

腕神経叢描出におけるDIR法を併用した3D FSEシーケンスの撮像条件の基礎的検討

Basic Study of Imaging Parameters for 3D Fast Spin Echo Sequence with Double Inversion Recovery Method in Visualization of Brachial Plexus

大川 竜也^{1),2)*}, 安居 剛¹⁾, 美原 盤³⁾, 林 則夫⁴⁾

1) (診療放射線技師) 公益財団法人脳血管研究所 美原記念病院 画像診断課

2) 修士 (放射線学) 群馬県立県民健康科学大学大学院 診療放射線学研究科

3) (医師) 公益財団法人脳血管研究所 美原記念病院 脳神経内科

4) (教授) 博士 (保健学) 群馬県立県民健康科学大学 診療放射線学部

Key words: Brachial Plexus, Double Inversion Recovery, 3D Fast Spin Echo Sequence, Magnetic Resonance Imaging

[Abstract]

The purpose of this study was to investigate the imaging parameters of inversion time (TI)^{1st} and echo time (TE) for the 3D-fast spin echo (FSE) sequence with double inversion recovery (DIR) method in brachial plexus imaging. The healthy Volunteer imaging was performed with different settings for TI^{1st} (3000 ms, 3500 ms, 4000 ms, 4500 ms) and TE (60 ms, 110 ms, 160 ms). The SNR of cerebrospinal fluid (CSF) and CNR between CSF and muscle tissue were calculated for images obtained at each TI^{1st} setting to evaluate lesion delineation. Scheffé's method (Nakaya's changing method) was performed for images obtained at each TE setting to evaluate the ability of the brachial plexus to be visualized. By setting the TI^{1st} to 4000 ms and repetition time to the shortest possible value, the extension of imaging time could be minimized without affecting the ability to visualize the brachial plexus. In addition, by setting the TE to 60, 110 ms, the brachial plexus could be well visualized.

[要 旨]

腕神経叢描出におけるDIR法を併用した3D-FSEシーケンスのTI^{1st}, TEの設定値を検討した。TI^{1st} (3000 ms, 3500 ms, 4000 ms, 4500 ms) およびTE (60 ms, 110 ms, 160 ms) の設定値を変えボランティアを撮像した。各TI^{1st}の画像に対し、脳脊髄液のSNRおよび脳脊髄液と筋肉組織間のCNRを算出した。各TEの画像に対し観察者実験を行った。TI^{1st}を4000 ms, TRを設定可能な最短値に設定することで、腕神経叢の描出能に影響せず、撮像時間の延長を最小限にできた。またTEを60, 110 msに設定することで腕神経叢を良好に描出できた。

1. 緒 言

近年、末梢神経、特に腕神経叢の描出に対するmagnetic resonance imaging (MRI) を用いた評価が注目されており、非侵襲的に腕神経叢を描出可能なことから、外傷性腕神経叢損傷や末梢神経腫瘍

などの診断に広く用いられている¹⁻⁴⁾。腕神経叢描出の撮像法は、非選択的脂肪抑制技術であるshort-tau inversion recovery (STIR) 法や、撮像されたIn phaseとOpposed phase画像から、Water画像(脂肪抑制画像)とFat画像(水抑制画像)を計算で作成するDIXON法⁵⁾を併用した3D-fast spin echo (FSE)系シーケンスが主流であり、神経走行を3次元的かつ高分解能に描出できるため、臨床評価に有用であるとの報告がある⁶⁾。当院の3.0T-MRI装置では、機器のバージョンによりSTIRを併用した3D-FSE系シーケンスの使用ができないため、非選択的脂肪抑制技術としてdouble inversion recovery (DIR) 法を併用した3D-FSEシーケンスを用いて撮像を行っている。

DIR法とは、抑制したい目的組織に対応した2種類のinversion time (TI) を設定し、2種類の目的組織を抑制する撮像法である⁷⁻⁹⁾。腕神経叢の描出にDIR法を併用する場合、1種類目のTI (TI^{1st}) は抑制したい目的組織が存在しないため、T₂値が延長する病変部の描出能に影響しない、かつ撮像時間が延長しない値を設定し、2種類目のTI (TI^{2nd}) はSTIRと同様に脂

