

技 術

腰椎三次元冠状断撮像における DESS (Double Echo Steady State) シーケンスの有用性

畠山 遼兵 狩野麻名美 佐々木絢加
高見 光咲 宇野 弘幸 中村 優平
真壁 武司

Usefulness of DESS sequence in lumbar spine
3D coronal imaging

Ryohei HATAKEYAMA, Manami KARINO, Ayaka SASAKI
Arisa TAKAMI, Hiroyuki UNO, Yuhei NAKAMURA
Takeshi MAKABE

Key words : MRI — DESS — myelography —
Far out syndrome

目 的

腰痛を生涯に経験する日本人は約8割存在し、その原因には様々な疾患が存在する¹⁾。腰痛には先天的なものから成長に伴い発生するもの、加齢によるものや感染、腫瘍により発生するもの等が考えられる。

この中で、下肢にしびれや痛みの症状を訴える患者は腰椎椎間板ヘルニアや腰部脊柱管狭窄症などによる神経圧迫の可能性がありmagnetic resonance imaging (MRI) 検査による診断が有効である^{2,3)}。

しかし、画像上異常所見がみられない場合には手術や神経根ブロックなどの治療を受けることができず、腰痛持ち患者を悩ませる場合がある。これらの場合に他の要因が考えられ、その一つとして外側ヘルニアを疑う指標となる。

腰椎椎間板ヘルニアの中でも外側ヘルニアの発生頻度は、全腰椎椎間板ヘルニアの7~12%以下と比較的稀である⁴⁾。デルマトーム⁵⁾に従った下肢の身体所見があるにも関わらず、脊柱管内にヘルニア等がみられない場合、従来の撮像では見落としの可能性がある。そのため、MRI 検査方法も追加撮像等工夫が必要となる。

近年 MRI 装置の発展により、MR ミエログラフィが広く行われている³⁾。一般的に MR ミエログラフィは fast spin echo 法 (FSE) などを用いた HeavyT2強調画像を

用いるが、従来の撮像方法では cerebrospinal fluid (CSF) の描出が強調されている。しかし腰神経末梢まで描出されないことや背景信号が少ないため詳細な神経の圧迫状況や圧迫原因の同定は困難となる事が多い。今回検討を行った double echo steady state 法 (DESS)^{6,7)} は、fast imaging with steady state precession (FISP) と time reversed FISP (PSIF) の二つのエコーを取り込むシーケンスである。DESS 法は FISP 信号がもつ解剖学的情報と PSIF 信号がもつ CSF 等の水成分を同時に描出可能である。本法は、関節領域の撮像に開発されたシーケンスであるが、神経根の圧迫原因や病態の状態把握をより明瞭にできるのではないかと考え、腰椎三次元冠状断撮像 (3Dimension coronal scan) に応用し、他の類似シーケンスである sampling perfection with application optimized contrasts using different flip angle evolution 法 (SPACE)⁸⁾ や True Fast Imaging with Steady State Precession 法 (True FISP)⁶⁾ と比較し有用性について検討を行った。

1. 方 法

1-1. 各種撮像法について

1-1-1. DESS 法

DESS 法はコヒーレント型 Gradient Recalled Echo (GRE) シーケンスの一種である。短い repetition time (TR) で励起を繰り返すと縦磁化と横磁化が定常状態

(Steady State Free Precession : SSFP) となり, TR 内での縦磁化の回復および横磁化の減衰がなくなり一定の信号を出す。また, 繰り返し RF pulse が印加されることにより FISP 信号と PSIF 信号取得が可能となる。DESS 法は, SSFP 状態を利用したものであり FISP 信号と PSIF 信号を後処理にて位相を揃えて合成し作成したものである。FISP 信号と PSIF 信号を同時に位相ずれなく収集できれば signal noise to ratio (SNR) が高く高速に収集可能であるが, 二つの信号を同時に取得し更に位相誤差をなくしアーチファクトを回避するのは困難であるため, 後処理で位相を合成する手法となっている。

1-1-2. True FISP 法

True FISP 法は, SSFP 状態を利用した撮像法で FISP 信号と PSIF 信号を同時に取得する手法の一種である。高速スキャンを行うために, パルスシーケンスに付加的な処理を施し定常状態とする必要がある。位相 encoding gradient により生じた横磁化の乱れを 0 とするために, 次の RF パルスの前に位相 encoding gradient の極性を反転させたものを付加する。それにより, 横磁化成分の位相を再度揃え維持する。位相 encoding gradient の極性を反転したものをリワインダーと呼び, このリワインダーを三軸すべてに印加したコヒーレント型 GRE シーケンスが True FISP である。FISP 信号と PSIF 信号の位相が重なると高 SNR として取得可能だが, このタイミングがずれると空気との境界など磁場の乱れが生じる部分においてバンディングアーチファクトと呼ばれる干渉縞がみられる。

