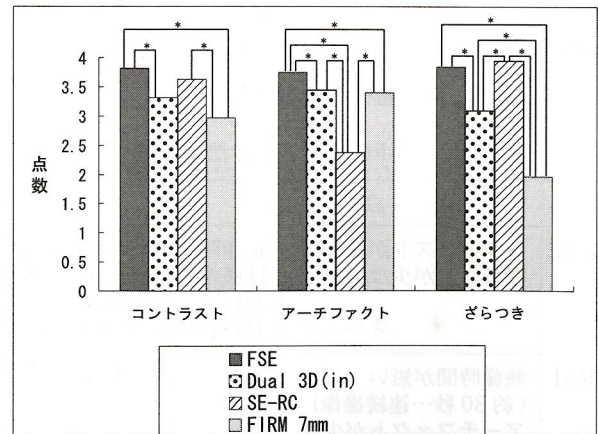


図 4 T1 画像の視覚評価: 各評価項目の平均点



アーチファクトの評価は、FSE法が一番高得点で、次にDual 3D法とFIRM法が同点、目立ってSE-RC法は点数が低かった。また、Dual 3D法とFIRM法との間以外において有意差を認めた。

ざらつきの評価は、FSE法とSE-RC法が高得点で、その次にDual 3D法が、目立ってFIRM法は点数が低かった。また、FSE法とSE-RC法との間以外において有意差を認めた。

以上より、息止めなしのSE-RC法はアーチファクトが、FIRM法はざらつき及びコントラストがT1強調画像としての問題点だとわかった。

### 3-1. FIRM法の画質向上の検討（スライス厚の検討）

FIRM法のスライス厚7mmと10mmの各評価項目の視覚評価の平均点の結果は、コントラストはよいか：7mm 3.1点、10mm 3.2点／アーチファクトはないか：7mm 3.4点、10mm 3.7点／ざらつきはないか：7mm 1.9点、10mm 2.9点であった（図5）。いずれの評価項目においても7mmに比し10mmのほうが平均点は高かった。特に画質のざらつきおよびアーチファクトでは、スライス厚10mmにおいて7mmに比し有意に高値を示し、画質が改善することがわかった。

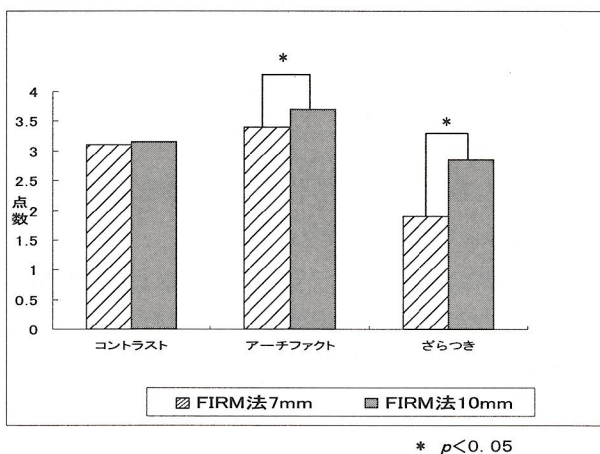


図5 FIRM法の画質向上の検討：各評価項目（スライス厚）

### 3-2. FIRM法の画質向上の検討（呼吸ポーズなしとありの検討）

（呼吸ポーズなしとありの検討）

FIRM法のスライス厚7mmで連続撮像（呼吸ポーズなし）と、息を吐いたところ、または吸ったところに合わせて撮像すること（呼吸ポーズ）の各評価項目の視覚評価の平均点の結果は、コントラストはよいか：呼吸ポーズなし 3.1点、あり 3.4点／アーチファクトはないか：

呼吸ポーズなし 2.9点、あり 3.3点／ざらつきはないか：呼吸ポーズなし 2.3点、あり 2.3点であった（図6）。特に、呼吸ポーズなし（連続撮像）に比し、呼吸ポーズを行ったものでは、アーチファクトについて有意に高値を示した。よって、呼吸ポーズによりアーチファクトの改善につながることがわかった。また、コントラストについては有意ではないが高値を示した。コントラストについても改善傾向があることがわかった。

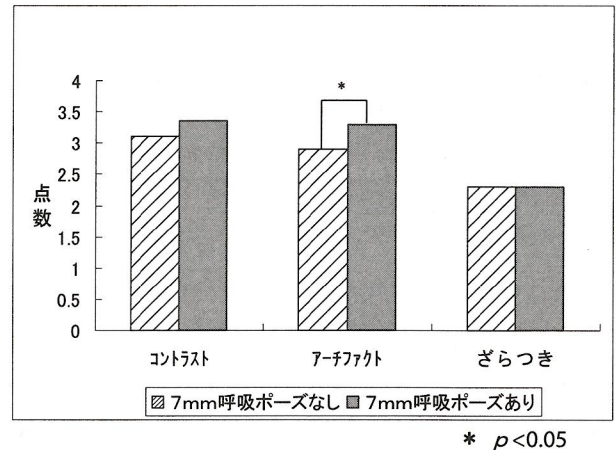


図6 FIRM法の画質向上の検討：各評価項目（呼吸ポーズあり・なし）

### 4. 臨床応用

健常人による検討で、息止めなしのSE-RC法よりもFIRM法のほうが良かった画像を示す（図7）。SE-RC法の画像のほうは呼吸性のアーチファクトが画像上に線として出てしまい、細部がよくわからない。しかし、FIRM法の画像は、呼吸性のアーチファクトはほとんどなく、良好なT1画像となっている。