OKAWA Ryuya, M.S. (Radiology)^{1),2)*},
YASUI Go¹⁾, MIHARA Ban³⁾,
HAYASHI Norio, Ph.D. (Health Science)⁴⁾

1) Department of Diagnostic Imaging, Institute of Brain and Blood Vessels Mihara Memorial Hospital, Radiological Technologist

2) Graduate School of Radiological Technology, Gunma Prefectural College of Health Sciences

3) Department of Neurology, Institute of Brain and Blood Vessels Mihara Memorial Hospital, Doctor

4) Department of Radiological Technology, Gunma Prefectural College of Health Sciences, Professor

* E-mail: ryuya01090627@yahoo.co.jp

Received August 16, 2024; accepted November 10, 2024

肪抑制に対応した値を設定する必要がある。STIRと同様のTI^{2nd}の設定値は最適な値が明確になっているが、TI^{1st}の最適な設定値は明確になっておらず、DIR法を併用した3D-FSEシーケンスを用いて腕神経叢を撮像した報告例は見当たらない。

一般的に、TI^{1st}をfluid attenuated inversion recovery (FLAIR) 撮像法で用いるTIに近い値を設定した場合、炎症に伴う浮腫性変化や腫瘍など、自由水が増加する病態の異常高信号が抑制されてしまい、逆にこれより大き過ぎると設定repetition time (TR)の延長に伴い、撮像時間の延長が生じてしまう。3D-FSEシーケンスは高分解能撮像が可能な反面、撮像時間が長いこと、腕神経叢の描出能に影響しない最適なTI^{1st}を設定し、設定可能な最短TRを設定することで撮像時間を短縮させる必要がある。またDIR法を併用する上で腕神経叢の描出能に関わる重要なパラメーターにecho time (TE)もある。TEはT₂コントラストに深く関係しており、腕神経叢の描出に適した長めのTEを設定すると周辺の筋肉組織とのコントラスト差が大きくなるが、TEの延長は信号対雑音比 (signal-to-noise ratio : SNR) の低下にもつながるため、筋肉組織とのコントラスト差の向上よりも腕神経叢の描出能が低下する可能性がある¹⁰⁾。そのため腕神経叢と筋肉組織間のコントラストを担保し、SNRの低下が腕神経叢の描出能に影響しない最適なTEを設定する必要がある。

本研究では、3.0T MRI装置を用いた腕神経叢描出におけるDIR法を併用した3D-FSEシーケンスの撮像条件であるTI^{1st}、TEの基礎的な検討を目的とした。

2. 方法

2-1 使用機器および対象

MRI装置はDiscovery MR750w 3.0T (GE HealthCare, Milwaukee, WI, USA)、受信コイルはGEM Head Neck coil (GE HealthCare)を用いた。また画像解析ソフトウェアはImageJ 1.53e (National Institutes of Health, Bethesda, MD, USA)を使用した。観察者実験には、医用画像表示用ディスプレイモニター (RadiForce MX215, EIZO, 石川)を使用し、統計解析ソフトウェアはR softwareを用いた¹¹⁾。

対象は、健常ボランティア10人 (年齢 26–52歳、平均年齢 36.1 ± 9.1歳、男女比 5:5) の頸部である。臨床研究に際しては、公益財団法人脳血管研究所 美原

記念病院の倫理審査委員会の承認を取得し (承認番号 102-04号, 2020年3月24日)、ボランティアに対して十分な説明を行い、インフォームドコンセントを取得した。