1-1-3. SPACE 法

従来の Spin Echo 系 3 次元撮像では, refocus flip angle (RFA) に 180° パルスを多用する。これにより specific absorption ratio (SAR) が高くなることや撮像時間が長いなどの問題が生じる。そのため日常ルーチン検査で使用することが現実的ではなかった。しかし, 装置の進歩に伴い RFA を変化させながら撮像することで SAR を低下させることや, 一度にたくさんの echo 収集を行うことで現実的な撮像時間での検査が可能となった。また, SPACE 法は SAR が高くなる 3 Tesla (T) 装置において有効な撮像法である。SPACE 法は, 設定 TR, TE によって従来の MR ミエログラフィ同様 HeavyT2 強調画像と同等のコントラストを得ることが可能である。

1-2. 使用装置および撮像条件

装置は MAGNETOM Skyra3.0T (SIEMENS 社製), 使用コイルは SPINE アレイコイル, 測定は装置付属の

Table

	DESS	True FISP	SPACE
Repetition time (ms)	8.87	4.52	1700
Echo time (ms)	3.42	2.26	180
Field Of View (mm)	300		
slice thickness (mm)	1		
matrix size	230*256		
Band Width (Hz/px)	500		
Reduction Factor	2		
acquisition time	2 min 9 sec	1 min 35 sec	5 min 16 sec

解析ツールを用いた。本実験の主旨を十分に理解し同意の得られたボランティア 5 名 (男性 5 名, 平均年齢 25.2 ± 0.8 歳) の腰椎を測定対象とした。

撮像シーケンスを table に示す。

1-3. 最適 Flip Angle (FA) の検討

GRE 法は, 設定 Flip Angle (FA) によりコントラストが変化する。そのため初期検討として FA 可変による contrast noise to ratio (CNR) の評価を行った。

DESS 法は FA を 10° ごとに 90° まで, True FISP 法は FA を 5° ごとに 30° まで変更し撮像を行った。

画像の評価は, 神経根 (L5root), 骨 (L5), 筋肉 (腸腰筋), CSF に region of interest (ROI) 取り組織間測定法⁹⁾を用い CNR 測定を行った。なお測定に関する ROI size は神経根 50pixel, 骨 600pixel, 筋肉 550pixel, CSF 200pixel を目安とし各シーケンス測定位置は同一とした。神経根を目的組織として CNR の算出を行った。CNR 算出式を以下に示す。

$$\text{CNR} = (\text{SIa} - \text{SIb}) / \text{SDa} \cdots (1)$$

ただし SIa, SIb は関心領域内の平均信号値, SDa は目的組織内の関心領域内の標準偏差である。

1-4. CNR の検討

1-3. 最適 Flip Angle (FA) の検討より得られた結果を用い, DESS 法, True FISP 法, SPACE 法において, 神経根, 骨, 筋肉, CSF に ROI を取り組織間測定法を用い CNR 測定を行った。なお測定に関する ROI size は最適 FA の検討と同じとした。

1-5. SNR の検討

神経根, 骨, 筋肉, CSF に ROI を取り, 同一関心領域法¹⁰⁾を用いて測定を行った。なお測定に関する ROIsize は最適 FA の検討と同様とし, 各組織信号変化の少ない箇所にて測定を行った。SNR 算出式を以下に示す。

$$\text{SNR} = \text{Sp} / \text{Np} \cdots (2)$$

ただし, Sp は関心領域内の平均信号値, Np は同一関心領域内の標準偏差である。

2. 結 果

2-1. 最適 FA

FA 可変時の CNR について DESS 法 (Fig. 1), True FISP 法 (Fig. 2) に示す。腰椎 3D 撮像において CSF, 筋肉, 骨, 3つの最大コントラストを基に最適 FA を求めた結果 DESS 法においては FA30°, True FISP 法においては 15° となった。

2-2. CNR 測定

2-1 より得られた至適 FA を用い DESS30°, True FISP15°, SPACE 法の神経根に対する各組織の CNR (Fig. 3) を示す。

測定結果より神経根と CSF における CNR は True FISP15° が最も高値となった。神経根と骨, 神経根と筋肉を比較した場合は DESS30° が最も高値となった。

2-3. SNR 測定

SNR の比較では, DESS 法は筋肉以外の組織で最も高く, 筋肉における SNR は TrueFISP15° が最も高値となった。(Fig. 4)

考 察

日本人は, 生涯のうちに約 8 割が腰痛を経験すると言われている。腰痛の原因は多岐にわたるため画像所見がない場合には他科の疾患も予想される¹⁾。現在の日本は, ストレスを抱えながら生活をしている人が多いということもあり, 心因的要因として精神科の受診を進められる場合もある。我々放射線技師が原因を特定できる画像を提供できなかった場合には, そのような事例が発生する可能性があり, 患者にとって不利益となる。そのため我々の提供する画像の役割はとても大きいと考えられる。