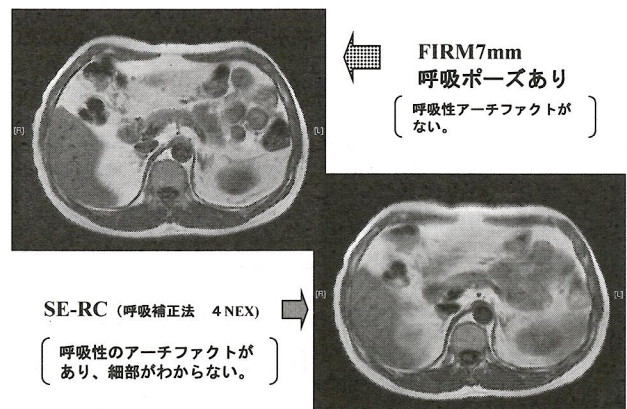


図7 FIRM法が有効な例

## 考 察

通常の画像評価法として、ファントムを使用しての Signal-to-noise ratio (SNR), Contrast-to-noise ratio (CNR) が行われることが多い。しかし、今回の検証は違うシーケンス同士の検証であり、ファントムでの SNR 評価や CNR 評価では SE 系の FSE 法や SE-RC 法が GRE 系の FIRM 法より優れることは撮像の方法が違うことより明らかなことである。しかし、実際の臨床での MRI 検査においては、呼吸を含めた動きのアーチファクトもあり、ファントム実験のような結果にはならない。よって、臨床の場で画像の良し悪しを決めるのは臨床医である<sup>3)</sup>ことも踏まえ、今回はすべての評価において画像に点数をつける視覚評価のみで行った。

検証の結果、息止めが出来ない患者の T1 強調画像の撮像法は SE-RC 法や FIRM 法が有効であることがわかった。また、SE-RC 法では呼吸性のアーチファクトが、FIRM 法では画像のざらつき及びコントラストが問題点であることもわかった。SE-RC 法は加算回数 4 回 (4NEX) の画像を評価しており、MRI 装置上においても加算回数は 5 回以上設定出来ない。このことより、SE-RC 法は、現状のプロトコールでも呼吸性のアーチファクトに対しては十分に対策しており、これ以上の改善は困難と考えた。それでも SE-RC 法では、被検者の呼吸の仕方により画質が変わり、その画質の差が大きいため、今回の検証は FIRM 法を改善することに焦点を絞った。

その FIRM 法の検証では、スライス厚を増すことにより画像のざらつきおよびアーチファクトが、呼吸ポーズをとることによりアーチファクトが有意に改善することが、視覚評価とその結果に伴う有意差検定をおこなったことで証明出来た。スライス厚を増すことによりざらつきおよびアーチファクトが改善した理由として、厚みが増え、その厚みに含まれる臓器などの構造物の信号強度が増加するため、画像の雑音が目立たなくなり、またその厚み間の動きも平均化され、画像がなめらかになるからだと考えられる。呼吸ポーズをとることによりアーチファクトが改善した理由として、FIRM 法は 1 スライス画像の撮像時間が約 1 ～ 2 秒と短く、撮像ボタンを押した瞬間に撮像出来るため、撮像タイミングを呼吸が安定したお腹の動きが少ない時に合わせることが出来るためと考えられる。さらに、FIRM 法を撮像する際に呼吸ポーズをとることは、呼吸移動によるスライス面のずれ

の低下にも有効であると考えられ、小病変の描出の向上にもつながると期待できる。しかし、被検者の呼吸間隔が短い (呼吸が速い) 場合は撮像タイミングが合わせにくく、スライス面のずれが多少増加する場合も考えられる。一方、スライス厚を増すことは、部分体積効果 (パースナルボリューム効果)<sup>4)</sup> による病変描出能低下を招くことが考えられ、最適なスライス厚の選択には、今後の検証が必要であると考えられる。

当院の上腹部 MRI の T1 強調画像 SE-RC 法 (4NEX) の撮像時間は約 4 分である。撮像時間を充分かけているが、今回の検証にて被検者間で画質の差があることがわかった。特に、呼吸が安定していない場合や一呼吸の間隔が長い場合に、呼吸性のアーチファクトが目立つ結果となってしまう。それに比べて FIRM 法は呼吸ポーズをとりながらの撮像でも撮像時間は全体で約 1 ～ 2 分と短く、被検者間の差が少ない安定した画質の画像が得られる。よって、平均的にはコントラストやざらつきの点で優れているが、必ずしも良好な画質が得られない SE-RC 法に、FIRM 法を加えることで、相補的に息止めが出来ない患者の T1 強調画像の改善につながると考えられる。また、FIRM 法に呼吸ポーズの施行や、最適なスライス厚の選択を行うことにより、さらなる病変の描出能向上が期待できる。

## 文 献

- 1) GE Healthcare MRI トレーニング講習会テキスト、4 imaging option 2009 : 48.
- 2) 小林暢浩 : 自信をもってお薦めする上腹部 MRI 検査法。アールティ 2001 ; 3 : 14 - 17.
- 3) 中前光弘 : 順位法を用いた視覚評価の信頼性について。日本放射線技術学会雑誌 2000 ; 5 : 725 - 730.
- 4) VERSUS 研究会, 小倉明夫, 土橋俊男, 宮地利明ら : 超実践マニュアル MRI. 医療科学社 : 361.