2-2 臨床画像の取得

健常ボランティア10人の頸部をTI^{1st} (ms) およびTE (ms) の設定値を変更し、実臨床と同様の方法で腕神経叢を撮像した。本研究では、TI^{1st}の設定値を可能な限り短くし、それに伴い最短TR (ms)を設定し撮像時間を短縮させることを目的の一つとした。この場合、TRの設定値を固定値にすることは、TRの設定値が検討するTI^{1st}の設定値により増減するため困難である。また各TI^{1st}の設定値に対応できる長いTRで固定することは可能であるが、その場合、最短TRの設定はできず、本研究の目的の一つである撮像時間について言及することが困難となる。従ってTRの設定値は固定値にせず、TI^{1st}を変更した際に装置が自動で決定する最短TRに設定した。TI^{1st}は3000 (TR: 4411, 撮像時間: 2分52秒), 3500 (TR: 4911, 撮像時間: 3分12秒), 4000 (TR: 5411, 撮像時間: 3分31秒), 4500 (TR: 5911, 撮像時間: 3分51秒) の4種類に、TEは60, 110, 160の3種類に変化させ撮像を行った。またTI^{1st}変更時のTEの設定値は110に、TE変更時のTI^{1st}の設定値は4000に固定した (それぞれの撮像条件の検討により、良好な結果が得られた設定値で固定

Table 1 The imaging parameters for 3D Fast Spin Echo with DIR images

MR scanner	Discovery MR750w 3.0T
Pulse Sequence	3D Fast Spin Echo
Orientation	coronal
TR [ms]	4411, 4911, 5411, 5911
TE [ms]	60, 110, 160
TI 1st [ms]	3000, 3500, 4000, 4500
TI 2nd [ms]	220
Flip Angle [°]	90
Band Width [kHz]	35.71
Slice thickness [mm]	2
FOV [mm]	350
NSA	1
ETL	150
Matrix size	320 × 260
Locs per Slab	112

Abbreviations: DIR, double inversion recovery; TR, repetition time; TE, echo time; TI, inversion time; FOV, field of view; NSA, number of signals averaged; ETL, echo train length

した). その他の撮像条件は, 全ての撮像で Table 1 に示す設定値で固定した. 検査室温度は 23℃ 一定で撮像を行った.

2-3 臨床画像の物理評価

TI^{1st} の設定値を変え撮像した画像に対し, 脳脊髄液および筋肉組織に関心領域 (Region of interest: ROI) を設定し信号強度・標準偏差を測定した. 測定箇所を示す ROI の配置を Fig.1 に示す. なお, T₂ 値が長い代表的な組織である脳脊髄液を病変部の信号と仮定した. そして脳脊髄液の SNR および脳脊髄液と筋肉組織間のコントラスト雑音比 (contrast-to-noise ratio: CNR) を式 (1), (2) を用いて算出した. SNR の算出には同一関心領域法を¹²⁾, CNR の算出には EU 提唱法を用いた¹³⁾. ここで, SIa, SIb は脳脊髄液および筋肉組織の ROI 内の平均信号値であり, SDa, SDb は SIa, SIb と同一に設定した ROI 内の標準偏差である. 算出した SNR・CNR の平均値に差があるかを Kruskal-Wallis 検定および post-hoc 検定 (Steel-Dwass 補正法) を用いて有意水準 1% で統計解析を行い, 4 群間における脳脊髄液信号の描出能および TI^{1st} による信号抑制効果について評価した.