今回の目的は, 腰部 MRI 検査において原因の見落としを防止するために, 外側ヘルニアの有効な coronal 撮像を検討することである。条件として神経末梢まで描出されていることや神経と骨, 神経と筋肉など高い CNR が必要となる。近年では, MR ミエログラフィが施行されているが, FSE 系シーケンスを使用した撮像では再収束に 180° パルスを多数使用し, HeavyT2 とするために TR を長く設定する必要がある, 撮像時間が長くなる。また, 薄いスライス厚で撮像を行わなければ部分体積効果により, 微小病変の撮像が困難となる。以上の問題点から, 今回 DESS 法を用いる事により解剖学的位置情報を残し神経をより描出可能であるか他の類似シーケンスと比較検討した。

True FISP 法を用いた撮像では, バンディングアーチファクトと呼ばれる干渉縞を低減させるために設定可

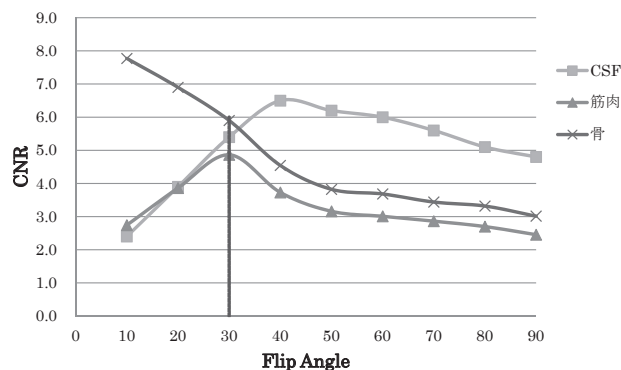


Fig. 1 神経根に対する各組織の CNR (DESS 法)

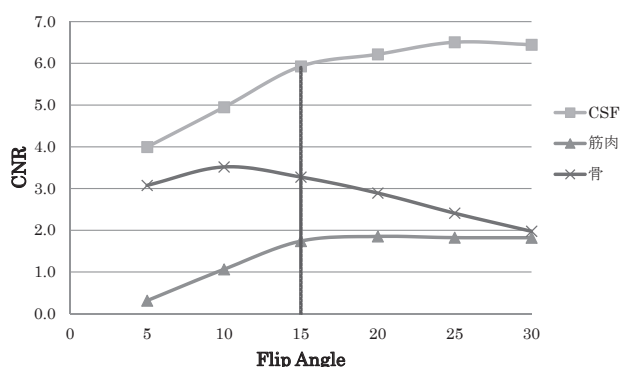


Fig. 2 神経根に対する各組織の CNR (True FISP 法)

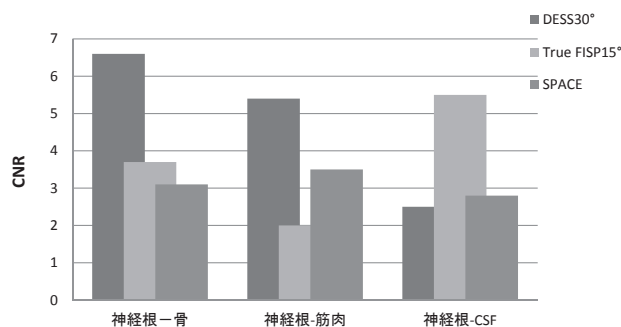


Fig. 3 神経根に対する各組織の CNR

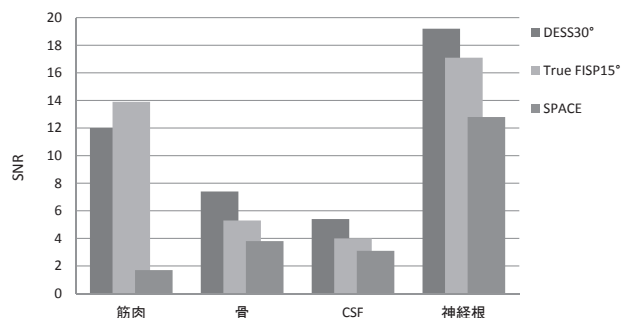


Fig. 4 各組織における SNR

能な最短 TR を用いて撮像を行ったが、FOV 内にアーチファクトが出現した。今回 3 T 装置を用いた検討であり、3 T 装置が磁場の不均一や磁化率に敏感なため歪みやバンディングアーチファクトの影響が強く現れたと考えられる。また、腰椎固定術など体内金属がある患者においては磁場不均一をさらに増加させるため、True FISP 法を用いる事で歪みの影響が増し描出が困難となるケースも考えられる。