$$SNR = SIa / SDa \dots\dots\dots (1)$$

$$CNR = |(SIa - SIb)| / (SDa^2 + SDb^2)^{\frac{1}{2}} \dots\dots (2)$$



Fig.1 Placement of ROI in physical evaluation

(a) CSF, (b) muscle tissue

Abbreviations: ROI, region of interest; CSF, cerebrospinal fluid

2-4 臨床画像の観察者実験

TE の設定値を変え撮像した画像に対し, 腕神経叢の描出能を評価するために観察者実験を行った. 本研究では, 比較順序を無視でき, 実験室内で 1 人の検査員が全組み合わせを 1 回ずつ比較する際に有効であるシェッフェの対比較法 (中屋の変法) を用いた¹⁴⁻¹⁶⁾. 観察者は, 医師 2 人および MRI 検査に従事している診療放射線技師 6 人の計 8 人 (年齢 25-42 歳, 平均年齢 37.1 ± 5.1 歳, 男女比 6:2) である. 観察者実験に際しては, 公益財団法人脳血管研究所 美原記念病院の倫理審査委員会の承認を取得し (承認番号 102-04 号, 2020 年 3 月 24 日), 研究者は観察者に対して研究内容を説明し, 書面によるインフォームドコンセントを得た. まず, TE の設定値を変え撮像した 3 種類の画像を 2 つ 1 組とし, ボランティア 10 人分の計 30 組を作成した. 次に, 組み合わせた画像 30 組を医用画像表示用ディスプレイモニターにランダムに一対表示させ, 左右の画像を比較し, 右の画像に対する左の画像の腕神経叢の描出能を評価した. 評価を行うスライス断面は腕神経叢が最も明瞭に観察できるスライス断面とした. そして腕神経叢と筋肉組織間のコントラストおよび画像の SNR に着目して, 以下の 5 段階でスコア化した.

2: 描出能が良い

1: 描出能が少し良い

0: 描出能は同程度

-1: 描出能が少し悪い

-2: 描出能が悪い

なお, 全ての観察者実験において, モニターの輝度, 周辺光照明度などの観察環境は一定とした. また観察者実験前に練習用画像を提示して, 評価の目的と画像の特徴を十分に説明して理解を得た. 観察者より得られた評価結果から母数の推定を行い, 平均嗜好度を求めた^{15, 16)}. また統計学的手法として一元配置分散分析を行い, 尺度値の差が有意であることを調べた^{15, 16)}. 一元配置分散分析の結果から主効果に有意差が認められた場合, TE の設定値を変え撮像した画像における腕神経叢の描出能は全体として差があると判定される. その場合, どの設定値間に有意差があるかヤードスティック Y を用いて判定した. ヤードスティック Y は以下の式 (3) を用いて算出した.

$$Y = q_{\phi} \sqrt{\frac{\sigma^2}{tN}} \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 q_ϕ はスチューデント化された範囲 $q_{\phi(t, f)}$ 、 t は変更したTEの設定値数、 N は観察者の総数、 f は誤差の自由度、 σ^2 は誤差の分散である。主効果に有意差が認められた場合は、ヤードスティック Y より、 $|a_i - a_j| > Y$ のとき a_i 、 a_j は有意水準 ϕ で有意差ありと判定した¹⁷⁾。本研究では有意水準1%で解析を行った。

3. 結果

3-1 臨床画像の物理評価

TI^{1st}の設定値を変え撮像した画像における、算出した脳脊髄液のSNRおよび脳脊髄液と筋肉組織間のCNRの平均値の比較をFig.2およびFig.3に示す。Kruskal-Wallis検定により各TI^{1st}の設定値間におけるSNRおよびCNRの平均値に有意な差があることが示された($p < 0.001$)。脳脊髄液のSNRはTI^{1st}=4500で最も高値を示し、TI^{1st}=3500で最も低値を示した。また多重比較検定の結果、TI^{1st}=3000とTI^{1st}=3500間およびTI^{1st}=4000とTI^{1st}=4500間では有意差を認めず、それ以外では全ての組み合わせで有意差を認めた($p < 0.01$)。脳脊髄液と筋肉組織間のCNRにおいてもSNRの結果と同様の傾向を示し、SNR・CNR

のどちらもTI^{1st}=3500以下になると値が有意に低下した。

3-2 臨床画像の観察者実験

TEの設定値を変え撮像したボランティア画像をFig.4に示す。全ての撮像条件で腕神経叢は描出されていたが、TEの設定値により描出能は異なった。各TEの設定値における評価結果の平均嗜好度および一元配置分散分析の結果をTable 2に示す。分散分析の結果から、TEの設定値を変え撮像した画像における腕神経叢の描出能は全体として差があると判定された($F=456.6$, $p < 0.001$)。ヤードスティック Y を用いてどのTEの設定値間に有意差があるかを求めた結果をFig.5に示す。シェッフェの対比較法における平均嗜好度はTE=60で0.52、TE=110で1.62、TE=160で-1.77であった。評価の結果からTE=110の画像が最も評価が高く、TE=160の画像が最も評価が低かった。またTE=60とTE=110間では有意差を認めず、TE=60とTE=160およびTE=110とTE=160間で有意差を認めた。TE=160に設定した場合に、腕神経叢の描出能が有意に低下することが示された。

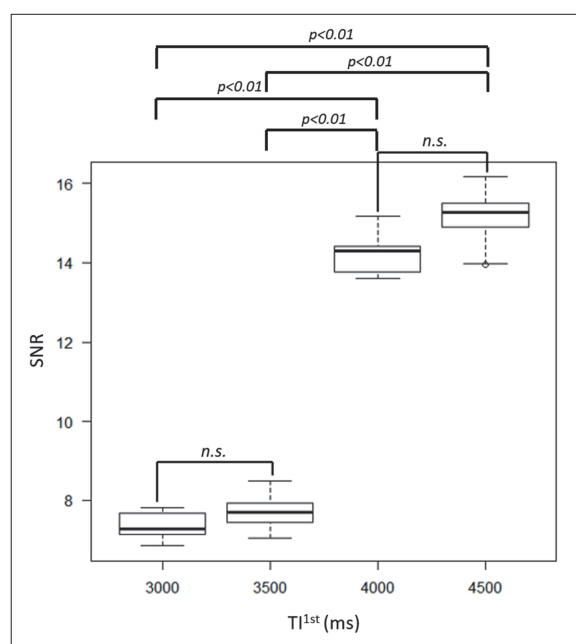


Fig.2 Comparison of mean SNR of CSF with each TI^{1st}

Abbreviations: SNR, signal-to-noise ratio; CSF, cerebrospinal fluid

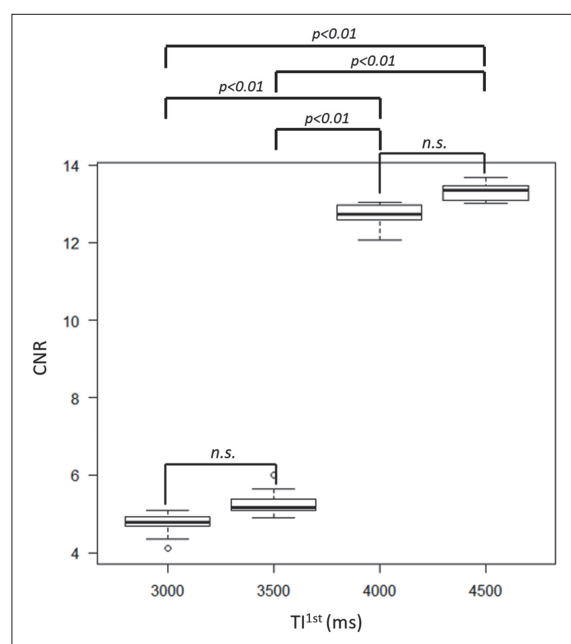


Fig.3 Comparison of mean CNR between CSF and muscle tissue with each TI^{1st}

Abbreviations: CNR, contrast-to-noise ratio; CSF, cerebrospinal fluid

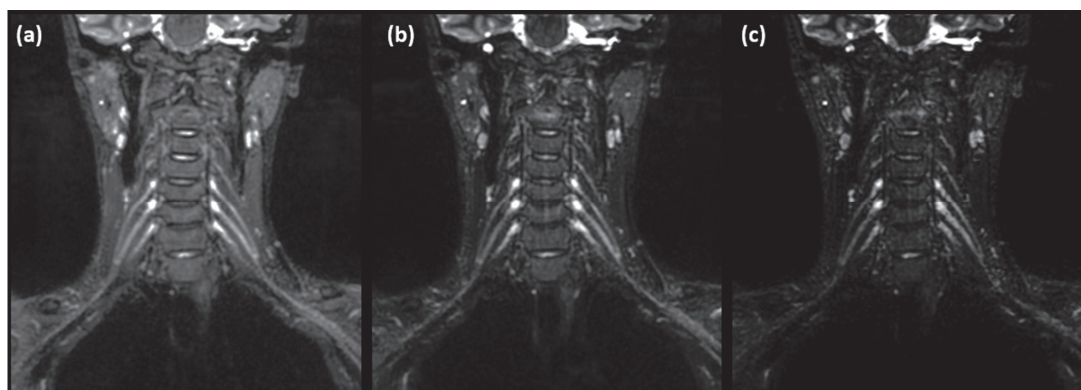


Fig.4 The images of healthy volunteer with three different TE

(a) TE 60 ms, (b) TE 110 ms, (c) TE 160 ms

Abbreviations: TE, echo time

Table 2 Average preference and ANOVA results for each case

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6	Case 7	Case 8	Case 9	Case 10
TE 60	-0.17	0.50	0.50	0.50	0.33	0.50	0.83	0.67	0.83	0.67
TE 110	1.83	1.33	1.67	1.33	1.17	2.00	1.67	1.67	1.83	1.67
TE 160	-1.83	-1.83	-1.50	-2.00	-1.50	-2.00	-2.00	-1.67	-1.83	-1.50

One-way ANOVA $F=456.6$ $P<0.001$

Abbreviations: TE, echo time; ANOVA, Analysis of Variance

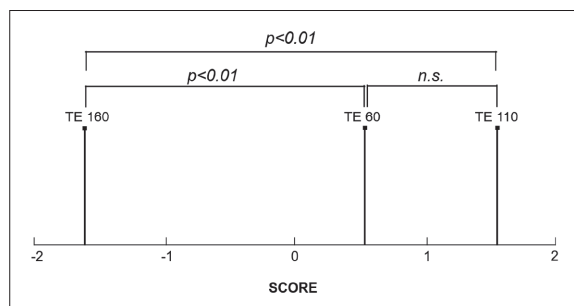