SPACE 法は、高速 SE 系シーケンスであるため TR、TE 等のパラメータに依存し CSF の強調度合いが変化する。今回設定したパラメータでは、従来の MR ミエログラフィ同様のコントラストを呈し、CSF 部分の強調が強く腰神経は末梢まで描出されていなかった。脊柱管部分がヘルニアにより圧迫されていた場合は形態が変化することで診断可能であるが、Far out syndrome¹¹⁾ のような外側ヘルニアの描出は困難であると考えられた。

DESS 法は、実験結果から今回比較した 2 シーケンスよりも、SNR、CNR 共に高値となった。これは、DESS 法が 1 TR 内に FISP 信号と PSIF 信号を別々に取得し、後処理で位相を揃えて合成することから、歪み等の影響に強く位相誤差も少ないためと考える。

DESS 法の条件最適化を行ったうえで撮像することにより、骨などの解剖学的情報を残し CSF 等の水成分を強調することが可能であった。また、3 T 装置の使用により CNR、SNR が高く腰神経の描出がより優れた画像の取得が可能となる。その結果、Far out syndrome のような外側領域での神経根圧迫など外側ヘルニアや骨性圧迫などによる神経根症など広くにわたり描出可能であると考ええる。また、撮像時間が 2 分 29 秒であるため日常ルーチン検査として組み込むことも可能である。下肢症状があるにもかかわらず矢状断像、横断像で描出困難な外側ヘルニアなどをしっかり描出可能であり、確定診断という意味でも期待できる撮像法である。日常検査内でデルマトームに従い疑っていた部位に矢状断で画像所見がなかった場合、DESS 法における 3 D coronal scan を追加することで外側ヘルニアという疾患を特定できる可能性がある。また、外側ヘルニアが存在しなかった場合には、否定もできるためその後の臨床診断を行う上で有用である。

腰痛には下肢症状はあるが腰椎疾患ではない可能性も大いに考えられ、数%ではあるが外側ヘルニア等腰痛の原因につながる疾患で画像所見として提示できるものは確実に捉えるべきである。MRI 検査は、担当技師が見落としてしまうと疾患が見つからない場合も考えられる。そのような可能性を少しでも下げるために DESS 法による追加撮像は必要である。結果として、患者も痛

みを取り除くための最適な治療を受ける事が選択可能となる。

今回の検討が、今後腰痛持ち患者の原因特定の一助となることを期待する。

ま と め

DESS 法は、従来のシーケンスに比べ SNR、CNR が高い事が確認できた。本法を腰椎 3 D coronal scan に用いる事で、外側ヘルニアや Far out syndrome 等の見落とし低減につながり腰痛持ち患者の病態追求に適することが確認できた。

文 献

- 1) 佐藤成登志, 地神裕史, 島田雄司ほか. MRI を用いた女性腰部疾患例における大腰筋特性. 新潟医療福祉学会誌. 2014 ; 13(2) : 2-7.
- 2) 久野木順一, 蓮江光男, 浜中一輝ほか. 腰椎椎間孔部神経根障害における MRI の有用性と限界. 臨床整形外科. 1997 ; 27(4) : 503-511.
- 3) K.E.W.Eberhardt, H.P.Hollenbach, B.Tomandl, et al. Three-dimensional MR myelography of lumbar spine : comparative case study to X-ray myelography. European radiology. 1997 ; 7 : 732-742.
- 4) Epstein, N.E.Different surgical approaches to far lateral lumbar disc herniations.J.Spinal Disord. 1995 ; 8 : 383-394
- 5) 仲田紀彦, 整形外科疾患ビジュアルブック. 東京 : 秀潤社 ; 2012 : 46.
- 6) 真壁武司. 本に書かれていない MRI 基礎講座①. 日放技師会誌. 2015 ; 60(10) : 65-67.
- 7) Akio Ogura, Yoshiki Nakamura, et al. visualization of the knee Using MRI. 日放線技学会誌. 1997 ; 53(10) : 1537-1544.
- 8) Val M.Runge, Wolfgang R.Nitz, Miguel Trelles et al. 訳 押尾晃一, 百島祐貴. 一目瞭然! 画像で見る MRI 撮像法. 東京 : メディカル・サイエンス・インターナショナル ; 2015 : 122-123.
- 9) 小倉明夫, 前田富美恵, 宮井明ほか. MRI 臨床画像の CNR 測定法に関する精度. 日放線技学会誌. 2004 ; 60(11) : 1543-1549.
- 10) 小倉明夫, 宮地利明, 小林正人ほか. 臨床 MR 画像における SNR 測定法に関する考察. 日放線技学会誌 2007 ; 63(9) : 1099-1104.
- 11) 元島尉士, 脇岡昭彦, 古川佳世子. いわゆる Far out 症候群の 1 例. 整形外科と災害外科. 2012 ; 61(3) : 547-550.