Fig.5 Evaluation results of the images of healthy volunteer with each TE by Scheffé's method (Nakaya's changing method)

Abbreviations: TE, echo time

4. 考 察

本研究では、3.0T MRIにおいて、DIR法を併用した3D-FSEシーケンスを用いた腕神経叢および病変部の良好な描出を目的とし、撮像条件であるTI^{1st}、TEの最適化を行った。

病変部を想定した脳脊髄液のSNRおよび脳脊髄液と筋肉組織間のCNRは、TI^{1st}を3000、3500に設定した場合で有意に低い値を示した。低いTI^{1st}の設定に伴い最短TRを短縮させることで、Inversion recovery

(IR)パルス印可前の縦磁化の減少が生じる^{18, 19)}。縦磁化の減少により、脳脊髄液および筋肉組織の信号強度・コントラストが低下したため、SNR・CNRが低値を示したと考えられる。また低いTI^{1st}の設定値が、FLAIR撮像時に設定するTIに近づいたことで脳脊髄液信号が抑制され、信号強度が低下した可能性があることも原因の一つと考えられる。腕神経叢の描出にDIR法を併用する場合、TI^{1st}はTI^{2nd}よりも著しく大きい値を設定すれば腕神経叢および病変部と筋肉組織間のコントラストが良好な画像が得られる。しかし、大きいTI^{1st}の設定はTRの延長を招き、撮像時間が延長する。頸部MRIの撮像は体動を伴いやすい部位であり、特に外傷性腕神経叢損傷などの患者は痛みを生じている場合が多いため、できるだけ短時間での撮像が望まれる。また3D-FSEシーケンスは2D系シーケンスと比較すると撮像時間が長いことから、病変部の描出能および筋肉組織とのコントラストに影響しない範囲で、低いTI^{1st}およびTRを設定し撮像時間を短縮させる必要がある。本研究の結果から、TI^{1st}を4000程度（本研究で用いたMR装置の場合、最短TRは5911程度）に設定することで、腕神経叢や病変部の信号抑制および描出能に影響せず、かつ撮像時間の延長を最小限に抑えることが可能と考えられた。

TEの設定値を変え撮像したボランティア画像の評価結果では、TEを160に設定した場合で、腕神経叢の描出能が有意に低下した。一般的に、長いTEを設定した場合、 T_2 値が長い組織は信号強度が増加し、 T_2 値が短い組織は信号強度が減少するため、2つの組織のコントラストは短いTEを設定した場合と比べて大きくなる^{18, 19)}。しかし、長いTEの設定は、雑音成分を増加させるため画像のSNRが低下する。TEが160で腕神経叢の描出能が有意に低下したのは、長いTEを設定したことによる腕神経叢と筋肉組織間のコントラストの向上よりも、画像全体のSNRの低下がより顕著になったためと考えられる。従ってTEの設定値を60–110に設定することで、腕神経叢と筋肉組織間のコントラストの向上および診断に影響しないSNRの担保が可能であると考えられた。ただし、実効TEの値は、装置間によって異なる場合が多いため、詳細な設定値は各施設で変動することに注意が必要である。

本研究は、腕神経叢撮像に用いられる3D-FSE系シーケンスに、脂肪抑制として併用される頻度が高いSTIR法ではなく、DIR法を併用した際の最適な TI^{1st} 、TEの撮像条件について検討した。しかし、本研究にもリミテーションがある。一つ目のリミテーションは、本研究の対象が健常ボランティアであったため、実際の病変部の描出能を評価できていないことである。本研究では、 T_2 値が長い代表的な組織である脳脊髄液を炎症性病変などの信号と仮定し検討したが、腫瘍性病変などの場合、種類によってはさまざまなコントラスト像を呈する可能性がある。病変を有する症例での検討も行うことができれば、本研究結果の有用性がさらに向上すると考えられる。もう一つのリミテーションとして、 TI^{1st} の設定値を変化させた検討において、TRの設定値を装置が自動決定する最短TRに設定したことが挙げられる。2つのパラメーターが同時に変化したことで、どちらのパラメーターの影響で信号強度が変化したか不明確になる可能性がある。本研究では、 TI^{1st} の設定値を可能な限り短くし、それに伴い最短TRも短縮させることで撮像時間を短くすることも目的の一つとしたが、今後はTRの設定値を固定させ、 TI^{1st} の設定値の変化のみでの検討も行う必要があると考える。また TI^{1st} およびTRの変更時に TI^{2nd} の設定値は固定にしたため、脂肪抑制効果が全ての設定で同様の効果が得られていない可能性が挙げられる。しかし、本研究で使用したTRの設定値は最小値が4411、最大値が5911であるため、この範囲の設定で脂肪抑制不良が生じる可能性は低いと考えられる。さらに本研究の

結果は、3.0T MRI装置に限定されることが挙げられる。静磁場強度により組織の緩和時間は異なり、描出能が変化するため、今後は異なる静磁場強度装置にも対応できるよう検討を行う必要があると考える。

5. 結 論

本研究では、3.0T MRI装置を用いた腕神経叢描出におけるDIR法を併用した3D-FSEシーケンスの撮像条件である TI^{1st} 、TEの基礎的検討を行った。 TI^{1st} を4000に、TRを設定可能な最短値に設定することで、腕神経叢の信号を抑制せず、かつ撮像時間の延長を最小限にできた。またTEを60、110に設定することで、腕神経叢と筋肉間のコントラストおよびSNRを担保することができた。最適な撮像条件を設定することで、DIR法においても腕神経叢を良好に描出でき、臨床的に有用な画像の提供が可能であると考えられた。

利益相反

筆頭著者および共著者全員に開示すべき利益相反はない。

謝 辞

本研究に際して、多くの皆さまにご指導およびご協力いただきましたことに心より感謝申し上げます。

なお、本論文の一部を第49回日本放射線技術学会秋季学術大会（2021年、熊本）で発表した。

表の説明

Table 1	DIR法を併用した3D-FSEシーケンスの撮像条件
Table 2	各対象者における平均嗜好度と一元配置分散分析の結果

図の説明

Fig.1	物理評価におけるROIの配置 (a) 脳脊髄液、(b) 筋肉組織
Fig.2	各 TI^{1st} における脳脊髄液のSNRの比較
Fig.3	各 TI^{1st} における脳脊髄液と筋肉組織間のCNRの平均値の比較
Fig.4	TEの設定値を変え撮像した健常ボランティア画像 (a) TE 60 ms、(b) TE 110 ms、(c) TE 160 ms
Fig.5	シェフエの対比較法（中屋の変法）によるTEの設定値を変え撮像したボランティア画像の評価結果

参考文献

- 1) Sureka J, et al.: MRI of brachial plexopathies. *Clinical Radiology*, 64(2), 208-218, 2009.
- 2) 稲岡 努, 他: MRIによる末梢神経疾患の診断—できることとまだできないこと—. *脊椎外科*, 33(2), 141-143, 2019.
- 3) 大塚 健: 腕神経叢引き抜き損傷のMRI: 新しい撮像方法の提唱と損傷型分類. *山口医学*, 52(6), 219-228, 2003.
- 4) 米山正己: MRIによる末梢神経イメージング: MR Neurographyの有用性. *神経治療学*, 32(2), 201-204, 2015.
- 5) Dixon WT: Simple proton spectroscopic imaging. *Radiology*, 153(1), 189-194, 1984.
- 6) Saifuddin A: Imaging tumours of the brachial plexus. *Skeletal Radiol*, 32(7), 375-387, 2003.
- 7) 林 則夫, 他: Double inversion recovery (DIR) 法における最適な撮像条件算出プログラムの開発. *日放技学誌*, 71(6), 512-519, 2015.
- 8) Shunichi M, et al.: Double inversion recovery imaging of the brain: deriving the most relevant sequence through real images. *Radiol Phys Technol*, 10, 364-375, 2017.
- 9) Redpath TW, et al.: Use of a double inversion recovery pulse sequence to image selectively grey or white brain matter. *Br J Radiol*, 67(804), 1258-1263, 1994.
- 10) 丸山裕稔, 他: 3.0T MRIにおける可変フリップ角を用いた3D TSEシーケンスによる脂肪抑制法と撮像条件の最適化: 腕神経叢描出について. *日放技学誌*, 75(2), 143-150, 2019.
- 11) Kanda Y: Investigation of the freely available easy-to-use software 'EZR' for medical statistics. *Bone Marrow Transplantation*, 48, 452-458, 2013.
- 12) 小倉明夫, 他: 臨床MR画像におけるSNR測定法に関する考察. *日放技学誌*, 63(9), 1099-1104, 2007.
- 13) 和田陽一, 他: MRIシステムのファントムにおけるCNR測定法の基礎評価—改良CNR評価法の提案—. *日放技学誌*, 64(2), 268-276, 2008.
- 14) 中前光弘: 統計的官能検査法の理論と放射線技術科学への応用—Scheffe (シェッフェ) の一対比較法を中心に—. *日放技学誌*, 66(11), 1502-1507, 2010.
- 15) 鮒田達郎, 他: MRIによる正常肘内側側副靱帯前斜走線維描出のための肘関節屈曲角. *日放技誌*, 69(841), 1283-1288, 2022.
- 16) 和田智行, 他: 三次元double inversion recovery法を用いたMRIにおける再収束フリップ角とブラーリングの関係. *日放技学誌*, 73(5), 389-394, 2017.
- 17) Polman CH, et al.: Diagnostic criteria for multiple sclerosis: 2010 revisions to the McDonald criteria. *Ann Neurol*, 69(2), 292-302, 2011.
- 18) 荒木 力: MRIの基本 パワーテキスト 第4版—基礎理論から最新撮像法まで—. 20-100, *メディカル・サイエンス・インターナショナル*, 2019.
- 19) 荒木 力: 決定版 MRI完全解説 第2版. 72-300, 秀潤社, 2014.